



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Facultad de Ingeniería Civil

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**Análisis de la productividad y la utilización de equipos en las operaciones de
carguío y acarreo, San Marcos - 2022**

Tesis

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor

Chávez Agreda, Kenny

Asesor

Ing. Benavente Leon, Christian

Huacho – Perú

2023



Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales

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

Reconocimiento: Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciente lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.



UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN

LICENCIADA

(Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020)

"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

INFORMACIÓN DE METADATOS

DATOS DEL AUTOR (ES):		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	FECHA DE SUSTENTACIÓN
Kenny Chávez Agreda	71553047	26/09/2023
DATOS DEL ASESOR:		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	CÓDIGO ORCID
Christhian Benavente Leon	72228127	0000 - 0003 - 2416 - 4301
DATOS DE LOS MIEMBROS DE JURADOS – PREGRADO/POSGRADO-MAESTRÍA-DOCTORADO:		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	CÓDIGO ORCID
Hugo Serrano Rodas	15587946	0000 - 0003 - 1138 - 9368
Carlos Orlando Claros Vasquez	15648641	0000 - 0003 - 3566 - 8003
Roman Aguirre Ortiz	31618099	0000 - 0001 - 9549 - 133X

ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD Y LA UTILIZACIÓN DE EQUIPOS EN LAS OPERACIONES DE CARGUÍO Y ACARREO, SAN MARCOS - 2022

INFORME DE ORIGINALIDAD

20% INDICE DE SIMILITUD	19% FUENTES DE INTERNET	3% PUBLICACIONES	13% TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
-----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------	---------------------------------------

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to unsaac Trabajo del estudiante	2%
2	doku.pub Fuente de Internet	2%
3	Submitted to Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion Trabajo del estudiante	1%
4	sistemamid.com.ar Fuente de Internet	1%
5	core.ac.uk Fuente de Internet	1%
6	renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	1%
7	vbook.pub Fuente de Internet	1%
8	repositorio.espe.edu.ec Fuente de Internet	1%

TESIS

Análisis de la productividad y la utilización de equipos en las operaciones de carguío y acarreo, San Marcos - 2022



PRESIDENTE

Ing. SERRANO RODAS HUGO



SECRETARIO

M(o). CLAROS VASQUEZ CARLOS ORLANDO



VOCAL

M(O). AGUIRRE ORTIZ ROMAN



ASESOR

Ing. BENAVENTE LEON, CHRISTHIAN

DEDICATORIA

Para Dios, por derramar sus bendiciones, permitirme llegar hasta esta etapa de mi formación profesional e iluminarme y guiarme en cada uno de mis pasos.

Para mis queridos padres Juan y Virginia, por su sacrificio, esfuerzo, consejos y apoyo incondicional; por ser los pilares más importantes en mi vida y fuente de inmensa inspiración de superación, pues sin ellos no hubiese sido posible lograr mis metas.

Para mis hermanos Jhunior y Juan Skynner y mis tíos Eugenio y Antonina, por su motivación para seguir adelante y que han sido parte de mi camino en mi desarrollo académico y personal.

Kenny Chávez Agreda

AGRADECIMIENTO

A la UNJFSC por acogerme durante el tiempo de formación profesional y a los docentes de la E.P. de Ing. Civil, que, gracias a sus conocimientos y experiencias compartidos en aulas, contribuyen en el desarrollo de futuros profesionales.

A todas las personas que me apoyaron de manera desinteresada en la elaboración de esta tesis.

Kenny Chávez Agreda

ÍNDICE

DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
INTRODUCCIÓN	xx
CAPÍTULO I	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Descripción de la Realidad Problemática	1
1.2. Formulación del Problema	2
1.2.1. Problema general	2
1.2.2. Problemas específicos	3
1.3. Objetivos de la Investigación	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Justificación de la Investigación	4
1.5. Delimitación de la Investigación	4
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes de la Investigación	5
2.1.1. Investigaciones Internacionales	5
2.1.2. Investigaciones Nacionales	6
2.2. Bases Teóricas	11
2.2.1. Movimiento de tierra	11
2.2.1.1. Tipos de movimiento de tierras	12
2.2.1.2. Operaciones básicas en movimiento de tierra	12

2.2.1.3.	Cambios de volumen	14
2.2.2.	Equipos de movimiento de tierras	16
2.2.2.1.	Clasificación de los equipos de movimiento de tierra	16
2.2.2.2.	Equipos de carguío	17
2.2.2.3.	Equipos de acarreo o transporte	17
2.2.2.4.	Selección de la maquinaria y de los métodos de trabajo	18
2.2.3.	Sistema carguío - acarreo	20
2.2.3.1.	Operaciones de carguío y acarreo	20
2.2.3.2.	Fundamentos básicos en un sistema de carguío - acarreo	21
2.2.3.3.	Factores que influyen en la productividad y costo del carguío y acarreo	22
2.2.3.4.	Match Factor (MF) o Factor Acoplamiento (FA)	22
2.2.3.5.	Tiempos que se presenta en un sistema carguío - acarreo	23
2.2.4.	Producción y productividad	24
2.2.4.1.	Producción de las excavadoras en movimiento de tierras	24
2.3.	Bases filosóficas	30
2.3.1.	La productividad como componente de la competitividad	30
2.3.2.	La productividad desde una perspectiva humana	30
2.4.	Definición de términos	31
2.5.	Formulación de hipótesis	33
2.6.	Operacionalización de las variables	34
	CAPÍTULO III	35
	METODOLOGÍA	35
3.1.	Diseño Metodológico	35
3.1.1.	Tipo De Investigación	35
3.1.2.	Enfoque de la Investigación	35
3.1.3.	Nivel de Investigación	35

3.1.4.	Diseño de la Investigación	36
3.2.	Población y muestra	36
3.2.1.	Población	36
3.2.2.	Muestra	36
3.3.	Técnicas de recolección de datos	37
3.4.	Técnicas para el procesamiento de información	38
	CAPÍTULO IV	39
	RESULTADOS	39
4.1.	Análisis de resultados	39
4.1.1.	Descripción de las zonas de trabajos y equipos de estudio	39
4.1.1.1.	Ubicación y accesos al proyecto	39
4.1.1.2.	Descripción de las zonas de trabajo	41
4.1.1.3.	Descripción de los equipos	45
4.1.1.4.	Plan de ejecución y proceso constructivo del espaldón de PDR	50
4.1.2.	Estado actual de las operaciones	57
4.1.2.1.	Análisis de rendimientos actuales	57
4.1.2.2.	Identificación de demoras operativas	59
4.1.3.	Análisis de la secuencia constructiva del relleno en espaldón de PDR.	62
4.1.4.	Análisis de las operaciones de carguío y acarreo	64
4.1.4.1.	Análisis del carguío con excavadora CAT 390 FL	64
4.1.4.1.1.	Parámetros a considerar en la operación de carguío	64
4.1.4.1.2.	Análisis de los tiempos de carguío	68
4.1.4.2.	Cálculo del tiempo del ciclo del carguío	72
4.1.4.3.	Análisis del acarreo en las rutas Cantera Tucush - Espaldón	77
4.1.4.3.1.	Parámetros de operación para el acarreo	78
4.1.4.3.2.	Pendiente de los caminos de acarreo	79

4.1.4.3.3. Velocidad de acarreo	83
4.1.4.3.4. Distancias de acarreo	85
4.1.4.3.5. Análisis de los tiempos de acarreo	86
4.1.4.4. Cálculo del tiempo del ciclo del acarreo	94
4.1.4.5. Cálculo del tiempo del ciclo del sistema carguío-acarreo	96
4.1.5. Cálculo de la producción horaria	97
4.1.5.1. Producción horaria máxima de carguío	97
4.1.5.2. Producción horaria teórica de acarreo	98
4.1.5.3. Producción horaria máxima de acarreo	98
4.1.6. Dimensionamiento de la flota óptima de acarreo	99
4.1.7. Análisis de costos de carguío y acarreo	102
4.1.8. Análisis del sistema carguío - acarreo	105
4.1.8.1. Flota actual vs. flota óptima de acarreo	105
4.1.8.2. Variación del costo unitario	106
4.1.9. Indicadores (KPI's) de carguío y acarreo	108
4.1.9.1. Producción horaria	108
4.1.9.2. Eficiencia operativa	108
4.1.9.3. Costo unitario	109
4.1.9.4. Resumen de los KPI's	109
4.2. Contrastación de hipótesis	110
CAPÍTULO V	111
DISCUSIÓN	111
5.1. Discusión de resultados	111
CAPÍTULO VI	113
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	113
6.1. Conclusiones	113

6.2.	Recomendaciones	113
	REFERENCIAS	115
7.1.	Fuentes documentales	115
7.2.	Fuentes bibliográficas	118
7.3.	Fuentes hemerográficas	119
7.4.	Fuentes electrónicas	120
	ANEXOS:	122
	Anexo 1: Matriz de consistencia	122
	Anexo 2: Registro fotográfico	123
	Anexo 3: Especificaciones técnicas de los equipos	124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Factores de llenado y % de la capacidad colmada del cucharón.	27
Tabla 2 Técnicas de operación para maximizar la producción.	29
Tabla 3 Técnica de recolección de datos.	37
Tabla 4 Accesibilidad a la zona de estudio vía terrestre.	40
Tabla 5 Equipos de carguío.	46
Tabla 6 Especificaciones de la excavadora CAT 390FL.	46
Tabla 7 Equipos de acarreo.	48
Tabla 8 Especificaciones técnicas del volquete Volvo.	48
Tabla 9 Especificaciones del volquete Mercedes Benz.	49
Tabla 10 Equipos auxiliares.	50
Tabla 11 Equipos utilizados en el relleno del espaldón.	52
Tabla 12 Distribución de los equipos para los frentes de trabajo.	57
Tabla 13 KPI's actual de los equipos de carguío.	58
Tabla 14 KPI's actual de los equipos de acarreo.	59
Tabla 15 Tiempo promedio de cambio o giro de la excavadora.	73
Tabla 16 Tiempos de ciclo de carguío de excavadora 01.	74
Tabla 17 Tiempos del ciclo de carguío de excavadora 02.	75
Tabla 18 Tiempo promedio del ciclo por pasada.	76
Tabla 19 Gradientes de la ruta Cantera Tucush a ES-Z01.	81
Tabla 20 Gradientes de la ruta Cantera Tucush a ES-Z02.	82
Tabla 21 Velocidad promedio de acarreo.	84
Tabla 22 Distancia promedio de acarreo.	85
Tabla 23 Tiempos de recorrido registrados en campo.	87
Tabla 24 Tiempos de recorrido a partir de las velocidades y distancias.	89
Tabla 25 Variación de los tiempos según el método de obtención.	89

Tabla 26 Producción horaria máxima de carguío.	97
Tabla 27 Producción horaria teórica de acarreo.	98
Tabla 28 Producción horaria máxima de acarreo.	99
Tabla 29 Parámetros de análisis.	99
Tabla 30 Simulación del Match Factor (MF) de la excavadora CAT 390FL - ES-Z01.	100
Tabla 31 Simulación del Match Factor (MF) de la excavadora CAT 390FL - ES-Z02.	101
Tabla 32 CU del carguío y acarreo - ES-Z01.	103
Tabla 33 CU del carguío y acarreo - ES-Z02.	104
Tabla 34 Flota actual vs. flota óptima de acarreo.	105
Tabla 35 Variación de CU de flota óptima de acuerdo al ciclo - ES-Z01.	106
Tabla 36 Variación de CU de flota óptima de acuerdo al ciclo - ES-Z02.	107
Tabla 37 Producción horaria actual y calculada.	108
Tabla 38 Eficiencia operativa de los equipos.	108
Tabla 39 Costo unitario del carguío y acarreo.	109
Tabla 40 KPI's de carguío.	109
Tabla 41 KPI's de acarreo.	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Operaciones en movimientos de tierras.	14
Figura 2. Cambios típicos de volumen del suelo en movimientos de tierras.	15
Figura 3. Volumen aparente del suelo en movimientos de tierras.	15
Figura 4. Clasificación de equipos de movimiento de tierras	16
Figura 5. Equipos para carguío en construcción y minería a cielo abierto.....	17
Figura 6. Equipos para acarreo en construcción y minería a cielo abierto.	18
Figura 7. Tiempos en el sistema carguío - acarreo.....	24
Figura 8. Clasificación de los cucharones de las excavadoras según su capacidad.	26
Figura 9. Capacidad de colmado del cucharón.....	27
Figura 10. Tiempos del ciclo de carguío con excavadora.	28
Figura 11. Carguío con excavadora a doble carril.....	28
Figura 12. Mapa de ubicación del proyecto.	40
Figura 13. Plataforma de extracción de material.....	41
Figura 14. Cantera de extracción de material enrocado 3B.....	42
Figura 15. Ruta de acarreo de material.	43
Figura 16. Ruta de acarreo de la cantera Tucush hacia el espaldón de PDR.	44
Figura 17. Zona de descarga en el espaldón de PDR.	44
Figura 18. Trabajos en el espaldón de PDR.	45
Figura 19. Espaldón de PDR (vista en corte).	51
Figura 20. Secuencia constructiva del espaldón de PDR.	51
Figura 21. Carguío de material 3B en cantera Tucush.	53
Figura 22. Descarga de material 3B en plataforma de relleno.	54
Figura 23. Empuje y conformación de material 3B.	54
Figura 24. Perfilado y conformación de muro de seguridad.	55

Figura 25. Riego de plataforma de relleno 3B.	56
Figura 26. Compactación de plataforma 3B.....	56
Figura 27. Pareto de las demoras operativas en carguío.	61
Figura 28. Pareto de las demoras operativas en acarreo.....	62
Figura 29. Secuencia constructiva de relleno en espaldón.	63
Figura 30. Banco de explotación con excavadora CAT 390 FL	65
Figura 31. Construcción de muros de seguridad.	66
Figura 32. Distancia entre el volquete y excavadora.....	67
Figura 33. Acondicionamiento de la zona de carguío.	68
Figura 34. Tiempo de cambio.	69
Figura 35. Tiempos de llenado con excavadora.	71
Figura 36. Ángulo de giro de la excavadora en el carguío.....	71
Figura 37. Tiempo de cambio de excavadora 01.....	72
Figura 38. Tiempo de cambio de excavadora 02.....	72
Figura 39. Tiempos del ciclo de carguío de las excavadoras en estudio.	73
Figura 40. Tiempos del ciclo de carguío de excavadora 01.	74
Figura 41. Tiempos del ciclo del carguío de excavadora 02.	75
Figura 42. Ancho mínimo de camino de acarreo.	79
Figura 43. Perfil longitudinal de la ruta 01.	80
Figura 44. Perfil longitudinal de la ruta 02.	80
Figura 45. Desempeño de velocidades en ruta 01.	84
Figura 46. Desempeño de velocidades en ruta 02.	84
Figura 47. Rutas de acarreo.....	85
Figura 48. Salida del volquete del punto de carguío.	86
Figura 49. Tiempos de recorrido en ruta 01.	88

Figura 50. Tiempos de recorrido en ruta 02.	89
Figura 51. Maniobras de entrada en relleno zona 01.	90
Figura 52. Maniobras de entrada en relleno zona 02.	91
Figura 53. Maniobras de ingreso a la zona de carguío.	93
Figura 54. Ingreso del volquete en retroceso al carguío.	94
Figura 55. Producción teórico y real del sistema - ES-Z01.	100
Figura 56. Producción teórico y real del sistema - ES-Z02.	102
Figura 57. Producción óptima de flota vs. costos unitarios - ES-Z01.	103
Figura 58. Producción óptima de flota vs. costos unitarios - ES-Z02.	104
Figura 59. Flota actual vs flota óptima.	105
Figura 60. Variación de CU de flota óptima en función al ciclo calculado - ES-Z01..	106
Figura 61. Variación de CU de flota óptima en función al ciclo calculado - ES-Z02..	107

RESUMEN

En San Marcos, en la Mina Antamina, se viene realizando trabajos de elevación de la corona de la presa de relaves, esto genera incrementar los rellenos del espaldón, que consiste en rellenar capas de material 3B, hasta llegar a las cotas de diseño. Esta investigación tiene como objetivo principal la analizar la productividad y la utilización de equipos en las operaciones de carguío y acarreo. De acuerdo a los indicadores de productividad y a lo que se pudo observar en campo es que existe congestión en las plataformas de descargar y exceso y falta de volquetes en el carguío, generando baja productividad y utilización de equipos. La metodología utilizada consistió en realizar el estudio y análisis de los tiempos que interviene en la operación del carguío y del acarreo, así como la secuencia constructiva de los trabajos de relleno, con el fin de mejorar los indicadores. Con la información obtenida, se calcularon los ciclos de trabajo y la producción horaria de los equipos; de acuerdo a ello, mediante el Match Factor se obtuvo la flota óptima de acarreo para las dos excavadoras, los cuales fueron 16 y 10 volquetes (MF de 1.03 y 1.01). Luego se calcularon los costos unitarios del carguío y acarreo, obteniendo como **resultado** una disminución total de 31%. Así mismo, el aumento de la producción de acarreo de 32% y 33% y una disminución de 24% de la flota total actual. **Concluimos** que, con un análisis y estudio detallado de la operación, identificamos los tiempos improductivos por demoras operativas, que afectan a la productividad y utilización de los equipos, ya el ciclo de trabajo está relacionado a ello.

Palabras clave: Carguío y acarreo, Match Factor, excavadora, volquete, tiempos, producción, productividad.

ABSTRACT

In San Marcos, at the Antamina Mine, work has been carried out to raise the crown of the tailings dam, this generates an increase in the fill of the shoulder, which consists of filling layers of 3B material, until reaching the design levels. The main objective of this research is to analyze the productivity and use of equipment in loading and hauling operations. According to the productivity indicators and what could be observed in the field, there is congestion in the unloading platforms and excess and lack of dump trucks in loading, generating low productivity and use of equipment. The methodology used consisted of carrying out the study and analysis of the times involved in the loading and hauling operation, as well as the construction sequence of the filling works, in order to improve the indicators. With the information obtained, the work cycles and the hourly production of the equipment were calculated; Accordingly, using the Match Factor, the optimal hauling fleet for the two excavators was obtained, which were 16 and 10 dump trucks (MF of 1.03 and 1.01). Then the unit costs of loading and hauling were calculated, obtaining as a result a total decrease of 31%. Likewise, the increase in haulage production of 32% and 33% and a 24% decrease in the current total fleet. We conclude that, with a detailed analysis and study of the operation, we identify unproductive times due to operational delays, which affect the productivity and use of the equipment, and the work cycle is related to it.

Keywords: Loading and hauling, Match Factor, excavator, dump truck, times, production, productivity.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, al igual que otros sectores de producción, las compañías de minería y construcción están constantemente en búsqueda de optimizar sus operaciones y reducir los plazos y costos de los mismos; así mismo, con el objetivo de obtener una operación exitosa están en búsqueda de nuevas metodologías y herramientas de gestión para una mejora continua de sus procesos, que esté acorde a los estándares y normas aplicables a calidad, seguridad, medio ambiente, cumplimiento, productividad y plan de responsabilidad social.

En gran parte de proyectos de movimiento de tierra a cielo abierto, de acuerdo a la vida útil del proyecto, las operaciones de carguío y acarreo presentan condiciones que van cambiando considerablemente y que al mover miles de metros cúbicos de material por día, dichos factores incidirán en el tiempo del ciclo de estas operaciones, por lo que el correcto dimensionamiento de flota y al contar con el personal de campo (supervisores e ingenieros) indicada para solucionar las dificultades y problemas propias de estas operaciones, permitirá obtener resultados exitosos.

Así mismo, estas operaciones son una de los componentes más importantes e incidentes en los costos de un proyecto, para ello debe realizarse en lo posible de la manera más eficiente y eficaz, con la finalidad de lograr una buena productividad; del mismo modo, será necesario que los equipos y el personal que está involucrado en dichas operaciones obtengan mejores rendimientos, buscando así minimizar dichos costos y que se cumplan con los objetivos establecidas por las empresas y para la satisfacción del cliente en los resultados finales del proyecto.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la Realidad Problemática

El proyecto de recrecimiento de la Presa de Relave Fase VII de la Minera Antamina, considera elevar la cresta principal e incrementar el relleno del espaldón. Este componente del proyecto considera el carguío, acarreo y conformación de material 3B. Para ello es importante conocer los procesos que intervienen en el carguío en la cantera Tucush (botadero de material enrocado, producto de las operaciones de mina) y acarreo del material 3B hacia el espaldón de la presa. El ciclo se inicia a través de las excavadoras CAT 390 FL, las cuales están ubicadas en zonas de acuerdo con el plan integral de minado o explotación de la cantera Tucush. Estas excavadoras realizan el carguío del material 3B directamente hacia los volquetes y estos acarrear dicho material por accesos, vía comunidades y rampas hasta llegar a la zona de descarga (plataforma de relleno). Realizado la descarga de material, los volquetes retornan vacío hacia el lugar de origen (cantera) para de esta forma completar con el ciclo de trabajo.

En las reuniones semanales de productividad, de acuerdo a los reportes emitidos por el área de Control de Proyectos, en los últimos meses se ha obtenido baja productividad y utilización de los equipos en las operaciones de carguío y acarreo, por lo cual, en su preocupación la Gerencia del proyecto ha encomendado al área de Operaciones, la identificación de las causas y factores que generan reducción de las horas totales de trabajo y el impacto en la productividad en dichas operaciones, determinando así las como principales causas los tiempos improductivos, los cuales se indican a continuación: espera de volquetes en cola en el carguío, cambio constante de puntos de carguío por la altura de banco que requieren descreste, condiciones inseguras en los taludes de extracción o corte (zona de carguío), malas condiciones de los accesos y vías de acarreo, velocidad de operación inferior a lo permitido, tráfico vehicular en las vías de acarreo, reducción del ancho operativo en las vías por acumulación de material en los laterales, abastecimiento de combustible en horas de trabajo, congestión en las plataformas de descarga, mantenimiento de los equipos, línea de fuego entre equipos, falta de

frente de trabajo en la plataforma de relleno, material en la cantera que no cumple con las especificaciones técnicas (bolonerías y material fino); además de los cambios de guardia, traslado tardío al frente de trabajo, falta de operadores, falta de señal de equipos topográficos para liberación de plataformas de relleno, falta de experiencia y habilidad de operadores, etc. Estos factores impactan de manera directa la productividad y utilización de los equipos en estas operaciones.

Debido a las constantes exigencias para cumplir con las metas establecidas en la producción y productividad, y comprometidos con el plazo, costo, calidad y seguridad en las operaciones, se corrigieron algunos de estas causas y factores, quedando pendiente solucionar principalmente y las más incidentes la falta, espera y/o acumulación de volquetes en el carguío y congestión en las plataformas de relleno, evidenciando así flotas sobredimensionadas y subdimensionadas, lo que generan improductivos, baja utilización de equipos y costos elevados en la operación.

En ese sentido, se tiene que optimizar los recursos con las que se cuentan, y con un acoplamiento óptimo entre unidades de carguío y acarreo, nos permitirá disminuir tiempos improductivos que se generan principalmente por demoras propias de las operaciones, de esta forma el sistema carguío-acarreo se desarrolle al máximo de su capacidad potencial, aumentando la eficiencia en estas operaciones; para ello se realizará un estudio detallado de las operaciones, se analizarán los tiempos y factores que impactan la productividad y utilización de equipos.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema general

Esta investigación tiene como problema central responder la siguiente interrogante:

¿De qué manera se describe la productividad y la utilización de equipos en las operaciones de carguío y acarreo, San Marcos - 2022?

1.2.2. Problemas específicos

Los problemas específicos que se mencionan son los siguientes:

¿De qué manera se describe la producción en las operaciones de carguío y acarreo, San Marcos - 2022?

¿De qué manera influye el número de equipos en las operaciones de carguío y acarreo, San Marcos - 2022?

¿De qué manera se describe los costos unitarios de las operaciones de carguío y acarreo, San Marcos - 2022?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo general

Esta investigación tiene como objetivo general lo siguiente:

Analizar la productividad y la utilización de equipos en las operaciones de carguío y acarreo, San Marcos – 2022.

1.3.2. Objetivos específicos

Se mencionan los siguientes objetivos específicos:

Analizar la producción en las operaciones de carguío y acarreo, San Marcos – 2022

Calcular el número de equipos en las operaciones de carguío y acarreo, San Marcos – 2022

Analizar los costos unitarios de las operaciones de carguío y acarreo, San Marcos - 2022

1.4. Justificación de la Investigación

Justificación teórica

Para la elaboración de la presente investigación se empleó referencias de base teórica, científica y formal, tales como libros, papers, tesis de pregrado y postgrado, y artículos científicos, con el fin de lograr la viabilidad. Además, incrementar los contenidos investigados en esta área de la ingeniería civil y afines.

Justificación práctica

Esto dado a que nos admite conocer cuantitativamente el mejoramiento de la producción de los equipos, la determinación de la flota de acarreo y la disminución del costo unitario de la operación del carguío y del acarreo.

1.5. Delimitación de la Investigación

Esta investigación se realiza dentro del campo de la Ingeniería Civil y abarca los temas productividad, utilización y rendimiento de equipos en un proyecto de movimiento de tierra. El estudio fue realizado entre los meses de julio a diciembre de 2021, en el proyecto de "Recrecimiento de la Presa de Relaves Fase VII y Diques Auxiliares" ubicado en la Minera Antamina, en el distrito de San Marcos, provincia de Huari, región Ancash.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. Investigaciones Internacionales

Según (Riquelme, 2021) En su tesis para poder optar el título de Ingeniero Civil en Minas titulado: (Propuesta de plan de optimización de producción de carguío y transporte para la gran minería a cielo abierto) en la Universidad Andrés Bello, Chile. Arribó a las siguientes conclusiones.

Objetivo: Proponer un Plan de Optimización de producción de Carguío y Transporte para la gran minería a cielo abierto. Recopilar información de índices operacionales que ayuden a mejorar la producción

Conclusiones: Al finalizar el análisis podemos concluir que el punto clave para aumentar la producción corresponde a la gestión y monitoreo de las horas efectivas de los equipos encargados de realizar la operación de carguío y transporte, debido a que estas tienen relación directa y proporcional al rendimiento del equipo y, por ende, al nivel total de producción de la mina

Así mismo, (González, 2019) En su tesis para poder optar el grado de Magíster en Minería titulado: (Selección y asignación de equipos de carguío para el cumplimiento de un plan de producción en minería a cielo abierto por medio de una metodología de simulación y optimización) en la Universidad de Chile, Chile. Arribó a las siguientes conclusiones.

Objetivo: Comparar el cambio de asignación de equipos y de secuencia de extracción de material al aplicar la metodología propuesta.

Conclusiones: La diferencia entre el tonelaje planificado y el tonelaje extraído corresponde a las pérdidas de productividad asociadas al propio sistema cargador-camión así como a las interferencias entre equipos.

Por otro lado, (Segura, 2020) En su memoria para optar al título de Ingeniero Civil de Minas titulado: (Análisis de flota de equipos de servicios según indicadores de rendimiento en mina Los Bronces) en la Universidad de Concepción, Chile. Obtuvo las siguientes conclusiones.

Objetivo: Es analizar, la flota de equipos de servicios de la mina Los Bronces que permita el cumplimiento del plan de producción. Esto se entiende como análisis de sobredimensionamiento o requerimientos de equipos para las labores rutinarias de Los Bronces al año 2020

Conclusiones: La gestión operativa de los equipos debe ser mejorada, no en la forma en que se programan las actividades, sino la forma en que se realizan estas. Indicadores principales como disponibilidad y uso deben ser mejorados en todos los equipos de servicios.

Del mismo modo, (Ojeda, 2021) En su memoria para optar el título de Ingeniero Civil de Minas titulado: (Selección y asignación de equipos de carguío para el cumplimiento de un plan de producción en minería a cielo abierto por medio de una metodología de simulación y optimización) en la Universidad de Chile, Chile. Arribó a las siguientes conclusiones.

Objetivo: Diseñar un modelo de simulación del sistema de carguío y transporte de la Mina Rajo Sur.

Conclusiones: Por último, de las curvas de productividad se estima que, si se mantiene la misma disponibilidad, incluir un camión más al sistema aumenta la alimentación a planta y el movimiento total en 750 y 1500 tpd, respectivamente.

2.1.2. Investigaciones Nacionales

Según (Blas, 2021), En su tesis para poder optar el título de Ingeniero de Minas titulado: (Determinación del número óptimo de volquetes de 25 m³ para excavadoras 390FL del Tajo Diana – Mina Summa Gold) en la Universidad Nacional de Trujillo. Arribó a las siguientes conclusiones

Objetivo: Determinar el número adecuado de volquetes de 25m³ para Dos excavadores 390 en los diferentes frentes de trabajo, a través del factor de acoplamiento para reducir los costos en la operación de carguío y acarreo y aumentar la productividad de material movido.

Metodología: El tipo de investigación es Básica de tipo Descriptiva, Nivel de investigación: Cuantitativo y explicativo, Diseño de investigación es descriptivo con temporalidad transversal y Método de investigación: Método lógico (deducción, análisis, sistemático).

Conclusiones: El factor de acoplamiento óptimo es de 1 con 52 volquetes los cuales son (30 unidades de 25m³ y 22 de 20m³) para Dos excavadoras 390FL de 6.1 m³ en la ruta mineral del Banco 3388 E – Pad Fase 4 celda 333 - Mina El Toro, reduciendo así el costo unitario de acarreo en 0.4 \$/tms.

Los ciclos operativos de acarreo calculado para volquetes de 20 m³ es de 41.1 min con un ciclo de carguío de 1.39min y para los de 25m³ es de 41.5 con un ciclo de carguío de 1.74 min.

Concluimos que La flota adecuada para el sistema de explotación de 02 Excavadoras 390 Cat es de 48 volquetes, incorporándose 18 volquetes de 25m³, para alcanzar la máxima rentabilidad, el mismo que se obtiene un costo unitario de 0.94 \$/tms reduciendo así en un 9 % el costo total de carguío y acarreo.

Así mismo, (Escarcena, 2019) En su tesis para poder optar el título de Ingeniero de Minas titulado: (Evaluación de las operaciones de carguío y transporte para el mejoramiento de la productividad en la Unidad Minera Tacaza – Ciemsa) Realizada en la Universidad Nacional del Altiplano. Obtuvo las siguientes conclusiones:

Objetivo: Evaluar las operaciones de carguío y transporte para el mejoramiento de la productividad en la Unidad Minea Tacaza.

Metodología: Tipo de investigación es cuantitativa, Nivel de investigación es descriptivo, correlacional y explicativo y Método de investigación que se usó para el presente trabajo de investigación es el método deductivo – inductivo

Conclusiones: De acuerdo a la evaluación realizada a las operaciones de carguío, (...), así mismo se determinó que una flota con carguío óptimo reduce las esperas en hasta 0,57 minutos y las colas en hasta 1,3 minutos, para mejorar la productividad en los tajos José María y Tajo Central de acuerdo al diseño de carguío óptimo, el número de equipos requeridos es de 3 excavadoras y 12 volquetes en los meses de mayo y junio, distribuido de la siguiente manera: En mineral es de 08 volquetes para 01 excavadora en el Tajo José María y 05 volquetes para 01 excavadora en el Tajo Central. En desmonte es de 04 volquetes para 01 excavadora en ambos tajos.

De acuerdo a la evaluación realizada a las operaciones de transporte se concluye que una inadecuada relación de equipos de transporte con respecto a los equipos de carguío genera tiempos muertos producto de demoras operativas compuestas por colas de volquetes en un solo punto de carguío, congestión vehicular en las rampas de ingreso y salida de los tajos; seguido de demoras fijas, esto implica un rendimiento disminuido en la producción.

Por otro lado, (Malimba, 2019) En su tesis para optar el título de Ingeniero de Minas titulado: (Cálculo de la flota de carguío y transporte para optimizar la producción diaria en el tajo Ciénaga Norte - Coimolache) en la Universidad Nacional de Cajamarca. Obtuvo las siguientes conclusiones.

Objetivo: Son determinar la relación correcta entre los equipos de carguío y equipos de transporte, determinar los factores que influyen en el ciclo de transporte de la flota de camiones en tajo Ciénaga Norte – Coimolache y reducir la formación de tiempos sin uso o tiempos muertos de las unidades de la flota de carguío y transporte.

Metodología: El tipo de investigación es cuantitativa, el nivel de investigación es descriptivo, correlacional y explicativo y el diseño de la investigación es no experimental transversal

Conclusiones: La relación entre los equipos de carguío y transporte es determinada por el factor de acoplamiento y para cumplir con la producción programada; en el transporte de mineral es de 1 excavadora a 9 volquetes en los meses de agosto y octubre y de 1 excavadora a 10 volquetes en septiembre y noviembre; en el transporte de estéril es de 1 excavadora a 3 volquetes en agosto y 1 excavadora a 2 volquetes en septiembre, octubre y noviembre.

Los factores que influyen en el ciclo de transporte de la flota de camiones en el tajo Ciénaga Norte son el factor de acoplamiento, las velocidades de los equipos de transporte, la calidad de vías, control de pisos en los frentes de carga y descarga, carguío de bolonería, presencia de polvo, el floteo y la experiencia.

De acuerdo a (Amau, 2019) En su tesis para optar el título de Ingeniero de Industrial titulado: (Optimización de equipos de carguío y transporte para el incremento de producción en la CIA Minera Antapaccay Espinar - Cusco) en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Obtuvo las siguientes conclusiones.

Objetivo: Determinar el incremento en la producción debido a la optimización de los equipos de carguío y acarreo en la Compañía Minera Antapaccay Espinar – Cusco 2018.

Metodología: El tipo de investigación es descriptivo, nivel de investigación es descriptivo analítico y el diseño de investigación es no experimental

Conclusiones: Se ha determinado que la optimización de los equipos de carguío y acarreo influye de manera directa y significativamente en el incremento de producción según el gráfico N° 10 la producción real frente a lo estimado con la optimización de los equipos de carguío y acarreo

alcanzó a un promedio de 299,112 KTM de 283,358 KTM, ya que se dio un cumplimiento de 100% de 99.39%.

Así mismo, (Cortez, 2018) En su tesis para obtener el título de Ingeniero de Industrial titulado: (Mejora del proceso de carguío y acarreo para movimiento de tierras en una empresa minera a tajo abierto de Cajamarca) en la Universidad Privada del Norte. Arribó a las siguientes conclusiones.

Objetivo: Realizar el diagnostico de tiempos del proceso de carguío y acarreo de una empresa minera en los años 2016 y 2017. Diseñar del modelo de mejora de tiempos del proceso de carguío y acarreo basado en la toma de decisiones.

Metodología: El nivel de investigación es descriptivo y tipo de investigación es cuantitativa

Conclusiones: Se diseñó la mejora del proceso de carguío y acarreo para movimiento de tierras en base a la toma de decisiones habiendo antes identificado las oportunidades de mejora de los lapsos de espera que requieren algunas actividades en el proceso de carguío y acarreo: tiempo de carguío, velocidad de los volquetes y tiempo de ciclo de acarreo.

Se aplicó las mejoras del proceso de carguío y acarreo en el año 2017, a las actividades de traslado de material, retorno del volquete vacío obteniendo resultados positivos y de mejora.

Por otro lado, (Bustamante, 2018) En su tesis para optar el título de Ingeniero de Minas titulado: (Optimización de la productividad de los equipos de carguío y acarreo en Gold Fields La Cima S.A mediante la disminución de las demoras operativas más significativas) en la Universidad Nacional de Cajamarca. Obtuvo las siguientes conclusiones.

Objetivo: Optimizar la productividad en los ciclos de carguío y acarreo en mediante la disminución de las demoras operativas más significativas, y como objetivos específicos: analizar los KPIs (Indicadores Claves de

Rendimiento) de los equipos de carguío y acarreo; analizar las demoras más significativas que impactan directamente en la producción: cuantificar y valorizar las toneladas que se dejan de producir producto de las demoras operativas; proponer soluciones para reducir o eliminar las demoras más significativas y determinar la importancia del sistema dispatch para la gestión de demoras operativas.

Metodología: El tipo de investigación descriptivo – transversal porque se ha tomado un tiempo determinado para la realización del estudio. El nivel de investigación es descriptivo ya que se describe la situación actual y características de la población de estudio. El diseño de investigación es no experimental ya que se basa en la observación de los hechos para luego ser analizados. El método de investigación es descriptivo porque se describe las condiciones en las que se realiza la investigación.

Conclusiones: Se aplicó las mejoras del proceso de carguío y acarreo en el año 2017, a las actividades de traslado de material, retorno del volquete vacío obteniendo resultados positivos y de mejora.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Movimiento de tierra

Al respecto, Tiktin (1997) indica: “Se denomina movimiento de tierras al conjunto de operaciones que se realizan con los terrenos naturales, a fin de modificar las formas de la naturaleza o de aportar materiales útiles en obras públicas, minería o industria” (p.1.1).

Así mismo, Orta (2013) indica que:

Los movimientos de tierra son aquellas acciones que realiza el hombre para variar o modificar la topografía de un área, faja o zona, con vista a adaptarla al proyecto previamente confeccionado, generalmente de forma mecanizada, mediante el empleo de las maquinarias diseñadas especialmente con esta finalidad.

2.2.1.1. Tipos de movimiento de tierras

Sobre ello, Rojo (2010) indica: “Se pueden considerar tres grandes tipos de movimientos de tierras que se diferencian entre sí por el medio en que se efectúan y por las técnicas seguidas como consecuencia del medio”. Son los siguientes:

- Movimiento de tierras a cielo abierto
- Movimiento de tierras subterráneos
- Movimiento de tierras bajo agua

Así mismo, Rojo (2010) menciona respecto a estos tipos:

El primer tipo se caracteriza porque las máquinas pueden moverse con facilidad y se pueden construir caminos que enlacen fácilmente las zonas de trabajo. Tiene el inconveniente de que al efectuarse los trabajos a la intemperie, la climatología influye mucho en su desarrollo. En los movimientos de tierras subterráneos, la climatología apenas influye, pero se presentan otros muchos inconvenientes, dificultades de conocer de antemano las cualidades del terreno, fallas, etc., y la dificultad de movimientos de las máquinas. En cuanto a los movimientos de tierras bajo agua, sus problemas vienen en general de que las máquinas se sitúan en la superficie del agua y el útil de trabajo debe alcanzar el fondo. Excepcionalmente se han fabricado máquinas que trabajan bajo el agua y son teledirigidas, La principal dificultad es la falta de buena visibilidad (pp.48-49).

2.2.1.2. Operaciones básicas en movimiento de tierra

En el caso más común, el movimiento de tierras a cielo abierto en proyectos de construcción en minería, las operaciones que consideran son las siguientes:

- Preparación del banco
- Excavación
- Carguío

- Transporte (acarreo)
- Descarga
- Conformación o Extendido
- Humectación (regado)
- Compactación
- Trabajos auxiliares (cortes, refine, etc.)

Tiktin (1997) indica: “Los materiales se encuentran en la naturaleza en formaciones de muy diverso tipo, que se denominan bancos, en perfil cuando están en la traza de una carretera, y en préstamos fuera de ella” (p.1.1).

La preparación del banco consiste principalmente en el desbroce y limpieza superficial del terreno natural. Durante estas operaciones también se realizan trabajos auxiliares como banquetas y el descreste de taludes de los bancos superiores.

Así mismo, Tiktin (1997) menciona:

La excavación consiste en extraer o separar del banco porciones de su material. Cada terreno presenta distinta dificultad a su excavabilidad y por ello en cada caso se precisan medios diferentes para afrontar con éxito su excavación. Los productos de excavación se colocan en un medio de transporte mediante la operación de carga. Una vez llegado a su destino, el material es depositado mediante la operación de descarga. Esta puede hacerse sobre el propio terreno, en tolvas dispuestas a tal efecto, etc. Para su aplicación en obras públicas, es frecuente formar, con el material aportado, capas de espesor aproximadamente uniforme, mediante la operación de extendido (p.1.1).

De acuerdo con la función que van a desempeñar las construcciones hechas con los terrenos naturales aportados, es indispensable un comportamiento mecánico adecuado, una protección frente a la humedad, etc. Estos objetivos se consiguen mediante la operación llamada compactación, que debido a un apisonado energético del material consigue las cualidades indicadas (p.1.1).

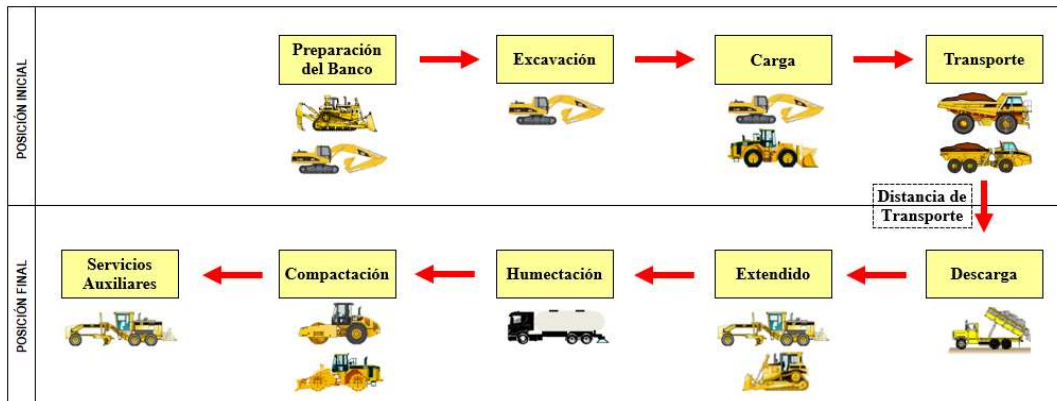


Figura 1. Operaciones en movimientos de tierras.

2.2.1.3. Cambios de volumen

Sobre ello, Tiktin (1997) indica:

Los terrenos, ya sean suelos o rocas más o menos fragmentados, están constituidos por la agregación de partículas de tamaños muy variados. Entre estas partículas quedan huecos, ocupados por aire y agua. Si mediante una acción mecánica variamos la ordenación de esas partículas, modificaremos así mismo el volumen de huecos. Es decir, el volumen de una porción de material no es fijo, sino que depende de las acciones mecánicas a que lo sometamos. El volumen que ocupa en una situación dada se llama volumen aparente. Por esta razón, se habla también de densidad aparente, como cociente entre la masa de una porción de terreno, y su volumen aparente (p.1.2).

$$d_a = \frac{M}{V_a}$$

Donde:

d_a = densidad aparente, V_a = volumen aparente

M = masa de las partículas + masa de agua

Así mismo, Tiktin (1997) menciona:

El movimiento de tierras se lleva a cabo fundamentalmente mediante acciones mecánicas sobre los terrenos. Se causa así un cambio de volumen aparente,

unas veces como efecto secundario (aumento del volumen aparente mediante la excavación) y otras como objetivo intermedio para conseguir la mejora del comportamiento mecánico (disminución mediante apisonado) (pp.1.2-1.3).

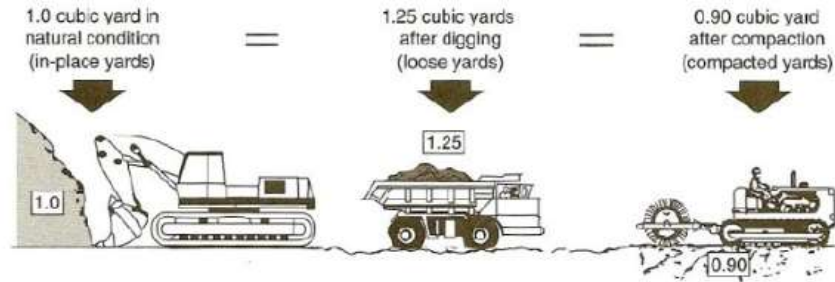


Figura 2. Cambios típicos de volumen del suelo en movimientos de tierras.

(Fuente: Peurifoy, Schexnayder y Schmitt, 2018).

Tiktin (1997) también menciona:

En la práctica se toma como referencia 1 m³ de material en banco y los volúmenes aparentes en las diferentes fases se expresan con referencia a ese m³ inicial de terreno en banco. La figura N°3 representa la evolución del volumen aparente (tomando como referencia 1 m³ de material en banco), durante las diferentes fases del movimiento de tierras (p.1.3).

VOLUMENES APARENTES				
	EXCAVACION	CARGA	TRANSPORTE	COMPACTACION
EXCAVACION EN TIERRAS	 1,0 VOLUMEN APARENTE	 CARGADA	 1,20 a 1,30	 VERTIDA PISADA COMPACTADA 1,10 1,0 1,20 1,10 RELLENOS 0,95 1,0
EXCAVACION ROCA EN CANTERAS	 EN BANCO 1,0 VOLADA 2,0		 1,25 a 1,50	 MACHAQUEO PRIMARIO TRITURACION 1,30 a 1,40 1,20 a 1,30

Figura 3. Volumen aparente del suelo en movimientos de tierras.

(Fuente: Tiktin, 1997)

2.2.2. Equipos de movimiento de tierras

Sobre ello, Rojo (2010) indica:

En los trabajos de movimiento de tierras es interesante la variedad de tipos y tamaños de las maquinarias que ofrecen el mercado para su ejecución. Se debe a la diversidad de los materiales que presenta la superficie terrestre y a los numerosos factores que afectan a la ejecución de los trabajos (p.48).

Por otro lado, sobre los equipos para movimiento de tierras a cielo abierto, Peter (2001) menciona lo siguiente:

Los equipos de carguío (excavadoras, cargadores frontales y palas), camiones de transporte y perforadoras, constituyen unidades primordiales en las minas a tajo abierto. Los equipos auxiliares típicos incluyen tractores, máquinas niveladoras, camiones de servicio, transportadores de explosivos, perforadoras secundarias y grúas (p.3).

2.2.2.1. Clasificación de los equipos de movimiento de tierra

Los equipos empleados en movimiento de tierras se pueden clasificar según las operaciones que realizan, de la siguiente manera:

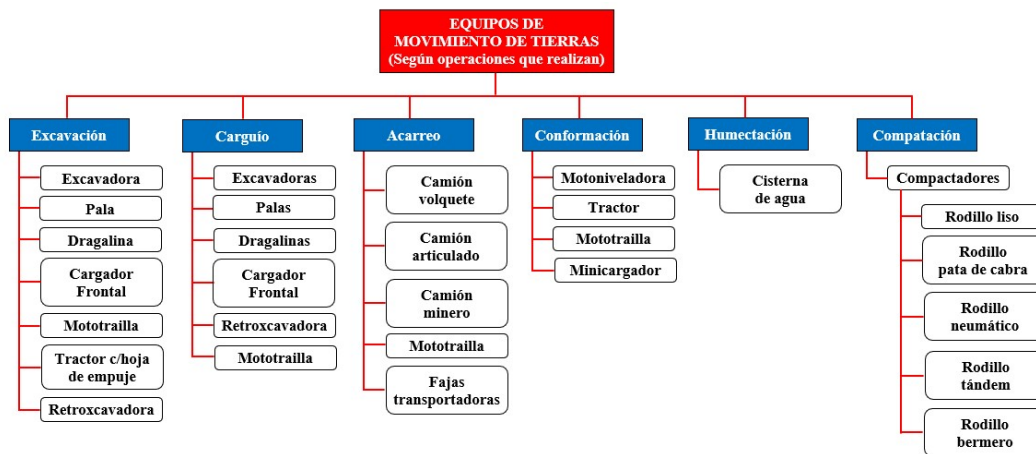


Figura 4. Clasificación de equipos de movimiento de tierras
(Fuente: Adaptado de Morales, 2009).

Nota: El cargador frontal puede excavar en banco, pero su aplicación normal es para carguío de material suelto o excavado. El tractor con hoja de empuje puede realizar excavaciones superficiales. Uno de los equipos de uso múltiple son las mototraíllas, según Yepes (2014), “son maquinas utilizadas para la excavación, carga, transporte, descarga y nivelación de materiales de consistencia media tales como tierras, arena, arcilla, rocas disgregadas, etc. (...)”.

2.2.2.2. Equipos de carguío

Sobre ello, Ortiz (2010) menciona:

Realizan principalmente la labor de carga del material desde la frente de trabajo hacia un equipo de transporte que llevará el material a un determinado destino (planta, botadero, stock). Alternativamente, estos equipos de carguío pueden depositar directamente el material removido en un punto definido, (...). Los equipos de carguío pueden separarse a su vez en unidades discretas de carguío, como es el caso de palas y cargadores, o bien, como equipos de carguío de flujo continuo, como es el caso de excavadores de balde que realizan una operación continua de extracción de material. Otra forma de diferenciar los equipos de carguío considera si éstos se desplazan o no, por lo que se distingue entre equipos sin acarreo (en general su base no se desplaza en cada operación de carguío) y equipos con acarreo mínimo (pueden desplazarse cortas distancias) (p.204)



Figura 5. Equipos para carguío en construcción y minería a cielo abierto.

2.2.2.3. Equipos de acarreo o transporte

Respecto a ello, Ortiz (2010) indica:

Los equipos de transporte tienen por principal función desplazar el material extraído por el equipo de carguío hacia un punto de destino definido por el plan minero. Pueden tener un camino fijo (tren, por ejemplo) o bien pueden desplazarse libremente por cualquier camino, como es el caso de los camiones. Además, se pueden dividir en unidades discretas y equipos de transporte de flujo continuo, (...) (pp.204-205).



Figura 6. Equipos para acarreo en construcción y minería a cielo abierto.

2.2.2.4. Selección de la maquinaria y de los métodos de trabajo

La principal regla para el diseño en la moderna ingeniería minera es;

"La maquinaria define el sistema y la geometría del diseño del movimiento de tierras" (Ortiz y Herrera, 2002).

“Todo proceso de selección de maquinaria analiza un conjunto de criterios, tanto básicos como generales, así como otro grupo definido como criterios específicos” (Ortiz y Herrera, 2002, Sección de Consideraciones respecto a la selección de la maquinaria, párr.1).

Alva (2006) indica, se considerarán lo siguientes criterios de operación en el carguío:

- Producción requerida.
- Tamaño, tipo y capacidad del equipo de carga.
- Altura y espaciamento del banco.
- Diseño de la zona de carguío, requerimientos operacionales: amplitud o espaciamento de la zona de carguío, nivel de piso.
- Tamaño, altura y tipo de la tolva o camión donde se descarga.

- Tipo y condiciones del material: Abrasión, adhesión, cohesión, ángulo de reposo, compresibilidad. densidad del material, friabilidad, contenido de humedad, higroscopicidad, tamaño de fragmentos, forma de fragmentos, razón de esponjamiento
- Fragmentación y forma de la pila de escombros.
- Restricciones de mezcla del material (selectividad: control de leyes).
- Condiciones climáticas y altitud.
- Disponibilidad y utilización de equipos.
- Equipos auxiliares.
- Ergonomía.
- Experiencia, destreza y capacitación del operador: eficacia del operador.

Alva (2006) indica, los más importantes criterios en el acarreo son:

- Producción requerida.
- Tipo y condiciones del material: Abrasión, adhesión, cohesión, ángulo de reposo, compresibilidad. densidad del material, friabilidad, contenido de humedad, higroscopicidad, tamaño de fragmentos, forma de fragmentos, razón de esponjamiento
- Capacidad y características del equipo de acarreo.
- Diseño de la zona de carguío, requerimientos operacionales: Para facilitar el adecuado posicionamiento, rapidez de posicionamiento y maniobrabilidad de las unidades de carga, y mantener el nivel de piso de la zona de carguío.
- Diseño de la ruta de transporte: Distancia de transporte, pendiente, señales de seguridad y límites de velocidad, intersecciones, curvas horizontales y verticales (peraltes, radios de curvatura adecuados), vías de alivio, alcantarillas, puntos de bombeo de agua, ubicaciones de descargas (botaderos de material, stock piles, etc.).
- Mantenimiento de la ruta de transporte: Seguridad y productividad se aumentan con caminos duros, lisos y con buena tracción (resistencia a la rodadura), para mantener la velocidad y limiten el desgaste de los neumáticos.

- Condiciones climáticas y altitud (lluvia, neblina, nevada, tormentas eléctricas, etc.).
- Diseño de la zona de descarga: zonas alternativas de descarga:
- requerimientos operacionales: amplitud de la zona de descarga,
- nivel de piso.
- Disponibilidad y utilización de equipos.
- Equipos auxiliares.
- Ergonomía.
- Experiencia, destreza y capacitación del operador: eficacia del operador.

“Muy importante este último criterio de eficacia del operador, tanto en el carguío como en el acarreo, pues el factor humano juega un papel muy importante en la productividad” (Alva, 2006).

2.2.3. Sistema carguío - acarreo

2.2.3.1. Operaciones de carguío y acarreo

“El carguío y el transporte constituyen las acciones que definen la principal operación en una operación minera. Estos son responsables del movimiento del mineral o estéril que ha sido fragmentado en un proceso de voladura” (Hudson, 2003).

En estas operaciones, el material fragmentado o en banco son cargados mediante las palas, cargadores frontales o excavadoras hacia los camiones mineros, articulados o volquetes para su acarreo a posibles destinos, ya sean plataformas de relleno, stock o acopios de materiales, plantas chancadoras o botaderos.

Carguío:

“Esta etapa del proceso del movimiento de tierras se ocupa de definir los sectores de carga, las direcciones de carguío (a frentes de carga, posición de equipos de carguío y nivel de pisos) y el destino de los materiales” (Codelco, 2001).

Acarreo:

Es la operación que, a pesar de su aparente facilidad, representa el mayor porcentaje en el coste final por tonelada movida; la razón es simple: se necesitan varias unidades de transporte para absorber toda la carga que es capaz de mover la máquina que efectúa la carga; dicho de otro modo, a pesar del enorme tamaño que han alcanzado los volquetes, aún son, y seguirán siendo, pequeños en relación con los equipos de carga, porque nunca será rentable fabricar una cargadora que llene el volquete con un solo cucharón. En esta fase cobra una importancia especial las distancias a que se vaya a transportar el material y la diferencia de cotas que deban superar los componentes del equipo de transporte (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio [MINCOTUR], 2009, p.7)

2.2.3.2. Fundamentos básicos en un sistema de carguío - acarreo

Un sistema de carguío y acarreo consta de una cantidad específica de: equipo(s) de carguío, de equipos de acarreo y equipos auxiliares o equipos de respaldo, la cual definiremos como flota. La productividad de la flota y el tiempo necesario para mover una cantidad específica de material, está determinada por el número de vehículos de acarreo y equipos de carguío (Rondan, 2014, p.24).

"La flota idónea es la flota que puede desplazar el material por menos costo en un periodo definido de tiempo" (Rondan, 2014, p.25).

Como primer gran paso es definir los criterios básicos para el sistema de carguío/acarreo luego tener una idea clara y precisa de todos los factores que inciden en el sistema de carguío y acarreo, es el punto de mayor relevancia en la productividad, esto nos ayudará a tomar decisiones adecuadas mejorando el proceso productivo y reduciendo costos para seguir subsistiendo en el mercado (Rondan, 2014, p.25).

2.2.3.3. Factores que influyen en la productividad y costo del carguío y acarreo

La eficiencia y el costo de efectivo de estos sistemas son sensibles a diversos elementos o factores. Estos factores deben ser comprendidos a cabalidad por los planificadores de mina, porque cada uno de ellos afecta los costos en un mayor o menor grado. La inadecuada combinación de varios factores, aunque ello parezca insignificante, puede resultar costosa en un sistema de transporte y carguío (EDITEC, 2002).

De acuerdo a Checya (2015), considera los siguientes factores:

- a) Capacidad y selección del cucharón del equipo de carguío - productividad de carguío.
- b) Relación entre la capacidad del equipo de carguío con la capacidad del camión
- c) Fragmentación del material a cargar
- d) Acoplamiento del equipo de carguío/ camión (Match Pala / Camión).
- e) Pendiente (Declive).
- f) Vías de acarreo

2.2.3.4. Match Factor (MF) o Factor Acoplamiento (FA)

De acuerdo a Gómez (2011): “Con el cálculo del FA se busca determinar la cantidad óptima de unidades de transporte asociadas a un equipo de carguío determinado. En líneas generales, se puede definir el factor de acoplamiento de la siguiente manera:”

$$FA = \frac{\text{Ciclo de Transporte} * \text{N}^\circ \text{ de equipos de Carguío}}{\text{Ciclo de carguío} * \text{N}^\circ \text{ de equipos de acarreo}}$$

Debido a que en proyectos de movimiento de tierras los equipos de carguío son prácticamente fijos para determinado frente de trabajo, se puede calcular (a través del MF) la cantidad de equipos de acarreo que deben trabajar con la máquina de carga establecida; esta cantidad de equipos será la necesaria para poder absorber la producción del equipo de carguío en el frente de trabajo (Gómez, 2011, Sección Teoría del Factor de Acoplamiento (FA), párr.4).

2.2.3.5. Tiempos que se presenta en un sistema carguío - acarreo

Rondan (2014) menciona: “Los tiempos en un sistema de carguío y acarreo están definidos por un ciclo de trabajo. La suma de los tiempos considerados para completar un ciclo corresponde al tiempo del ciclo, el ciclo consta de:”

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

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

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

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

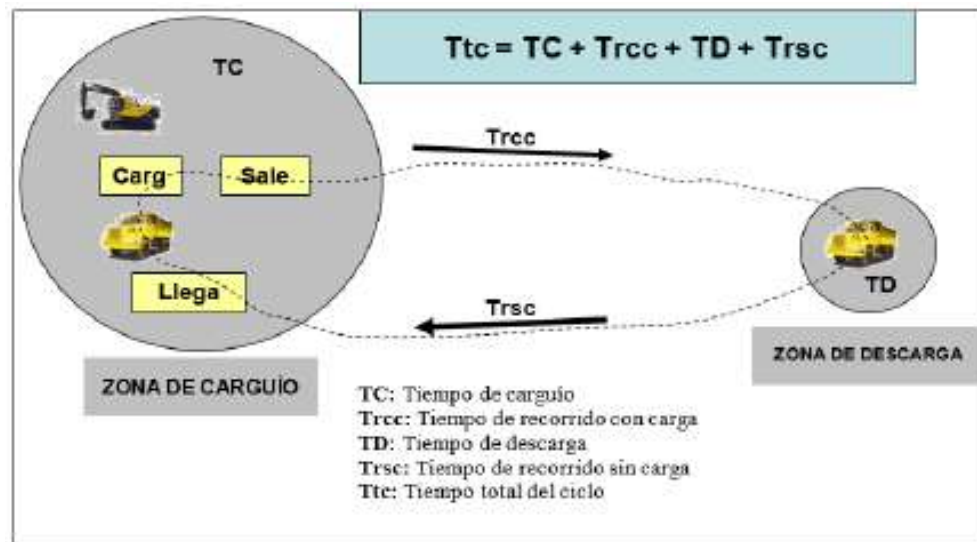


Figura 7. Tiempos en el sistema carguío - acarreo.

(Fuente: Como se citó en Blas, 2021)

2.2.4. Producción y productividad

2.2.4.1. Producción de las excavadoras en movimiento de tierras

La productividad de las excavadoras depende de las dimensiones de su cucharón, de la longitud de su pluma, de la profundidad de excavación, de la potencia del motor, del tipo de suelo (dureza, granulometría, forma de partículas, contenido de humedad), de la habilidad del operador, etc. (Gutiérrez y Pereira, 2006, p.50).

Además, Morales (2009) menciona:

Como en toda máquina para mover material, la producción de una excavadora hidráulica depende de la carga útil media del cucharón, el tiempo medio del ciclo, y la eficiencia del trabajo. Si determinamos con exactitud el tiempo de ciclo de la excavadora y la carga útil del cucharón, se puede usar la fórmula siguiente para hallar la producción de una máquina (p.46).

$$Q_T \text{ (m}^3 \text{ /60 min/h)} = (\text{Ciclo} / 60 \text{ min/hr}) \times (\text{Carga útil promedio del cucharon en m}^3)$$

$$Q_T \text{ (m}^3 \text{ /60 min/h)} = \frac{60 \text{ min/hr}}{\text{Tiempo de ciclo en min}} \times (\text{Carga útil promedio del cucharon en m}^3)$$

$$\begin{aligned} & \text{Carga útil del cucharón} \\ & = (\text{capacidad del cucharon colmado}) \times (\text{Factor de llenado del cucharón}) \end{aligned}$$

$$Q_R \text{ (m}^3 \text{/h)} = (\text{m}^3 \text{/60 min/h}) \times (\text{Factor de eficiencia del trabajo})$$

Donde:

Q_T = Producción teórica de la excavadora en m³/hr

Q_R = Producción real de la excavadora en m³/hr

Los datos de la capacidad del cucharón colmada se obtienen del manual del fabricante de la misma, o de manera directa con las dimensiones del cucharón.

a. Capacidades de los cucharones de las excavadoras

Sobre ello, Caterpillar (2016) indica: “Los cucharones se clasifican por sus capacidades al ras y colmado como sigue:”

Capacidad al ras: “Volumen realmente contenido en la configuración de las placas laterales y el recinto del cucharón delantero y trasero, sin considerar el material sostenido o acarreado en la plancha de derramado o los dientes del cucharón” (Caterpillar, 2016, p.7-216).

Capacidad colmada: Volumen en el cucharón bajo el plano a ras más el volumen de material acumulado sobre dicho plano, con un ángulo de reposo de 1:1 sin considerar el material sostenido o acarreado en la plancha de derramado o los dientes del cucharón. El Comité Europeo de Maquinaria de Construcción (CECE, Committee on European Construction Equipment) clasifica las cargas útiles del cucharón colmado a un ángulo de reposo de 2:1 para el material sobre el plano a ras (Caterpillar, 2016, p.7-216).

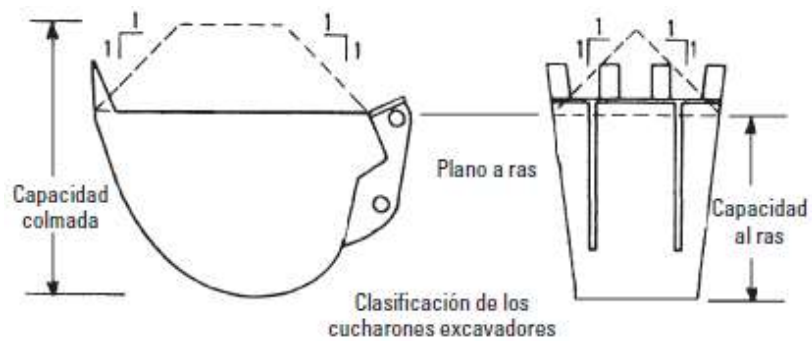


Figura 8. Clasificación de los cucharones de las excavadoras según su capacidad.

(Fuente: Manual de Rendimiento Caterpillar, 2016)

b. Carga útil del cucharón

Al respecto, Caterpillar (2016) indica:

La carga útil del cucharón de una excavadora (la cantidad real de material en el cucharón en cada ciclo de excavación) depende del tamaño, la forma y la fuerza de plegado del cucharón además de ciertas características del suelo, es decir el factor de llenado del suelo. A continuación, se detallan los factores de llenado para varios tipos de materiales (p.7-238).

$$\text{Carga útil promedio del cucharón} = (\text{capacidad del cucharón colmado}) \times (\text{Factor de llenado del cucharón})$$

Tabla 1

Factores de llenado y % de la capacidad colmada del cucharón.

Manipulación	Gama de factores de llenado (Porcentaje de la capacidad del cucharón colmado)
Marga húmeda o arcilla arenosa	A — 100-110 %
Arena y grava	B — 95-110 %
Arcilla dura y resistente	C — 80-90 %
Roca: bien tronada	60-75 %
Roca: mal tronada	40-50 %

Fuente. Manual de Rendimiento Caterpillar, 2016.

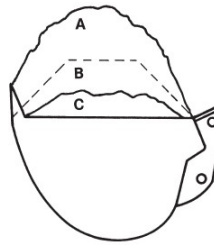


Figura 9. Capacidad de colmado del cucharón.

(Fuente: Manual de Rendimiento Caterpillar, 2016)

c. Tiempos del ciclo de las excavadoras

La duración del trabajo o tiempos de ciclo de carguío con excavadora dependerá del tamaño del cucharón, del ángulo de giro, del tipo y características del suelo o material (granulometría, dureza, etc.), de la profundidad o altura de excavación, del posicionamiento y altura del equipo de acarreo, condiciones y características del equipo y del área de operación. El ciclo de carguío con excavadora se basa en 4 tiempos:

T-1: Corte del material

T-2: Elevación y giro con cucharón cargada

T-3: Descarga del material al volquete

T-4: Giro con cucharón vacía

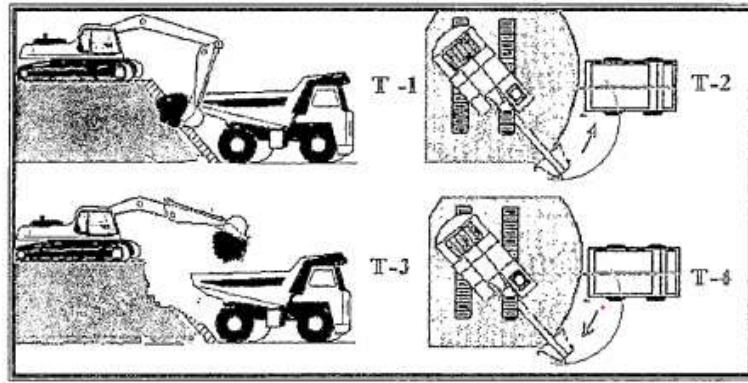


Figura 10. Tiempos del ciclo de carguío con excavadora.

(Fuente: Checya, 2015)

Para determinar la producción, se calcularán los tiempos del ciclo del carguío de la excavadora, al tener un tiempo menor de esta, por consiguiente, se tendrá una mayor producción y viceversa, todo ello con las mismas condiciones y consideraciones de trabajo. El cálculo del ciclo se deberá de realizar para cada marca y modelo de excavadora.

Con la finalidad de maximizar la productividad del equipo de carguío, se utiliza dos volquetes por excavadora, esto con el fin de disminuir los tiempos de esperas de volquetes, cuya ubicación de las mismas será a ambos lados y de lo posible a un mismo nivel, dicha operación se denomina carguío a doble carril. Todo ello está condicionado al área necesario en la zona de carguío para la maniobra de la excavadora (radio de giro de trabajo) y la ubicación de los volquetes.

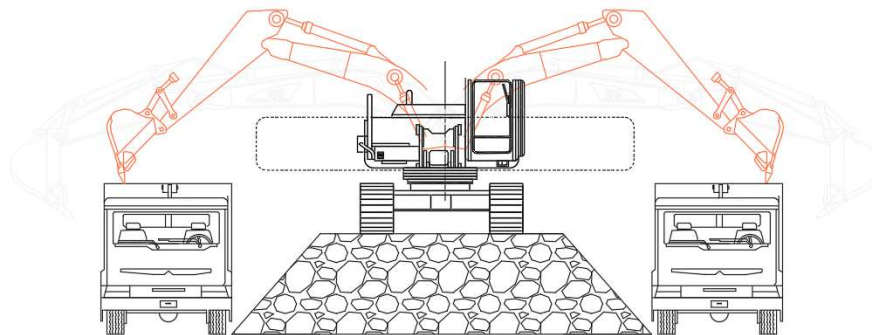


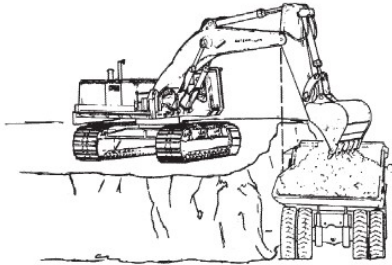
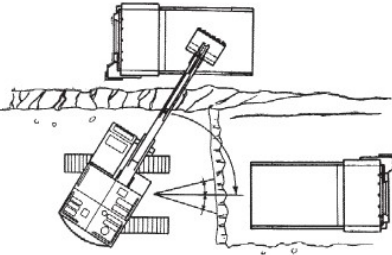
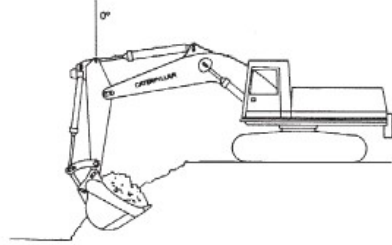
Figura 11. Carguío con excavadora a doble carril.

d. Maximización de producción y técnicas de operación

Para aumentar la producción de la excavadora, Caterpillar (2016) recomienda las siguientes técnicas de operación:

Tabla 2

Técnicas de operación para maximizar la producción.

Técnica de operación	Descripción
	<p>Altura del banco y distancia del camión ideales: para los materiales consolidados o estables, la altura del banco debería ser igual a la longitud del brazo. Para los materiales inestables debería ser menor. La posición del camión más útil es cuando el riel interno de la caja del camión está por debajo del pasador de la bisagra del brazo o la pluma.</p>
	<p>Zona de trabajo y ángulo de rotación óptimos: para lograr una producción máxima, la zona de trabajo debe limitarse a 15° en cada lado del centro de la máquina, o aproximadamente el ancho del tren de rodaje. Los camiones se deben ubicar lo más cerca posible de la línea central de la máquina. Aquí se muestran dos alternativas.</p>
	<p>Mejor distancia desde el borde: la máquina se debe ubicar de manera que el brazo quede vertical cuando el cucharón alcanza la carga completa. Si la unidad se encuentra más atrás, la fuerza de desprendimiento se reduce. Si está más cerca del borde, se puede producir un socavamiento y se pierde tiempo al mover el brazo. Además, el operador debe comenzar la elevación de la pluma cuando el cucharón está en el 75 % del recorrido del ciclo de plegado. Esto debe ocurrir a medida que el brazo se acerca a la posición vertical.</p>

Fuente: Manual de Rendimiento Caterpillar, 2016

2.3. Bases filosóficas

2.3.1. La productividad como componente de la competitividad

Respecto a ello, Bonilla (2012) indica lo siguiente:

Si la competitividad permite a los países y a las empresas afrontar favorablemente la competencia internacional, bien sea en el entorno doméstico o internacional y la productividad, establece la relación entre los recursos disponibles, las unidades que se producen y su valor; el mejoramiento de ésta, permite potenciar la capacidad competitiva (p.159).

En el ámbito económico, el crecimiento está asociado a diversos aspectos y uno de ellos es la competitividad, que a mi juicio debe empezar por proponer como objetivo prioritario la importancia de la productividad, toda vez que su dinámica refleja el uso eficiente o no de los recursos con que cuentan los países, las empresas y los sectores. Esta es una variable fundamental cuyo comportamiento acelera o retrasa la capacidad productiva de una economía; por tanto, contextualizarla, medirla y evaluarla es de primordial importancia para formular políticas que estimulen su desarrollo (Bonilla, 2012, p.159).

2.3.2. La productividad desde una perspectiva humana

Según Marvel, Rodríguez y Núñez (2011) mencionan:

La mejora de la productividad es el resultado de la mejora de las relaciones humanas, derivada de la participación de los trabajadores, de su inclusión en la toma de decisiones y en la resolución de problemas. Por lo tanto, la participación incrementa la influencia del individuo en las decisiones de la organización, lo cual se traducirá en una mayor productividad, que, a su vez, servirá para reforzar su voluntad y capacidad para participar.

Finalmente, podemos asegurar que el foco de las organizaciones exitosas está en la gente, cuando las personas están motivadas y organizadas y aplican los principios de productividad, calidad, comportamiento ético y hacen un uso equilibrado de la tecnología para el progreso humano, la productividad está asegurada (Marvel et al., 2011).

2.4. Definición de términos

Carguío. “Consiste en la carga de material fragmentado del botadero para conducirlo a los posibles destinos. La operación de carguío involucra el desarrollo de una serie de funciones que aseguran que el proceso se lleve a cabo con normalidad y eficiencia” (Codelco, 2001).

Transporte o acarreo. Consiste en el traslado de material mineralizado y/o estéril desde el yacimiento hacia los posibles destinos, ya sea el chancado, stock de mineral o botaderos de estéril. En la etapa de transporte se debe considerar los siguientes: La definición de las rutas de transporte y el destino de los materiales transportados de acuerdo con leyes de clasificación y tonelajes definidas (Codelco, 2001).

Sistema carguío-acarreo. “El carguío y el acarreo constituyen las acciones que definen la principal operación en una operación minera. Estos son responsables del movimiento del mineral o estéril que ha sido fragmentado en un proceso de voladura” (Hudson, 2003).

Utilización: “Es la fracción del total de horas hábiles, expresada en porcentaje, en la cual el equipo se encuentra en condiciones físicas de cumplir su objetivo de diseño” (Blas, 2021, p.35).

Factor de acoplamiento o Match Factor: “El factor de acoplamiento desde una perspectiva de un modelo matemático determina el número de volquetes para cada unidad de carguío” (Ortiz, Canchari, Iglesias y Gonzales, 2007, p.41).

Productividad: “Es el cociente de la división de la producción entre los recursos usados para lograr dicha producción” (Ghio, 2001, p.22).

La productividad también puede definirse en forma más explícita como una medición de la eficiencia con que los recursos son administrados para completar un producto específico, dentro de un plazo establecido y con un estándar de calidad dado. Es decir, la productividad comprende tanto la eficiencia como la efectividad (Serpell, 2002, p.29).

La productividad implica la mejor del proceso productivo. La mejora significa una comparación entre la cantidad de entre la cantidad de recursos utilizados y la cantidad de bienes y servicios producidos. Por ende, la productividad es un índice que relaciona lo producido por un sistema (salidas o producto) y los recursos utilizados para generarlo (entradas o insumos) (Carro y González, 2012, p.1).

Producción: “La cantidad de trabajo que puede llevar a cabo en un determinado tiempo una unidad de producción, ya sea individual o como grupo” (Ghio, 2001, p.23).

Rendimiento: “Corresponde al volumen o peso de producción teórico por unidad de tiempo de un equipo determinado. Generalmente se expresa en términos de producción por hora, pero puede también utilizarse la tasa por turno o día” (Cuti, 2019, p.31).

Costo de Producción Unitario: “Nos permite determinar cuál es el costo por cada metro cubico que se carga al volquete, es un buen indicador para manejar nuestros costos de Carguío” (Rojas, 2019, p.72).

“El costo unitario es el valor promedio que, a cierto volumen de producción, cuesta producir una unidad de producto” (Valenzuela, 2014, p.4).

Optimizar: “significa lograr un máximo o un mínimo con respecto a un determinado criterio o criterios. Lo cual quiere decir que se mejora la productividad” (Rivero y Rivas, 2013).

Disponibilidad mecánica (DM): “Es el porcentaje del tiempo total que el equipo está disponible para operaciones. Es una medida de la eficiencia de Mantenimiento, por lo que es controlada por ellos” (Saldaña, 2013, p.44).

Tiempo o duración del ciclo: El tiempo necesario para hacer un viaje de ida y vuelta se denomina tiempo de ciclo. En cualquier trabajo de movimiento de tierras, las máquinas se adaptan a un ciclo de trabajo determinado. En este ciclo están incluidas las operaciones de carga, acarreo, descarga y retorno al lugar original, con algunas variaciones en ciertos casos. El tiempo de ciclo es el que invierte un equipo para llevar a cabo todas estas operaciones (Cruzat, 2008, p.19).

Rampas y accesos: Son las rutas por las cuales se realiza el transporte habitual de materiales de la explotación; es decir por donde circulan las unidades de acarreo. Ambas tienen distinto tratamiento y diseño, pues mientras que por las primeras la circulación puede ser continua en los dos sentidos y a marcha rápida, la utilización de las segundas es mínima y a velocidad mucho más lenta. En estas últimas la pendiente debe recomendarse por razones de seguridad 12 %. Con relación al ancho este debe superar por lo menos en dos metros de vía de la unidad más ancha que circule por ellas (Reygada, s.f.).

Vías o caminos de transporte: Son las estructuras viarias dentro de una operación de movimiento de tierras, a través de las cuales se extrae material, o se efectúan los movimientos de equipos y servicios entre diferentes puntos de la misma. Se caracterizan, fundamentalmente, por su anchura y su pendiente dentro de una disposición espacial determinada (Bustillo y López, 1997).

2.5. Formulación de hipótesis

De acuerdo al tipo de investigación considerada (descriptiva), no se formulan hipótesis.

Según Arias (2012), para una investigación de tipo descriptiva, afirma:

Su misión es observar y cuantificar la modificación de una o más características en un grupo, sin establecer relaciones entre éstas. Es decir, cada característica o variable se analiza de forma autónoma o independiente. Por consiguiente, en este tipo de estudio no se formulan hipótesis, sin embargo, es obvia la presencia de variables (p.25).

2.6. Operacionalización de las variables

Variable 1

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
PRODUCTIVIDAD Y UTILIZACIÓN DE EQUIPOS	Productividad es el cociente de la división de la producción entre los recursos usados para lograr dicha producción (Ghio, 2001, p.23).	Productividad implica la mejora del proceso de producción (Carro y González, 2012, p.1).	• Producción	m3/h y m3/día
		Unidades de transporte asociadas para un equipo de carguío determinado (Blas, 2021, p.14).	• Número de equipos (recursos utilizados)	Unidad
		El costo por cada metro cubico que se carga a una unidad de acarreo (Rojas, 2019, p.72).	• Costos unitarios	USD/m3

Variable 2

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
OPERACIONES DE CARGUÍO Y ACARREO	Estos son responsables del movimiento del mineral o estéril (Hudson, 2003).	Estos son responsables del movimiento del mineral o estéril (Hudson, 2003).	• Movimiento de material	Cantidad de viajes y topográfica
			• Volumen transportado	Metros cúbicos (m3)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Diseño Metodológico

3.1.1. Tipo De Investigación

El tipo de la presente investigación es Básica de tipo Descriptiva. Al respecto, para Sabino (1986):

La investigación de tipo descriptiva trabaja sobre realidades de hechos, y su característica fundamental es la de presentar una interpretación correcta. Para la investigación descriptiva, su preocupación primordial radica en descubrir algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos, utilizando criterios sistemáticos que permitan poner de manifiesto su estructura o comportamiento. De esta forma se pueden obtener las notas que caracterizan a la realidad estudiada (p.51).

3.1.2. Enfoque de la Investigación

El enfoque de esta investigación es cuantitativo, al respecto Hernández, Fernández y Baptista (2014) afirman, “el enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías” (p.4).

3.1.3. Nivel de Investigación

El nivel de este estudio es investigación descriptiva, al respecto Arias (2012) define:

La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su

estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere (p.26).

3.1.4. Diseño de la Investigación

El diseño del presente estudio es no experimental, transversal. Al respecto, Hernández, Fernández y Baptista (2014) afirman, “Investigación no experimental Estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos” (p.152).

Hernández, Fernández y Baptista (2014), afirman. “Los diseños transeccionales descriptivos tienen como objetivo indagar la incidencia de las modalidades o niveles de una o más variables en una población” (p.155).

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población al cual se va estudiar son a los equipos de carguío y de acarreo, que son 12 excavadoras (entre CAT 390FL y CAT 336DL) y 58 volquetes, en el proceso constructivo de la elevación de la Presa de Relave Fase VII en la Minera Antamina.

3.2.2. Muestra

De acuerdo a los métodos de muestreo no probabilístico, se utilizará el muestreo intencional. La muestra son 02 excavadoras CAT 390FL y 34 volquetes. Se consideran estas cantidades, puesto que son los equipos que se emplean en el proceso constructivo de los rellenos en el espaldón.

Respecto al muestreo intencional, Arias (2012) indica que, “en este caso los elementos son escogidos con base en criterios o juicios preestablecidos por el investigador” (p.85). Así mismo, Otzen y Manterola (2017) indica lo siguiente: “Permite seleccionar casos característicos de una población limitando la muestra sólo a estos casos. Se utiliza en escenarios en las que la población es muy variable (...)” (p.230).

3.3. Técnicas de recolección de datos

La técnica aplicada para el desarrollo de esta investigación fue la observación y análisis documental. Arias (2012) indica que, “la observación es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos” (p.69).

Useche, Artigas, Queipo y Perozo (2019) mencionan que:

La técnica de revisión documental, es la exploración exhaustiva de textos y documentos sobre un tema en particular. Se usa esta técnica para seleccionar y extraer información sobre la variable, desde diferentes ópticas abordadas, permitiendo profundizar sus conocimientos sobre el tema y la variable en términos de integración, corroboración y crítica (p.48).

Tabla 3

Técnica de recolección de datos.

Técnica	Instrumentos
Observación.	Fichas de registro para la toma de tiempos
	Libreta de apuntes de campo
	Cámara fotográfica para registro de evidencias
Análisis Documental.	Bibliografía sobre el tema de investigación
	Plan de trabajo de explotación de cantera
	Planos de rutas de acarreo

Se elaboró un plan de trabajo para la toma de datos en campo, donde se establecieron las etapas, secuencias y zonas para la recolección de la información, que considera la toma de tiempos del ciclo de trabajo, comportamiento del sistema carguío-acarreo, rutas de acarreo e interferencias. Para la toma de los tiempos de los ciclos, el instrumento empleado fue una ficha de registro.

3.4. Técnicas para el procesamiento de información

La técnica empleada consta de la siguiente:

El procedimiento para analizar la información de campo, se desarrollará desde la revisión del plan de explotación de la cantera, donde se tiene identificado las zonas de extracción y cantidad de material a mover, así mismo los volúmenes de avance de los rellenos.

La información de las rutas de acarreo son procesados mediante software AutoCAD CIVIL 3D y su presentación son en planos, donde se muestran las distancias y pendientes.

La información recopilada en campo es digitalizada a la base de datos, los cuales son evaluados y analizados. El procesamiento se realiza en Microsoft Excel, con el fin de obtener una información entendible, válida y confiable. La presentación de los datos se verá mediante hojas de cálculo, tablas y gráficas estadísticas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Análisis de resultados

4.1.1. Descripción de las zonas de trabajos y equipos de estudio

La C. M. Antamina en la actualidad viene desarrollando trabajos de extracción de mineral, obteniendo concentrado y separando los relaves que son depositados respectivamente. Debido al continuo crecimiento del nivel del espejo de agua del depósito de relaves, se hace necesario realizar la elevación de la corona de la presa de relave en forma periódica a fin de mantener un borde libre de 2.0 m. como mínimo, lo que genera también incrementar el relleno del espaldón. Esta elevación se viene realizando por etapas o fases de acuerdo con la demanda proyectada por el área de operaciones mina (Stracon, 2019, p.8).

4.1.1.1. Ubicación y accesos al proyecto

A) Ubicación:

La Presa de Relave de la mina Antamina está ubicado en:

- ✓ Distrito: San Marcos.
- ✓ Provincia: Huari.
- ✓ Departamento: Ancash.

Las coordenadas geográficas son:

- ✓ Latitud. 77° 01' 45" W.
- ✓ Longitud: 09° 31' 48" S

Las coordenadas UTM DATUM: WGS-84, zona 18Sur son:

- ✓ Este: 277 250
- ✓ Norte: 8 945 180
- ✓ Altitud: 4140 m.s.n.m. (a la fecha del estudio)

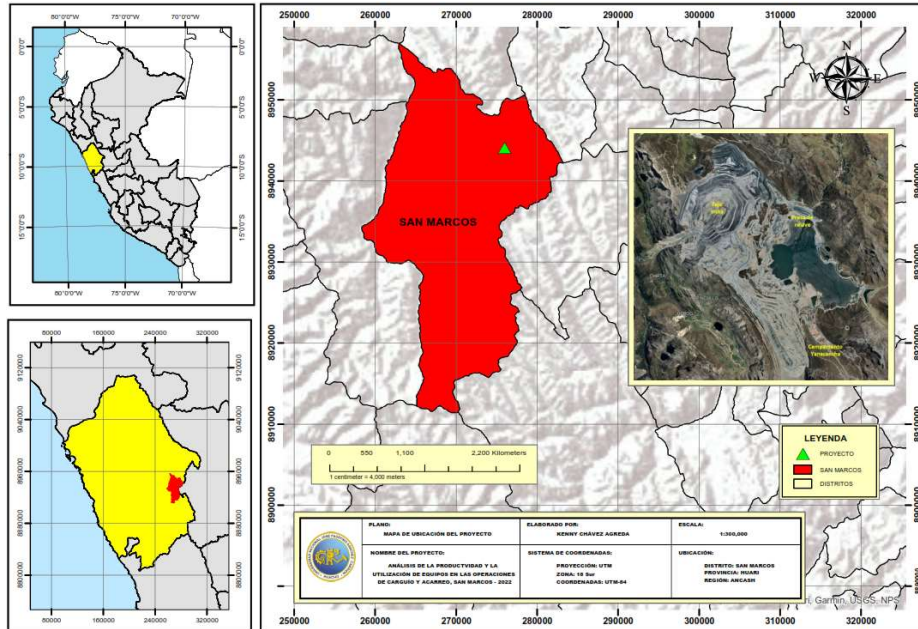


Figura 12. Mapa de ubicación del proyecto.

B) Accesibilidad.

Las principales vías terrestres de acceso a la zona del estudio son:

- ✓ Partiendo desde la ciudad de Lima, por la carretera Panamericana Norte y tomando la ruta Pativilca - Conochocha - Antamina.
- ✓ Partiendo desde la ciudad de Huaraz - Conochocha - Antamina.

Tabla 4

Accesibilidad a la zona de estudio vía terrestre.

Tramo	Distancia (Km.)	Tipo de vía	Tiempo prox. (Hrs)
Huaraz - Antamina	200	Asfaltado	3.5
Lima - Antamina	450	Asfaltado	8

4.1.1.2. Descripción de las zonas de trabajo

La zona de trabajo de la presente investigación parte de la cantera Tucush hasta el espaldón de la presa de relave (PDR), en ello se analizarán las operaciones de carguío, acarreo y la descarga del material enrocado 3B. Es importante conocer la zona de trabajo, ya que los factores y condiciones que podamos encontrar en ellas, influirán en los tiempos, eficiencia, producción y seguridad en la operación.

A) Zona de carguío

La zona de carguío proporcionado al contratista para la explotación y carguío de material enrocado 3B para el relleno del espaldón, es la cantera Tucush (botadero de material productos de sus operaciones mina, los cuales son descargados por camiones mineros). Se encuentra ubicado en un sector contiguo al estribo izquierdo de la PDR; este se encuentra delimitado en la figura 13.

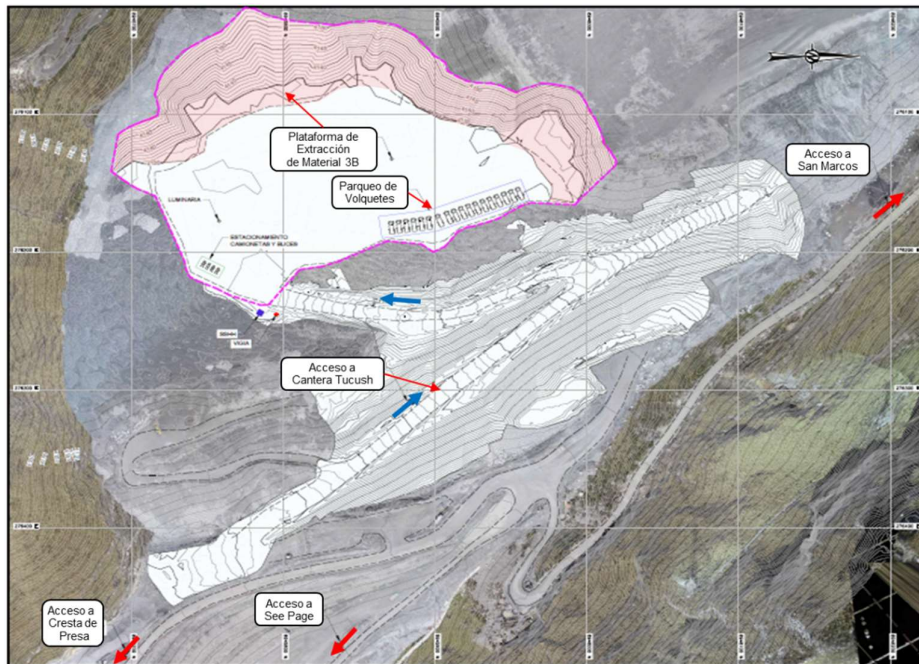


Figura 13. Plataforma de extracción de material.

(Fuente: Stracon, área de topografía del proyecto, 2021)

Esta zona de trabajo es crítica, puesto que se tiene interacción con la descarga de material de camiones mineros, para ello se debe mantener las condiciones seguras para las maniobras y descargas; interacción con otros contratistas, ya que la cantera tiene una sectorización o distribución de áreas para cada una de ellas y las operaciones se dan en simultaneo; y los riesgos críticos que se presentan en la operación de carguío, y con el objetivo de minimizar las mismas, las zonas a explotar tiene que ser inspeccionadas y liberadas.



Figura 14. Cantera de extracción de material enrocado 3B.

Los trabajos de carguío se realizan de acuerdo a un plan de trabajo de explotación de cantera, el cual es elaborado por el área operativa del proyecto y aprobado por el cliente; esto en base al alcance de trabajo, PETS, planos y especificaciones técnicas, además de procedimientos e instructivos de descarga de camiones mineros. En este plan se consideran los lineamientos generales y específicos, los criterios de explotación, parámetros de seguridad, entre otros.

El área y secuencia de explotación de la cantera se realiza de acuerdo a la zona y cantidad de material descargado por operaciones mina, el volumen de avance de los rellenos del espaldón y demás frentes que requieren de este material y por la interacción que se pueda tener con otros contratistas.

B) Rutas de acarreo de material

Las rutas de acarreo de la cantera Tucush al Espaldón de la PDR, son vías, en gran parte del tramo, para el tránsito de los volquetes y cisternas de aguas, que constituyen unidades primordiales en el relleno del espaldón; además, se tiene tramos que son parte de la vía pública (comunidades), en los que se comparte e interactúa con el tránsito de vehículos particulares.

Estas vías tienen pendientes moderadas y críticas (hasta 12 % de pendiente) y tramos horizontales, tales como en las zonas de la plataforma de carguío y de descarga. Al tener dos zonas de descarga, se tiene 2 rutas de acarreo diferentes, por tanto, las condiciones para cada una de ellas varían.

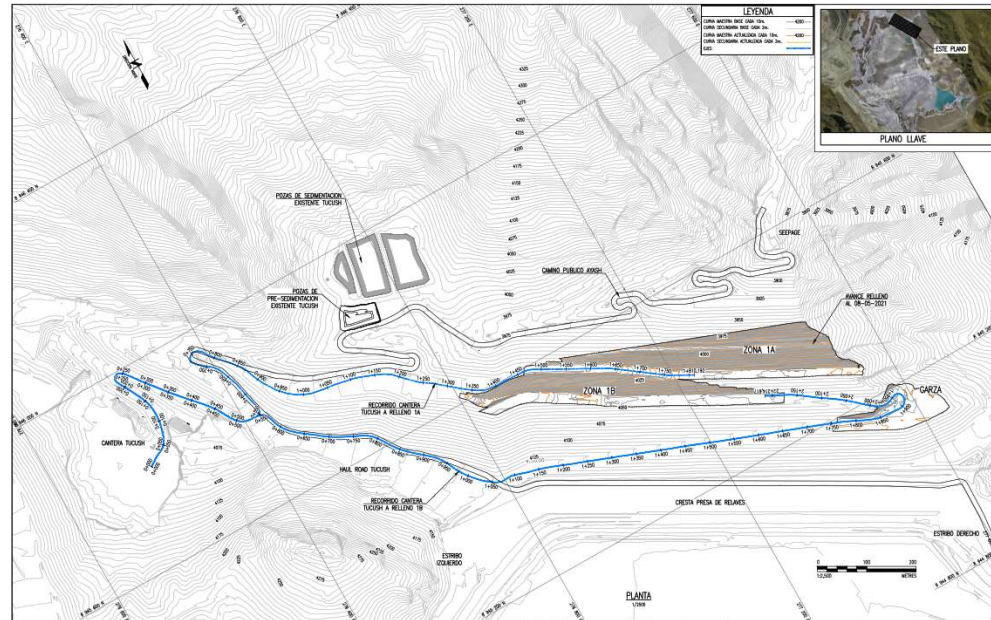


Figura 15. Ruta de acarreo de material.

(Fuente: Stracon, área de topografía del proyecto, 2021)

Para mantener estas vías de acarreo y accesos en condiciones óptimas, se realizan el mantenimiento de manera periódica, para ello se tiene asignado una cuadrilla de equipos. Al tener vías de acarreo en óptimas condiciones, los volquetes transitan con mayor rapidez y se mejora el ciclo de acarreo; además disminuye el mantenimiento mecánico de los volquetes y daños de los neumáticos.



Figura 16. Ruta de acarreo de la cantera Tucush hacia el espaldón de PDR.

C) Zona de descarga de material

Las plataformas de descarga en el espaldón de la PDR, tienen diferentes condiciones de trabajo, pues su longitud va cambiando de acuerdo al recrecimiento y los anchos para los diferentes sectores son variables y reducidos, que dificultan el tránsito y las maniobras de los volquetes, así como la interacción con los equipos auxiliares. Se dispone de un ancho promedio de 25 a 30 m de plataforma de trabajo.



Figura 17. Zona de descarga en el espaldón de PDR.

En el borde aguas abajo de las plataformas de descarga, se tiene muros de seguridad, los cuales se construyen de acuerdo al recrecimiento de las capas de los rellenos, esto para mantener condiciones de seguridad adecuadas en el proceso constructivo; además de muros que se genera al descargar material al pie del talud, que sirve como protección ante cualquier desprendimiento o caídas de rocas de los bancos superiores.



Figura 18. Trabajos en el espaldón de PDR.

De acuerdo a las características del material (3B) y los equipos que se utilizan para los rellenos, no se tiene restricciones en cuanto a las condiciones climáticas, ello permite realizar de manera continua las operaciones durante todo el año. El presente estudio se realizará en las dos zonas de relleno, a los cuales denominamos: Espaldón - Zona 01 (ES-Z01) y Espaldón - Zona 02 (ES-Z02), cada una de ellas tiene su cuadrilla de conformación, flota de acarreo y carguío.

4.1.1.3. Descripción de los equipos

El carguío y acarreo, al ser una de las operaciones de mayor incidencia en los costos del proyecto, requieren de una selección de equipos adecuados, para buscar minimizar los costos relacionados de operación y mantenimiento. Estas

operaciones cuentan con mayor cantidad de equipos y van variando de acuerdo al tiempo y condiciones del proyecto, además su proceso se da de manera continua.

Debido a las condiciones de trabajo, para la ejecución del relleno del espaldón se utiliza equipos convencionales, como son las excavadoras y volquetes, que son objeto del presente estudio.

A) Equipos de carguío

En la operación de carguío se viene utilizando excavadoras sobre orugas CAT 390 FL, equipos que son utilizados en proyectos de movimiento de tierras a cielo abierto para excavación de grandes volúmenes. A continuación, se detallan los equipos utilizados.

Tabla 5

Equipos de carguío.

Equipo	Marca	Modelo	Cantidad	Capacidad	Potencia	Año
Excavadora	Caterpillar	390 FL	02	6 m ³	391 KW	2020

Fuente: Stracon (Oficina Técnica del Proyecto), 2021.

Tabla 6

Especificaciones de la excavadora CAT 390FL.

Especificaciones de Excavadora Hidráulica 390FL	
Marca	CATERPILLAR
Modelo	390F L
Tipo de cucharón	SDV
Capacidad del cucharón	6,0 m ³
Motor	
Modelo del motor	Cat C18 ACERT
Potencia: ISO 14396 (métrica)	405 kW (551 hp)
Potencia neta: ISO 9249 (métrica)	391 kW (532 hp)
Potencia neta: EEC 80/1269 (métrica)	391 kW (532 hp)
Calibre	145 mm

Especificaciones de Excavadora Hidráulica 390FL	
Carrera	183 mm
Cilindrada	18,1 L
Pesos en orden de trabajo	
Mínimo: configuración de alcance	86.275 kg
Máximo: configuración de excavación de gran volumen	92.020 kg
Mando	
Velocidad máxima de desplazamiento	4,5 km/h
Tracción máxima en la barra de tiro	590 Kn
Cadena	
Estándar	900 mm
Optativa	750 mm
Optativa	650 mm
Cantidad de zapatas por lado	51
Cantidad de rodillos de cadena por lado	9
Cantidad de rodillos portadores por lado	3
Mecanismo de giro	
Velocidad de giro	6,2 rpm
Par de giro	260 kN·m
Sistema hidráulico	
Sistema principal: flujo máximo (total)	
Implemento	952 L/min
Desplazamiento	1.064 L/min
Sistema de rotación: flujo máximo	Sin bomba de rotación
Presión máxima	
Equipo: normal	35.000 kPa
Desplazamiento	35.000 kPa
Rotación	35.000 kPa

Fuente: Folleto del producto excavadora CAT 390FL, Caterpillar, 2014.

B) Equipos de acarreo

Para el acarreo de material, se emplea camiones volquetes tipo 8x4 (Heavy Tipper), que permite un traslado seguro y continuo. Estos transportan el material una vez realizado el carguío. Estos equipos son los ideales para el sistema carguío-acarreo, pues se acoplan eficientemente a las excavadoras. A continuación, se detallan los equipos utilizados.

Tabla 7*Equipos de acarreo.*

Equipo	Marca	Modelo	Cantidad	Capacidad	Potencia	Año
Camión Volquete	Volvo	FMX 8x4R	04	20 m ³	353@1800	2015
Camión Volquete	Volvo	FMX 8x4R	10	22 m ³	353@1800	2015
Camión Volquete	Volvo	FMX 8x4R	12	24 m ³	353@1800	2015
Camión Volquete	Mercedes Benz	ACTROS 4144 K	03	22 m ³	320@1800	2020
Camión Volquete	SCANIA	G500 B8X4	05	23 m ³	320@1800	2019

Fuente: Stracon (Oficina Técnica del Proyecto), 2021.

Tabla 8*Especificaciones técnicas del volquete Volvo.*

Especificaciones del Volquete Volvo FMX 8x4R	
Marca	VOLVO
Modelo	FMX 8x4R
Longitud	8.065 m
Ancho	2.49 m
Altura	3.133 m
Sistema de tracción	8 x 4
Capacidad de tolva	20 m ³
Motor	
Modelo	VOLVO D13C Euro 5
Potencias	1.400 a 1.900 rpm
Torques	1.000 a 1.400 rpm
Pesos y capacidades (kg)	
Capac. Técnica	
Eje delantero	16.000 a 20.000
Eje trasero	21.000 a 32.000
Límite legal	
Eje delantero	10.000
Eje trasero	18.000

Fuente: Fichas Técnicas Volvo FMX.

Tabla 9*Especificaciones del volquete Mercedes Benz.*

Especificaciones del Volquete Mercedes Benz Actros 4144K	
Marca	Mercedes Benz
Modelo	Actros 4144K
Capacidad de tolva	22 m ³
Motor	
Modelo	MB OM-501 LA Euro III
Tipo	6 cilindros en “V”, turbocooler
Potencia máxima (ISO 1585)	320 kW (435 cv) a 1.800 rpm
Par motor máximo (ISO 1585)	2.100 Nm (214 mkgf) a 1.080 rpm
Chasis	
Bastidor – Tipo	Escalera
Llantas	Base inclinada 8.50x24.0
Neumáticos	12 R x 24.00
Dimensiones (mm)	
Largo Total	8,255
Ancho eje trasero	2,475
Altura total descargado	3,344
Trocha – eje delantero	2,054
Trocha – eje trasero	1,804
Diámetro de giro del vehículo (m)	19.5
Ángulo de entrada: descargado	23°
Ángulo de salida: descargado	34°
Pesos y capacidades (kg)	
Vacío sin carrocería, en orden de marcha (1)	
1er. Eje delantero	3.686
2do. Eje delantero	3.686
1er. Eje trasero	2.057
2do Eje trasero	2.057
Total	11.486
Carga útil máxima (técnica)	36.514
Pesos Admisibles Técnicamente	
1er. Eje delantero	9.000
2do. Eje delantero	9.000
1er. Eje trasero	16.000
2do Eje trasero	16.000
Peso Bruto Vehicular (PBV)	48.000

Fuente: Fichas Técnicas Mercedes Benz, 2012.

C) Equipos auxiliares

Estos equipos tienen como principal objetivo dar soporte a las operaciones del carguío y del acarreo. Los que encontramos en la cantera realizan descreste de taludes y fracturación de rocas; además, se tiene la cuadrilla de mantenimiento de vías, que se encargan de la nivelación de piso en el área del carguío y de conservar los accesos y caminos de acarreo en óptimas condiciones.

Tabla 10

Equipos auxiliares.

Equipo	Marca	Modelo	Cantidad	Capacidad	Potencia	Año
Cantera Tucush						
Tractor s/oruga	Caterpillar	D8T	01	NA	347 HP	2020
Picotón	Caterpillar	336 D2L	01	2.2 m ³	280 HP	2017
Mantenimiento de vías						
Motoniveladora	Caterpillar	140K	01	NA	170 HP	2018
Rodillo Liso Vibratorio	Caterpillar	CS54B	01	10 Tn	234 KW	2018
Cisterna de agua	Volvo	VM 6X4R	01	5,000 Gln	243@2200	2019

Fuente: Stracon (Oficina Técnica del Proyecto), 2021.

4.1.1.4. Plan de ejecución y proceso constructivo del espaldón de PDR

Este componente del proyecto considera principalmente incrementar el espaldón en más de 11 MM de m³ de material 3B, esto se debe a la elevación de 15 m de la corona de la presa de relave, que le permita brindar el soporte y estabilidad. El proceso constructivo se da de manera progresiva y por sectores.

Debido a la existencia de caminos públicos que recorren gran parte de la longitud del espaldón de la presa, y que mediante estos se realizaran el acarreo del material y deben mantenerse habilitado durante la ejecución de los trabajos, se deberá implementar un plan de tránsito. Estos caminos son reubicados en forma permanente de acuerdo con la secuencia constructiva que se implemente.

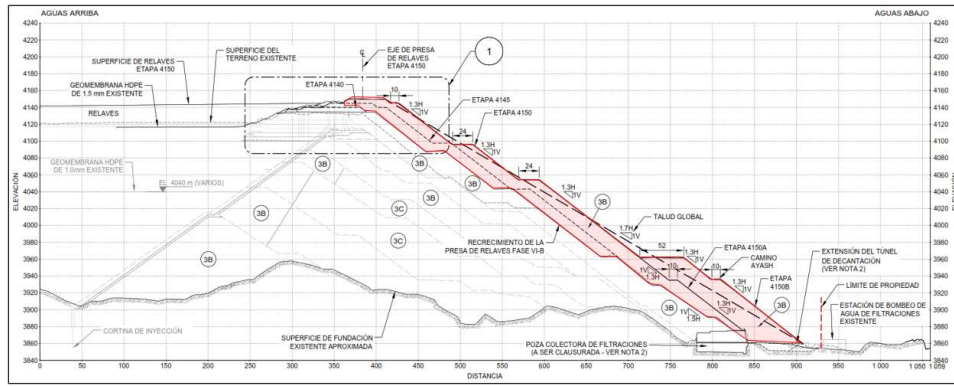


Figura 19. Espaldón de PDR (vista en corte).

(Fuente: Stracon, 2019)

Como se mencionó líneas arriba, los rellenos en el espaldón de la presa de relave se ejecutarán en zonas con diferentes condiciones de trabajo y de acuerdo a una sectorización establecida por el cliente. Esta sectorización puede variar de acuerdo al avance del relleno, a una nueva ingeniería (rediseño) y a las restricciones e interferencias que se pudiesen tener en el proceso constructivo.

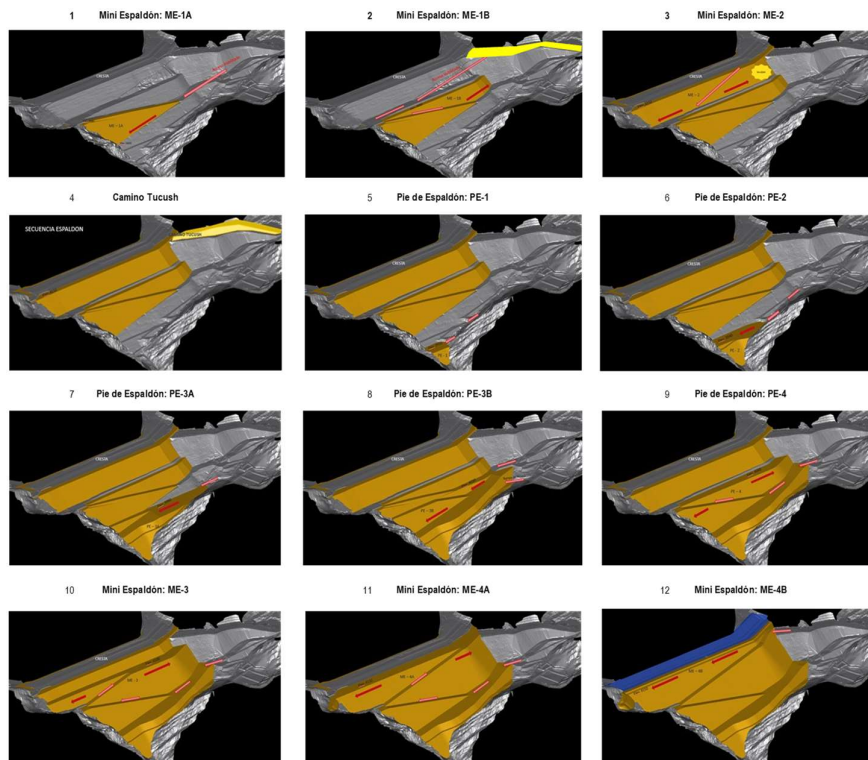


Figura 20. Secuencia constructiva del espaldón de PDR.

(Fuente: Stracon, 2019)

Los trabajos se realizan con una cuadrilla específica asignada para estas labores. Los equipos de acarreo descargan material en las plataformas de relleno, los cuales son conformadas, regadas, compactadas y liberadas, de esta forma se continúa capa sobre capa hasta llegar a las cotas de diseño.

Tabla 11

Equipos utilizados en el relleno del espaldón.

Equipo	Marca	Modelo	Cantidad	Capacidad	Potencia	Año
Tractor s/oruga	Caterpillar	D8T	02	NA	347 HP	2020
Excavadora s/oruga	Caterpillar	336 D2L	02	2.2 m ³	280 HP	2017
Rodillo Liso Vibratorio	Caterpillar	CS78B	02	19 Tn	129.5 Kw	2015
Cisterna de agua	Volvo	VM 6X4R	05	5,000 Gln	243@2200	2019-2021

Fuente: Stracon (Oficina Técnica del Proyecto), 2021.

Los trabajos de relleno en espaldón de la PDR se realizan en ambos turnos (diurno y nocturno), para garantizar el cumplimiento de la producción diaria y los tiempos de entrega se cada sector. El proceso constructivo se realiza de acuerdo a un plan de ejecución, planos y especificaciones técnicas; en ellas encontramos las pautas y lineamientos generales y específicos para un correcto desarrollo y asegurar la calidad de la misma, además de la sectorización de acuerdo a las diferentes condiciones de trabajo. A continuación, se detalla el proceso constructivo que forman parte de la ejecución de este componente del proyecto.

A) Carguío de material 3B

El carguío en la cantera Tucush, se realiza mediante 02 excavadoras CAT 390 FL separadas entre sí a una distancia mayor a sus radios de trabajo; estos llenan de manera directa a los camiones volquetes en una operación continua. La cantidad de cucharones necesario para llenar la tolva del volquete, son de acuerdo a las capacidades del cucharón de la excavadora y a la de carga del volquete.



Figura 21. Carguío de material 3B en cantera Tucush.

Para aumentar la productividad de la excavadora, se emplea el carguío a doble carril, que consiste utilizar dos volquetes por excavadora. Para esta operación, se deberá de contar con anchos suficientes en la zona de carguío, para mantener condiciones de seguridad entre la excavadora y los volquetes, de lo contrario se realizará el carguío a un solo carril.

El material enrocado 3B debe tener un tamaño máximo de 16", cuando se observe que el material tengas rocas de mayores diámetros, estas son separadas y acopiadas para ser fracturados mediante picotón, para luego cargar a los volquetes.

Estos equipos de carguío, adicional a su actividad principal, realizan trabajos auxiliares, como habilitación de nuevos bancos de explotación, así como el perfilado final de los taludes de los bancos minados, esto para no generar condiciones de seguridad, tales como desprendimiento o caída de material hacia los niveles inferiores. Estas actividades son parte de los procedimientos operativos que se realiza en la cantera.

B) Acarreo y descarga de material 3B

Esta operación se realiza mediante camiones volquetes Volvo FMX 8x4R de 20 m³, 22 m³ y 24 m³; Mercedes Benz ACTROS 4144 K de 22 m³ y SCANIA G500 B8X4 de 23 m³. Las distancias de acarreo varían según el sector y avance de los rellenos.

La descarga de material 3B se realizar primero a lo largo del pie de talud. El material descargado servirá como muro de seguridad mientras se realizan los trabajos de relleno en la plataforma, el cual teóricamente tendrá una altura en función de la altura del talud.



Figura 22. Descarga de material 3B en plataforma de relleno.

C) Empuje y conformación de material 3B

El empuje y conformación del material 3B en plataforma, se realizan con tractores s/orugas CAT D8T paralelamente al eje de la plataforma, de acuerdo a la descarga de los volquetes y en forma ordenada en capas de espesor de 1.0 m controlados por la topografía y adecuadamente emplantillados en el terreno, de acuerdo con las especificaciones técnicas del proyecto.



Figura 23. Empuje y conformación de material 3B.

Para no dejar zonas sin ser conformadas de manera controlada, se realizarán trabajos de engrape con tractor en el pie de talud. El corte del engrampe es controlado por topografía y deberá cumplir con las especificaciones.

Una vez conformado dos capas continuas, mediante una excavadora sobre orugas se perfila el talud de la misma, además se construyen en cada capa, un muro de seguridad de sección triangular al borde exterior de la plataforma (aguas abajo). Esta es construida a una altura de $\frac{3}{4}$ parte de la llanta del vehículo más grande que transita por el área de relleno.



Figura 24. Perfilado y conformación de muro de seguridad.

D) Regado de plataforma de 3B

Terminado la conformación de la capa de material 3B, se procede con el regado con el empleo de cisternas de agua de 5,000 glns. en franjas y áreas divididas. El regado se realiza de manera sistemático, ordenado y continua, para garantizar que toda la plataforma esté humectada. De acuerdo a las especificaciones técnicas, para garantizar la compactación, por cada m³ de material 3B, se deberá de tener una dotación de agua de 150 lts.



Figura 25. Riego de plataforma de relleno 3B.

De acuerdo al área a humectar, se calcula la cantidad de cisternadas que se emplearán; estas son divididas por cada ciclo de compactación y el regado se realiza de manera alternada. El punto de suministro de agua para el material 3B, es la Garza, que se ubica en un sector del espaldón y próximo al estribo derecho de la PDR.

E) Compactación de plataforma de 3B

La compactación del material 3B se realiza mediante los rodillos lisos vibratorios de 19Tn. Para garantizar el grado de compactación requerida en las especificaciones técnicas se realizarán 03 ciclos o 06 pasadas con alta frecuencia, de manera sistemática y ordenada en toda la plataforma. Cada ciclo de compactación se realiza de manera alternada con el regado.



Figura 26. Compactación de plataforma 3B.

F) Liberación topográfica y calidad

En los trabajos descritos anteriormente, con el fin de garantizar la ejecución correcta, se realiza la liberación Topográfica y de Calidad en conjunto con la supervisión; por parte topográfica se verifican los anchos de la plataforma, las cotas de las capas y taludes del relleno y por la parte de calidad se entregan formatos llenados con los tiempos de compactación y regado de la plataforma. Realizado la liberación de la capa, se completa el ciclo del proceso constructivo, para luego dar inicio a la descarga de material de la siguiente capa.

4.1.2. Estado actual de las operaciones

La base y referencia para la obtención de mejoras, son el análisis de los indicadores de rendimientos actuales de los equipos y la evaluación de las operaciones; a partir de ello se buscará determinar la producción máxima, el cálculo de flota óptima y estimación de costos de las operaciones del carguío y acarreo.

Para ello se realizará el análisis de los indicadores claves como la producción y eficiencia operativa; así mismo, se identificará los factores y actividades que más influyen en productividad y la utilización de los equipos.

4.1.2.1. Análisis de los indicadores actuales

Para cada frente de trabajo, actualmente se tiene los siguientes equipos que se muestran en la tabla 12. Cada excavadora CAT 390FL tiene asignada una determinada flota de volquetes, los cuales son objeto del presente de estudio.

Tabla 12

Distribución de los equipos para los frentes de trabajo.

Equipo	Frente de trabajo		Total
	ES-Z01	ES-Z02	
Excavadora CAT 390FL	1	1	2
Volquetes	21	13	34

“Uno de los indicadores claves para ver el rendimiento de los equipos es la producción horaria, ya que refleja la capacidad del equipo, el dimensionamiento de la flota de acarreo y permite el ritmo de avance y cumplimiento del programa” (Checya, 2015, p.85).

Otro de los indicadores de relevancia que nos permite conocer el estado mecánico del equipo es la disponibilidad mecánica; mientras sea mayor sea este porcentaje, nos indica que se tendrá más tiempo disponible para operar el equipo durante un tiempo programado. Así mismo, la eficiencia operativa, es otro indicador clave, lo que nos indica en las condiciones que se encuentra nuestras operaciones.

En las tablas 13 y 14 se presentan los indicadores actuales claves de los equipos de carguío, para luego ser comparado con los indicadores que se obtienen con el incremento de la producción.

Tabla 13

KPI's actual de los equipos de carguío.

KPI	Excavadoras		Unidad
	EX-01	EX-02	
Producción horaria	378.2	406.43	m3/h
Ciclos por hora	19.7	21.2	ciclos/h
Disponibilidad mecánica	88.20	88.60	%
Eficiencia operativa	81.50	82.42	%
Horas programadas por turno	12	12	h
Horas disponibles por turno	10.50	10.50	h
Producción por turno	3,970.75	4,267.5	m3/turno
Costo unitario de carguío	0.190	0.171	US\$/m3

La disponibilidad mecánica de las excavadoras es de 88.20% y 88.60%, lo que nos indica que los equipos están en óptimas condiciones, y se tendrá más tiempo para ser operadas por turno programado. La eficiencia operativa de las excavadoras se encuentra en el 81.5% y 82.4%, pudiendo mejorar ello, con la reducción de los tiempos improductivos, para lo cual debemos realizar un estudio detallado de los tiempos y la evaluación de las operaciones.

Tabla 14*KPI's actual de los equipos de acarreo.*

KPI	Frente de trabajo		Unidad
	ES-Z01	ES-Z02	
Producción horaria	34.56	53.76	m3/h
Ciclos por hora	1.80	2.80	ciclos/h
Disponibilidad mecánica	75.2	78.3	%
Eficiencia operativa	65.1	63.8	%
Horas programadas por turno	12	12	h
Horas disponibles por turno	10.5	10.5	h
Producción por turno	3,970.75	4,267.5	m3/turno
Costo unitario de acarreo	1.08	0.65	US\$/m3

La disponibilidad mecánica (DM) y eficiencia operativa de los equipos de acarreo son el promedio de toda la flota asignada para cada frente. La disponibilidad mecánica está en 75.2 % y 78.8% y la eficiencia operativa es de 61.5% y 63.8%; se buscará mejorar estos indicadores, ya que es determinante para los costos unitarios de la operación y los costos de mantenimiento de mecánico.

4.1.2.2. Identificación de demoras operativas

De acuerdo al estudio realizado en campo, se identificó las demoras operativas que tienen mayor incidencia en las operaciones.

A) Descoste de talud de banco de explotación

Se realizan estos trabajos, cuando la altura del banco de minado supera la altura de alcance máxima de la excavadora y cuando se presenta condiciones inseguras, tales como presencia de rocas en sueltas, crestas y socavaciones; para ellos se emplea un tractor sobre oruga, quien realiza el perfilado del talud.

Mientras el tractor realiza este trabajo, la excavadora no realiza labores de carguío en esta zona, por la línea fuego que existen entre ambos equipos, para ello tendrá que esperar hasta que culmine o deberá cambiar de punto de carguío. Para

recudir estas condiciones en el carguío, se debe llevar un control topográfico de los límites, niveles, alturas y taludes de los bancos en el proceso de minado.

B) Cambio de banco de explotación

Se da principalmente cuando el punto de carguío está próximo al área de descarga de material de camiones de mina, se genera una nueva sectorización de la cantera, se presenta material que no cumple con las especificaciones técnicas (material con mucho fino, bolonerías o presenta otras características) o cuando se termina de minar el banco actual.

Al cambiar de banco, se tendrá que mover la excavadora al nuevo punto de carguío, teniendo en cuenta que el desplazamiento de este equipo es lento; además, en el nuevo banco se realizará el acondicionamiento de la zona de carguío; por tanto, se deberá considerar estos tiempos que conllevan hacerlo.

De acuerdo al avance del minado de la cantera, semanalmente se realiza el levantamiento topográfico de la misma, con la finalidad de planificar la explotación de nuevas zonas, así mismo verificar los niveles y taludes actuales de los bancos.

C) Falta de área de descarga

Cuando las capas de relleno en el espaldón aún no se liberan, entonces no se tendrá área para la descarga de material, por tanto, el equipo de carguío se encuentra en stand by. Para ello se debe realizar un proceso constructivo adecuado y planificado reducir los tiempos improductivos, para de esta forma tener una operación continua entre el carguío, acarreo y conformación.

D) Abastecimiento de combustible en horas operativas

Si el abastecimiento de combustible se da en las horas de operación, se paraliza el carguío, por tanto, genera el stand by de los volquetes; para ello se planifica que el abastecimiento se realice al cambio de turno (inicio o termino de jornada) o a la hora del refrigerio, de esta manera no tener afectación en la producción.

E) Mantenimiento mecánico de la excavadora

Cada excavadora tiene un mantenimiento mecánico de acuerdo a una programación realizada por el área correspondiente, pero cuando el equipo que está operando presenta alguna falla mecánica, tendrá que ser intervenido. Aunque este caso es impredecible, se deberá realizar de manera constante el monitoreo, puesto que son equipos claves en el proyecto.

F) Congestionamiento en zona de descarga

Esto se debe a que no se tiene una secuencia constructiva planificada de los rellenos del espaldón, lo que ocasiona mucha interacción entre equipos de acarreo y de conformación, por tanto, se generan las colas y el congestionamiento.

G) Mantenimiento de vías

Al realizar el mantenimiento de vías se cierran temporalmente las mismas, lo que genera tiempos de esperas de los volquetes. La frecuencia de liberación de vías debe ser en el menor tiempo posible.

Para identificar las actividades que más influyen en las operaciones en un turno de trabajo, se utilizará el principio de Pareto y se muestran a continuación:

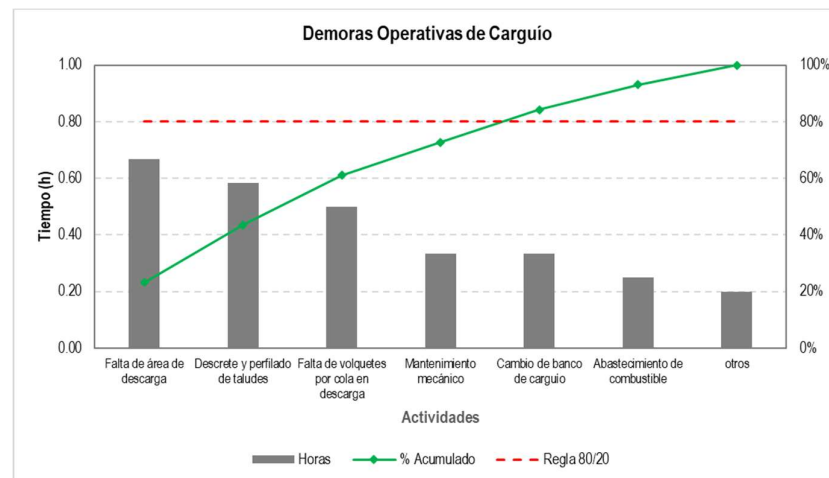


Figura 27. Pareto de las demoras operativas en carguío.

De acuerdo a la figura 27 puede observar que las actividades críticas para el equipo de carguío son las 4 primeras, de los cuales el tiempo improductivo que se puede evitar es la de falta de área y aglomeración en la plataforma de descarga, que representan un 43% del tiempo no productivo, equivalente a 1.10 horas del turno.

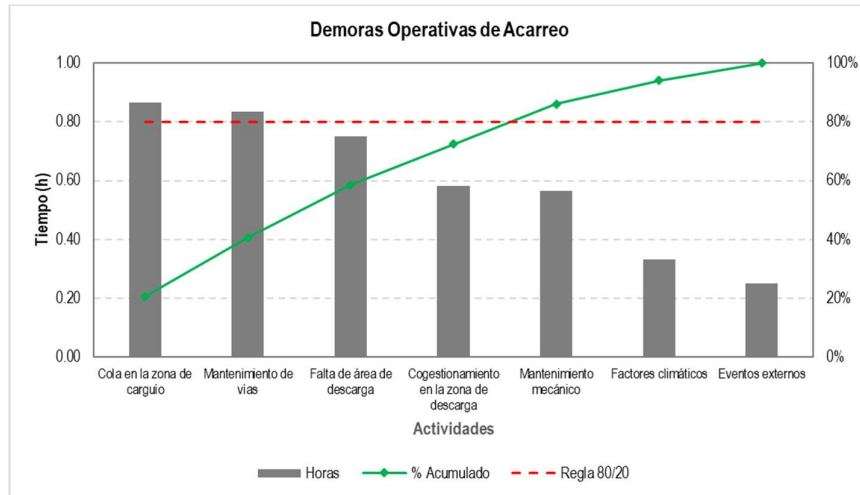


Figura 28. Pareto de las demoras operativas en acarreo.

Del mismo modo, de acuerdo a la figura 28 puede observar que las demoras operativas más críticas para los equipos de acarreo son las 5 primeras, de los cuales el tiempo improductivo que se puede evitar es la cola en el carguío, falta de área y el congestionamiento en la zona de descarga, que representan un 53% del tiempo no productivo, equivalente a 2.20 horas del turno.

De lo anterior deducimos que la falta de área y aglomeración en las plataformas de descargas y la cola de los volquetes en el carguío, son las más críticas y esta es lo se busca reducir en el presente estudio.

4.1.3. Análisis de la secuencia constructiva del relleno en espaldón de PDR.

El análisis de la secuencia constructiva se realiza de acuerdo al estudio de los tiempos improductivos (aglomeramiento y esperas) que tienen los volquetes en la zona de descarga, que influyen directamente en el ciclo del acarreo. Así mismo, por la falta de área de descarga, lo que genera el stand by de las excavadoras y los volquetes, hasta la liberación de las mismas.

Como se mencionó anteriormente, la longitud de las plataformas de descarga en el espaldón va variando de acuerdo al recremento del relleno y al sector. Se dispondrá plataformas hasta mayores a los 500 m de longitud, y para disminuir los tiempos improductivos de los volquetes y tener un proceso continuo, y además de disminuir la interacción entre equipos de conformación, se considerará la siguiente secuencia constructiva.

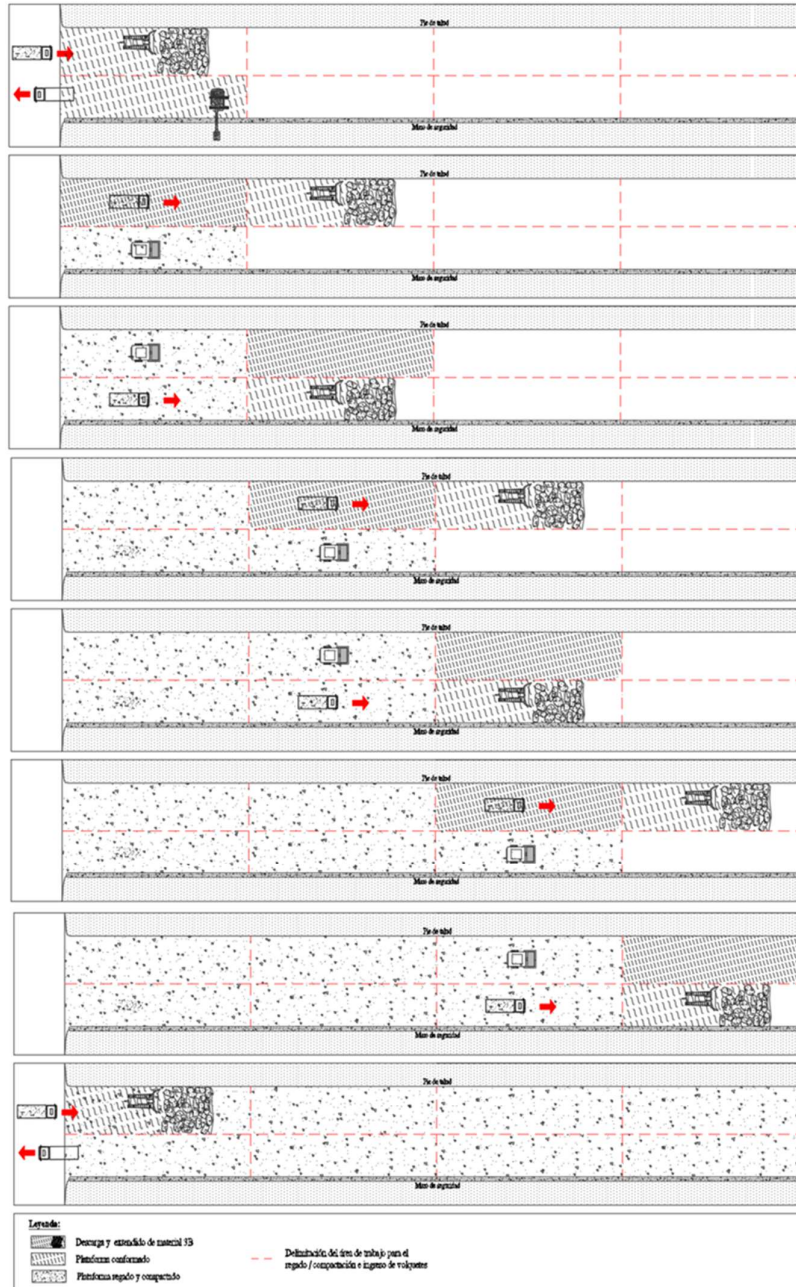


Figura 29. Secuencia constructiva de relleno en espaldón.

En la figura 29, se ve esquemáticamente la secuencia constructiva de los rellenos del espaldón. La conformación de cada capa deberá ejecutarse en franjas longitudinales de entre 50 a 100 m y a la mitad del ancho total de la plataforma (de acuerdo al sector, entre 15 a 20 m) y de manera consecutiva.

Estas franjas permitirán tener un área para la descarga y conformación del material y la otra para el tránsito continuo de los volquetes, de manera de reducir la interacción entre equipos y esperas. Con esta secuencia la conformación y liberaciones de las plataformas se realizan en menor tiempo, además de ello la conformación de las plataformas no depende de alguna otra plataforma, por tanto, se realiza la operación de forma continua.

4.1.4. Análisis de las operaciones de carguío y acarreo

Con el análisis de estas operaciones podremos identificar y reducir los tiempos improductivos; obtener el tiempo de ciclo del sistema carguío - acarreo para dimensionar la flota de acarreo óptima; y mejorar las operaciones.

4.1.4.1. Análisis del carguío con excavadora CAT 390 FL

4.1.4.1.1. Parámetros a considerar en la operación de carguío

Es importante conocer y cumplir con los parámetros de explotación o minado de la cantera, ya que está relacionado con la seguridad de la operación, siendo esta última un elemento fundamental para la producción y productividad.

Los parámetros a ser considerado en estas operaciones son:

- ✓ Se deberá de inspeccionar y liberar la zona a explotar de acuerdo al check list de taludes e implementar los controles de riesgo crítico. La inspección lo realiza el Ingeniero de Campo o el Geotecnista.

- ✓ La altura del banco de explotación no deberá de exceder a la altura del pin de la articulación del brazo (brazo – pluma) más la altura del banco de la excavadora.
- ✓ Altura de bancos de explotación (en operación):
 - $H_{m\acute{a}x} = 9$ metros (para excavadoras CAT 390FL y cuando el banco tenga un talud en explotación de V:H 1:1).
 - $H_{m\acute{a}x} = 30$ metros (para excavadoras CAT 390FL y se tendrá que trabajar con 2 taludes. El primero hasta los 9 mts con las mismas condiciones que el punto anterior y la diferencia de la altura con talud V:H 1:1.8, pero se requerirá del apoyo de un tractor sobre oruga para el perfilado de la misma).

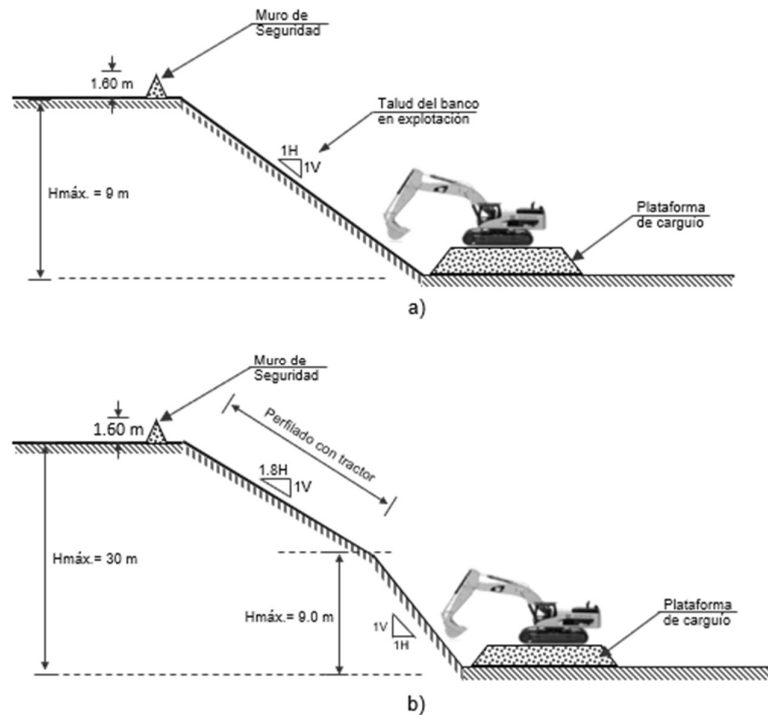


Figura 30. Banco de explotación con excavadora CAT 390 FL
a) un solo talud b) dos taludes.

- ✓ Cuando la altura del banco sea mayor a lo indicado y/o el talud presente condiciones inseguras, como cornisas y rocas sueltas y el equipo de carguío no pueda alcanzar o controlar éstas de manera segura, se utilizará un tractor sobre orugas para desquinche y perfilado de talud, previa verificación de la estabilidad de la misma.
- ✓ Se considerará el talud final del banco explotado de V:H 1:1.3, o teniendo en cuenta mantener el ángulo de reposo natural del material 3B, de acuerdo a la evaluación geotecnia.
- ✓ Muro de seguridad de tope de camiones mineros de 1.60 m de altura mínima, para evitar cualquier acercamiento a la berma de seguridad final de 1.60 m sobre el banco de extracción, que cumplirá la función de protección cuando de realice la descarga de material con los camiones mineros.
- ✓ Muro de seguridad a 60 metros de distancia del pie del banco con una altura de 3 metros, esto para delimitar la zona de descarga de camiones de mina con las operaciones del contratista.

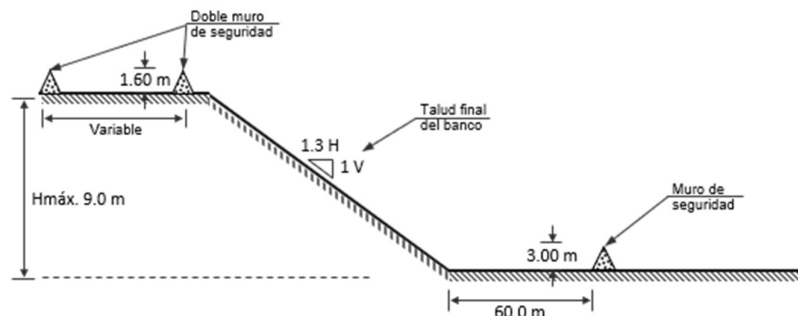


Figura 31. Construcción de muros de seguridad.

- ✓ Plataforma de carguío:
 - Altura mínima de 2.5 metros, para tener mayor alcance de visibilidad con la tolva del volquete.

- Dimensiones mínimas de 6.20 m de ancho x 10.0 m de largo, conformada en forma horizontal y con material que garantice la estabilidad de la excavadora.
- ✓ El ancho mínimo en la zona de carguío para realizar las operaciones de carguío a doble carril será de 25 m. En zonas donde se tenga ancho reducidos, se realizarán carguío a un solo carril y por el lado visible del operador.
- ✓ La excavadora deberá cortar el material del banco utilizando un ancho equivalente a 1.5 veces el ancho del cucharón, para este caso la excavación será a 4.0 m.
- ✓ La distancia ideal de separación entre el volquete y excavadora en el carguío, será tomando en cuenta que, la cara de la tolva que está hacia el lado de la excavadora esté por debajo el pin de la articulación del brazo - pluma, siendo la distancia mínima de 3.0 m, esto con el fin de evitar una colisión del volquete con el contrapeso o cucharón de la excavadora.



Figura 32. Distancia entre el volquete y excavadora.

- ✓ En la zona y en todo el proceso de carguío, se deberá de llevar el nivel del piso, para de esta forma tratar de mantener uniforme las alturas de bancos de explotación.

4.1.4.1.2. Análisis de los tiempos de carguío

Para lograr resultados óptimos referidos a producción y productividad, es necesario realizar en campo, el registro y control de los tiempos en el proceso de carguío, siendo este parte del tiempo total del ciclo del sistema, con el que se dimensionará la flota óptima de acarreo, el cual nos permita cumplir con el plan de ejecución de relleno del espaldón de la PDR.

A) Tiempo en el acondicionamiento de la zona de carguío

Previo al inicio de las operaciones, se acondiciona la zona de carguío, empezando con la preparación de la plataforma donde se posicionará la excavadora; para ello realiza el corte del material y conforma una banqueta horizontal, para luego posicionarse de manera perpendicular al talud de minado. Otra actividad es el acondicionamiento del área de encajonamiento de los volquetes, que consiste en una limpieza del piso para eliminar materiales como rocas sueltas, barro o irregularidades, a fin de dejar un piso uniforme y de esta manera proteger a los neumáticos de los volquetes.



Figura 33. Acondicionamiento de la zona de carguío.

Estas actividades son propias de la operación y se realizan al inicio de cada turno, de acuerdo al avance de minado o cuando se cambia de punto de carguío. El tiempo estimado de estas labores es entre 10 a 20 min, y varían de acuerdo a las condiciones que se presenten.

Realizada estas actividades, la excavadora empieza con el corte del material a cargar, gira el brazo un máximo de 90° con respecto a sus orugas, presenta el cucharón lleno y hace uso de toques de claxon para que el volquete empiece a retroceder, se posiciona e inicia el carguío.

B) Tiempos en el ciclo de carguío

Está determinado por una secuencia repetitiva de maniobras que realiza la excavadora en un determinado tiempo, con el fin de llenar la tolva del volquete con material 3B. El tiempo total del ciclo del carguío para cada volquete está comprendido de los siguientes:

1. Tiempo de cambio o giro

Este tiempo inicia cuando la excavadora termina con la descarga del material en el volquete en la última pasada hasta retornar el brazo al punto de carga o corte del material. De acuerdo a la figura 34, es el tiempo que emplea la excavadora en girar su brazo desde el punto A hacia B (Checya, 2015).

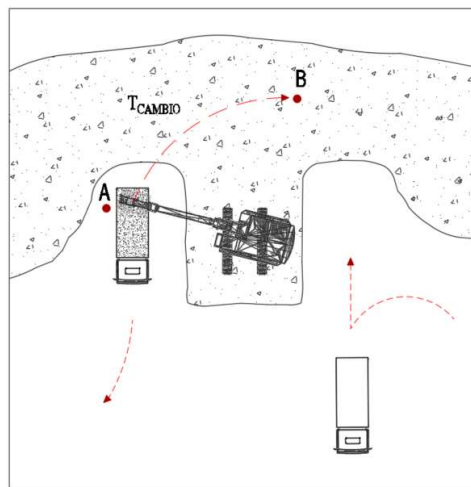


Figura 34. Tiempo de cambio.

(Fuente: Adaptado de Checya, 2015)

En simultáneo el siguiente volquete espera fuera del radio de acción de la excavadora y en posición de retroceso. El tiempo de cambio está

definido por el ángulo y rapidez de giro de la excavadora. Se realizó la toma de datos para ambas excavadoras, estas se muestran en la figura 37 y 38.

2. Tiempo de llenado

Es el tiempo que tarda la excavadora en llenar toda la tolva del volquete, y está determinado de acuerdo al número de pasadas y el tiempo que conlleva cada uno de estas (Checya, 2015).

El número de pasada se obtiene de acuerdo a las capacidades del cucharón de la excavadora y de la carga del volquete. En el presente estudio, de acuerdo a la capacidad del equipo de carguío (6 m³) y acarreo (24 m³), se requieren de 4 pasadas para llenar la tolva. Cada pasada tiene tiempos para completar la misma, los cuales son las siguientes:

T1: Corte del material (en B)

T2: Elevación y giro con cucharón cargada (de B hacia C)

T3: Descarga del material al volquete (en C)

T4: Retorno con cucharón vacía (de C hacia B)

En la figura 35 se muestra las 4 pasadas que realizan las dos excavadoras en estudio. En los tres primeros, cada una de estas pasadas está conformado por los 4 tiempos y sumando estas últimas se obtiene el tiempo del ciclo por cada pasada. En el último pase se considera los 3 primeros tiempos, ya que después de la descarga, el ciclo de carguío de este volquete finaliza y partir de ello inicia el ciclo de acarreo, además inicia el ciclo de carguío del siguiente volquete con el tiempo de cambio o giro (ítem 1).

Con el estudio de estos tiempos se busca aumentar la productividad en el carguío, para ello se deberán analizar las maniobras, de manera de poder reducir los tiempos. De acuerdo al estudio realizado, cuando el ángulo de giro de la excavadora está entre 30° a 60° (ver figura 36), el tiempo total del ciclo de carguío tiene una reducción de 8 a 12%.

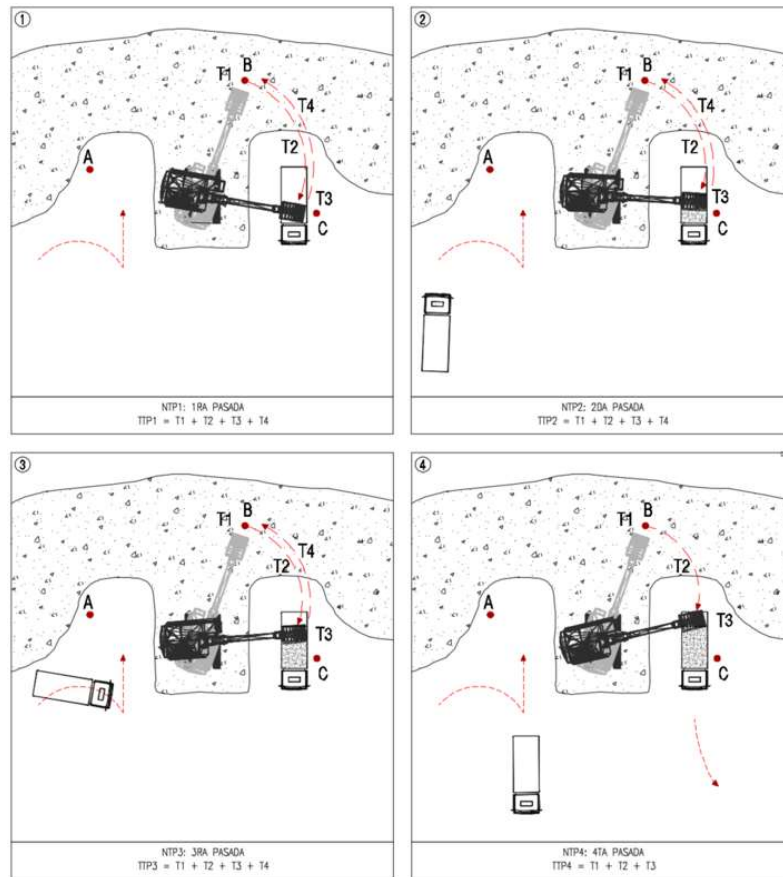


Figura 35. Tiempos de llenado con excavadora.

(Fuente: Adaptado de Checya, 2015)



Figura 36. Ángulo de giro de la excavadora en el carguío.

La variación de los tiempos está relacionada con algunos factores de menor o mayor incidencia, como la habilidad del operador, condiciones de trabajo, características y estado del equipo, tipo de material, etc.

4.1.4.2. Cálculo del tiempo del ciclo del carguío

Se registraron en la cantera Tucush, los tiempos de carguío de material 3B de las 02 excavadoras CAT 390 FL con distintas condiciones.

Los resultados que se presentan, son en base a un total de 30 muestras tomadas por cada equipo.

1.- Tiempo de cambio o giro

Se determinó un tiempo estimado promedio de cambio o giro de las excavadoras en estudio de 8.6 segundos.

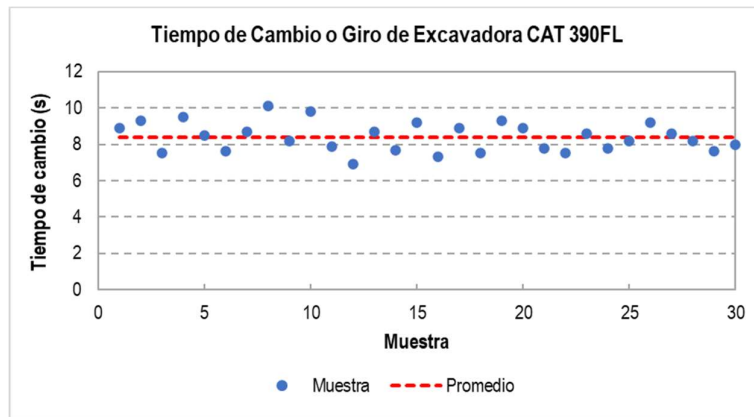


Figura 37. Tiempo de cambio de excavadora 01.

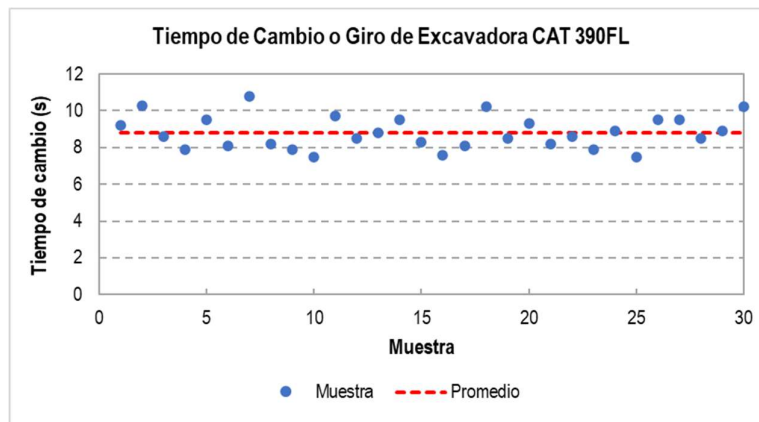


Figura 38. Tiempo de cambio de excavadora 02.

Tabla 15

Tiempo promedio de cambio o giro de la excavadora.

Excavadora N°	Tiempo Prom. de cambio
01	8.4 s
02	8.8 s
Promedio	8.6 s

2.- Tiempo de llenado

Para cada excavadora se tomaron los tiempos de carguío de acuerdo a la capacidad de los volquetes en estudio. En las tablas 16 y 17 se muestra el promedio de los tiempos de llenado de cada excavadora para cada volquete de acuerdo a su capacidad (20, 22, 23 y 24 m³).

Los tiempos que se registraron para el cálculo, son las que se muestran en la siguiente figura, teniendo en cuenta el sector de carguío y las características del material.

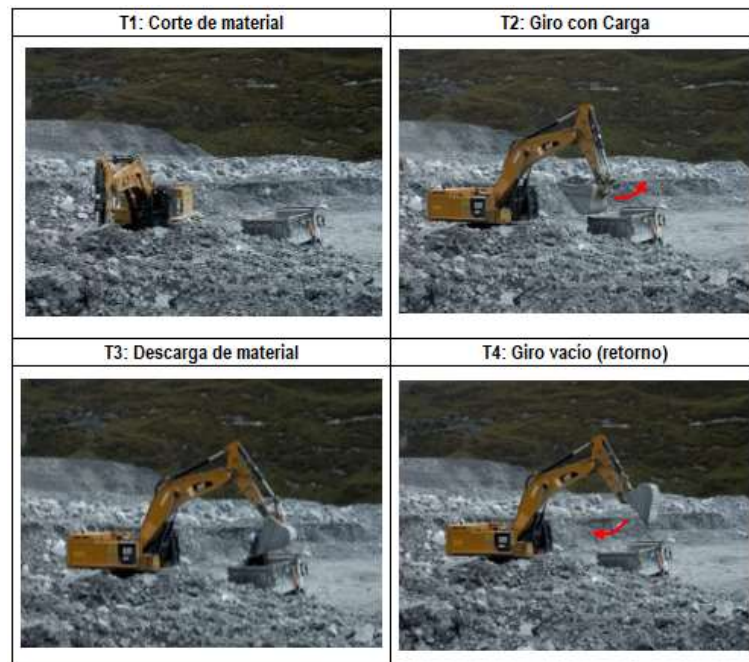


Figura 39. Tiempos del ciclo de carguío de las excavadoras en estudio.

Tabla 16

Tiempos de ciclo de carguío de excavadora 01.

Ítem	Volquete	Pasada N°	Tiempo Estimado (segundos)				Tiempo del ciclo/pase (s)	Tiempo Prom. del ciclo/pase (s)	Tiempo total del ciclo (s)
			T1	T2	T3	T4			
1	01 (23 m³)	1	7.1	4.9	5.2	5.1	22.3	22.8	85.6
2		2	7.3	5.3	4.7	4.7	22.0		
3		3	8.4	5.1	5.8	4.6	23.9		
4		4	7.2	4.9	5.3		17.4		
5	02 (24 m³)	1	7.3	4.4	5.7	4.9	22.3	22.9	85.7
6		2	8.2	4.5	5.3	5.3	23.3		
7		3	6.8	5.7	5.6	5.1	23.2		
8		4	7.4	4.6	4.9		16.9		
9	03 (22 m³)	1	7.8	4.8	5.2	4.7	22.5	22.6	83.7
10		2	7.6	5.3	5.6	5.0	23.5		
11		3	6.9	5.1	4.9	4.8	21.7		
12		4	6.2	4.7	5.1		16.0		
13	04 (20 m³)	1	7.2	5.2	5.2	5.0	22.6	21.9	82.1
14		2	7.5	4.8	5.0	4.7	22.0		
15		3	7.4	5.1	4.9	4.3	21.7		
16		4	6.8	4.3	4.7		15.8		
Tiempo Promedio		(s)	7.3	4.9	5.2	4.8	-	22.6	84.3
		(min)	0.12	0.08	0.09	0.08	-	0.38	1.40

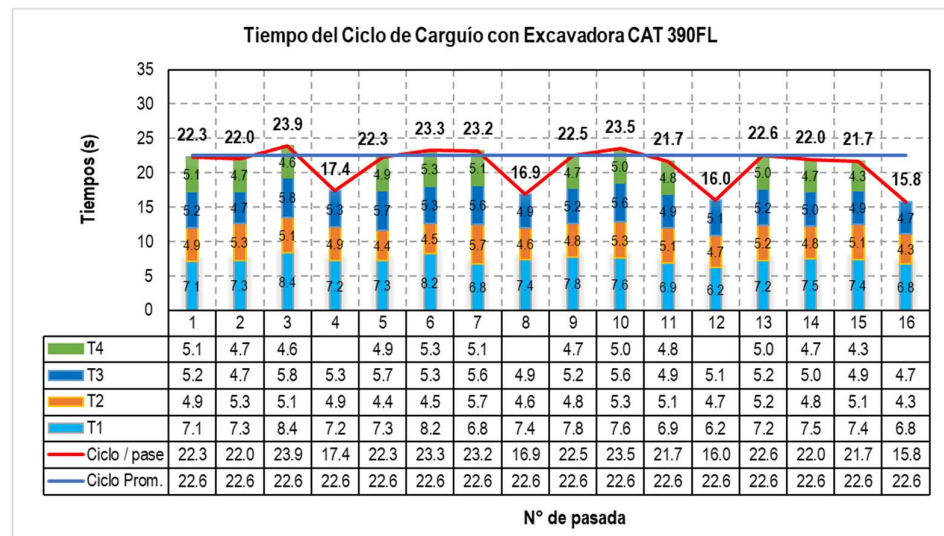


Figura 40. Tiempos del ciclo de carguío de excavadora 01.

Tabla 17

Tiempos del ciclo de carguío de excavadora 02.

Ítem	Volquete	Pasada N°	Tiempo Estimado (segundos)				Tiempo del ciclo/pase (s)	Tiempo Prom. del ciclo/pase (s)	Tiempo total del ciclo (s)
			T1	T2	T3	T4			
1	01 (23 m³)	1	7.9	4.8	5.1	4.5	22.3	23.5	88.2
2		2	7.8	5.3	6.2	5.5	24.8		
3		3	8.1	4.7	5.7	4.8	23.3		
4		4	7.6	4.3	5.9		17.8		
5	02 (24 m³)	1	8.3	5.9	6.3	5.1	25.6	24.5	90.7
6		2	8.0	5.2	5.6	4.8	23.6		
7		3	7.8	5.5	5.8	5.2	24.3		
8		4	7.2	4.8	5.2		17.2		
9	03 (22 m³)	1	7.6	5.3	6.1	4.7	23.7	24.3	89.6
10		2	9.0	5.3	6.1	5.3	25.7		
11		3	8.1	4.7	5.7	4.9	23.4		
12		4	6.9	5.0	4.9		16.8		
13	04 (20 m³)	1	7.9	5.5	5.3	5.2	23.9	23.4	86.9
14		2	8.3	5.1	5.8	4.5	23.7		
15		3	7.5	4.9	5.5	4.7	22.6		
16		4	6.7	4.9	5.1		16.7		
Tiempo Promedio		(s)	7.8	5.1	5.6	4.9	-	23.9	89.5
		(min)	0.13	0.08	0.09	0.08	-	0.40	1.49

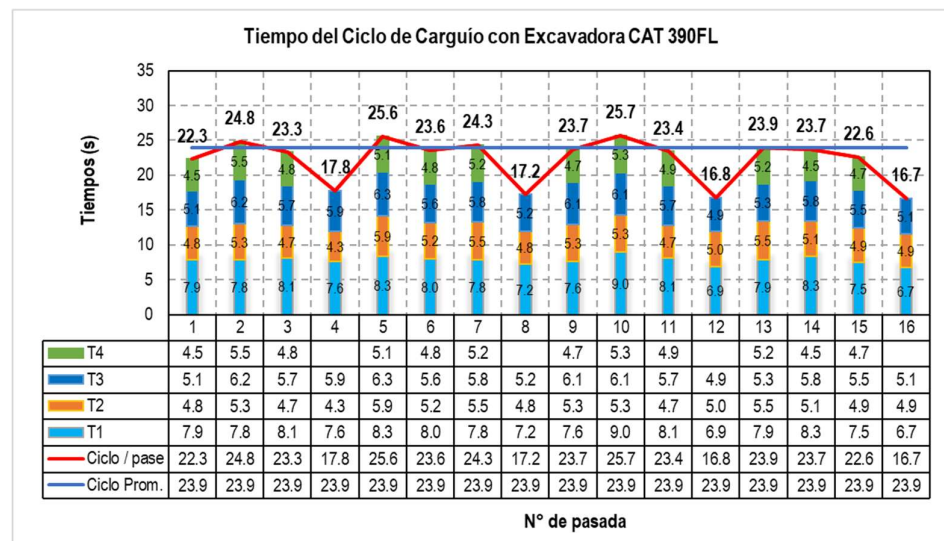


Figura 41. Tiempos del ciclo del carguío de excavadora 02.

De acuerdo a las tablas 16 y 17, el tiempo del ciclo de carguío no tiene mucha variación respecto a la capacidad de los volquetes en estudio, ya que la cantidad de pasadas (04) para llenar la tolva es la misma para todas; pero esto está condicionado a que en la última pasada el cucharón de la excavadora con el material cargado, no esté al tope de su capacidad (solo el 35% a 65%) para completar el llenado de la tolva de los volquetes de menor capacidad. De acuerdo a ello se deberá buscar uniformizar la capacidad de los volquetes a 24 m³, para maximizar la producción del relleno en el espaldón.

Tabla 18

Tiempo promedio del ciclo por pasada.

Excavadora N°	Tiempo promedio del ciclo/pasada	
01	22.6 s	0.38 min
02	23.9 s	0.39 min
Promedio	23.25 s	0.39 min

Tiempo promedio del ciclo de llenado por pase es de 23.25 segundos. De acuerdo al análisis de los tiempos, la última pasada de llenado o carga del volquete es menor a los anteriores, ya que no se considera el tiempo de retorno con el cucharón vacío, puesto que a partir de esta inicia el ciclo de carguío para el siguiente volquete. En base al muestreo realizado, se obtuvo que la última pasada representa el 75% del tiempo promedio por pase.

Conociendo que:

- ✓ Tiempo promedio por pase (TPP) = 23.25 s.
- ✓ Número de pasadas = 4
- ✓ Factor de corrección de la última pasada = 0,75

Calcularemos el tiempo de llenado con la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}T_{\text{llenado}} &= \{ \text{TTP} \times (\text{NTP} - 1) \} + (\text{TTP} \times f) \\ \rightarrow T_{\text{llenado}} &= \{ 23.25 \times (4 - 1) \} + (23.25 \times 0.75) \\ T_{\text{llenado}} &= \mathbf{87.18 \text{ s}}\end{aligned}$$

3.- Tiempo total del ciclo de carguío

A partir del tiempo de cambio y de llenado, se calculará el tiempo total del ciclo de carguío para un volquete de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}\mathbf{T_{\text{tiempo de ciclo de carguío}} (TC_{\text{carguío}})} &= T_{\text{llenado}} + T_{\text{cambio}} \\ \rightarrow TC_{\text{carguío}} &= 87.18 \text{ s} + 8.60 \text{ s} \\ TC_{\text{carguío}} &= 95.78 \text{ s} \approx 96 \text{ s} \\ TC_{\text{carguío}} &= \mathbf{96 \text{ s} \approx 1.60 \text{ min}}\end{aligned}$$

Por tanto, para la excavadora CAT 390FL, se obtiene el tiempo total de carguío de 93 segundos. Se considerará este tiempo para las dos excavadoras, ya que estas tienen las mismas características y se encuentran en las mismas condiciones de trabajo en la cantera.

4.1.4.3. Análisis del acarreo en las rutas Cantera Tucush - Espaldón

Se tiene que realizar el análisis detallado y evaluación de las operaciones; así mismo, los factores y parámetros que intervienen en los caminos de acarreo, ya que con ello podremos obtener los tiempos que nos permitan obtener el ciclo de acarreo para el cálculo de la producción máxima de los volquetes y dimensionamiento de la flota óptima.

4.1.4.3.1. Parámetros de operación para el acarreo

Es importante cumplir con los parámetros o estándares de operación; ya que esto está condicionado la seguridad de la operación y la de terceros.

Los parámetros a ser considerado en estas operaciones son:

- ✓ Toda comunicación deberá darse a través de radios. En la zona de carguío, el operador de la excavadora debe dar el toque de aviso al operador de volquete para el retroceso y salida. De la misma manera el operador de volquete antes de realizar dichas acciones.
- ✓ Se debe respetar las velocidades máximas señalizadas en las rutas de acarreo, o se deberá tomar como referencia los 25 km/h; en condiciones climática (lluvia, neblina o nieva) los límites de velocidades como máximo serán de 10 km/h por debajo de los establecido.
- ✓ En zonas donde se tiene interacción con vehículos externos a la operación, se dará preferencia de paso. En todo momento tendrán preferencia los peatones de las comunidades.
- ✓ Antes del ingreso a las plataformas de descarga, el operador del volquete debe solicitar la autorización. Las descargas se realizarán en plataformas horizontales y estables.
- ✓ La pendiente máxima de las rutas de acarreo deberá ser de 12%.
- ✓ La capa de rodadura del camino de acarreo deberá tener un espesor de 15 cm y debe ser conformado con material que garantice la transitabilidad de los equipos de acarreo. El bombeo deber ser 2% para garantizar el drenaje superficial del agua.

- ✓ Los muros de seguridad tendrán una altura equivalente a la $\frac{3}{4}$ del neumático más grande que transite por la vía de acarreo y plataformas de descarga, y en la vía pública una altura mínima de 1.50 m y con base de 2.0 m.
- ✓ Las rutas de acarreo deberán de tener un ancho mínimo de 9.0 m, incluido bermas y cunetas (vista en sección transversal).

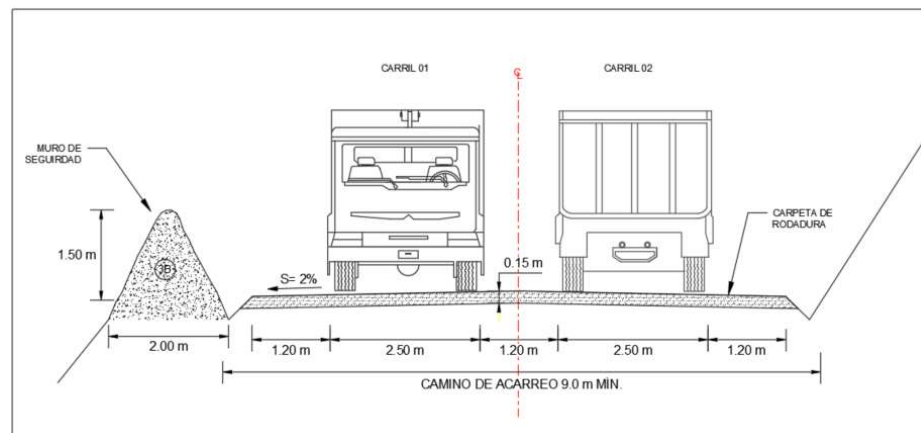
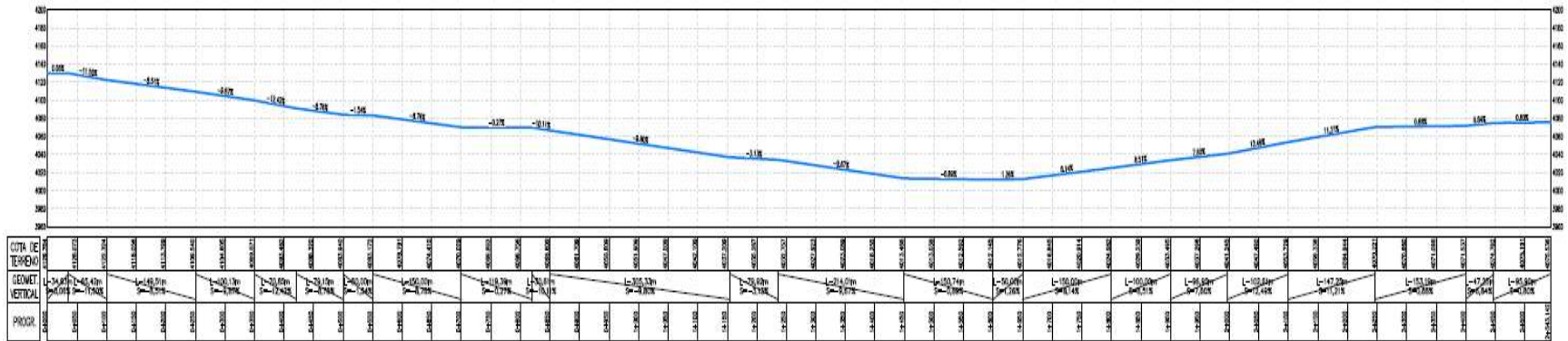


Figura 42. Ancho mínimo de camino de acarreo.

4.1.4.3.2. Pendiente de los caminos de acarreo

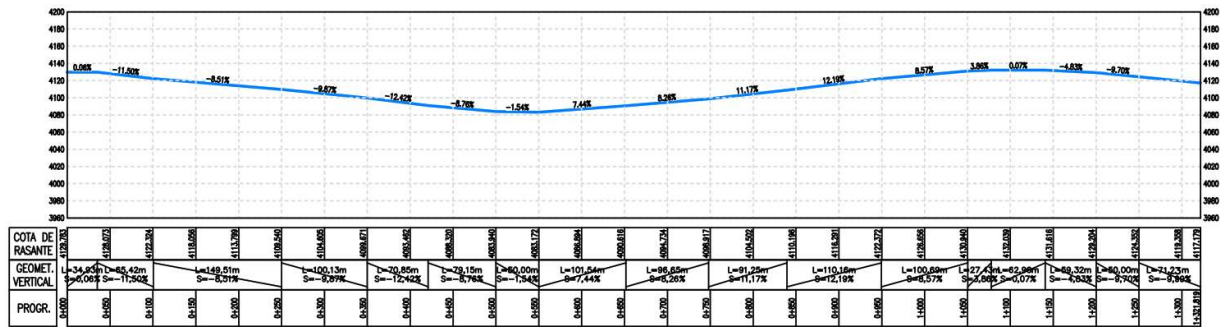
Este es un parámetro que influye en el tiempo de recorrido de los volquetes, es por ello la importancia de realizar el análisis de las pendientes o gradientes de las rutas de acarreo, ya que nos permite identificar los tramos críticos o desfavorables. Al tener pendientes positivas considerables o por encima del estándar, nos generará una reducción de velocidad, por tanto, aumentará el tiempo del ciclo de acarreo.

En el presente estudio, el espaldón de PDR tiene dos zonas de descarga, las cuales tienen rutas de acarreo independientes para acceder desde la cantera Tucush. Dichas rutas están conformadas por tramos de pendiente positiva, negativa u horizontales y las condiciones varían para cada uno de ellas. En la figura 43 y 44 y tabla 19 y 20 se muestran las pendientes de estas rutas en estudio.



PERFIL LONGITUDINAL
 RECORRIDO DE VOLQUETES CANTERA TUCUSH A RELLENO 01
 1/500

Figura 43. Perfil longitudinal de la ruta 01.



PERFIL LONGITUDINAL
 RECORRIDO DE VOLQUETES CANTERA TUCUSH A RELLENO 02
 1/2500

Figura 44. Perfil longitudinal de la ruta 02.

De acuerdo al estándar de Seguridad se debe de trabajar con pendientes menores al 12%, en ambas rutas encontramos pendientes que superan y están próximo al límite permitido.

La ruta 01 que va desde la cantera Tucush hacia el espaldón (relleno zona 01), se tiene una rampa con pendiente positiva próximo y mayor a 12 %, que va desde de la Pk 1+997 a la 2+247. Esta rampa es crítica, ya que supera el límite permitido y tiene un ancho operativo aproximado de 6.0 m con un muro de seguridad al lado derecho, lo que genera paradas de volquetes que retornan, dando preferencia a las que ingresan a la plataforma de descarga; además, esta rampa es utilizado para el abastecimiento de agua a las cisternas en la Garza.

Tabla 19

Gradientes de la ruta Cantera Tucush a ES-Z01.

Tramo	Descripción	Progresiva (km)		Distancia (m)	Gradiente (%)
		Inicio	Fin		
T1	Plataforma de carguío	0+000	0+035	35	0.1
T2	Tramo 01	0+035	0+100	65	-11.5
T3	Tramo 02	0+100	0+250	150	-8.5
T4	Tramo 03	0+250	0+350	100	-9.9
T5	Tramo 04	0+350	0+421	71	-12.4
T6	Tramo 05	0+421	0+500	79	-8.8
T7	Tramo 06	0+500	0+550	50	-1.5
T8	Tramo 07	0+550	0+700	150	-8.8
T9	Tramo 08	0+700	0+819	119	-0.3
T10	Tramo 09	0+819	0+850	31	-10.1
T11	Tramo 10	0+850	1+155	305	-9.8
T12	Tramo 11	1+155	1+235	80	-3.1
T13	Tramo 12	1+235	1+449	214	-9.7
T14	Tramo 13	1+449	1+600	151	-0.9
T15	Tramo 14	1+600	1+650	50	1.3
T16	Tramo 15	1+650	1+800	150	8.1
T17	Tramo 16	1+800	1+900	100	8.5
T18	Tramo 17	1+900	1+997	97	7.6
T19	Tramo 18	1+997	2+100	103	12.5
T20	Tramo 19	2+100	2+247	147	11.2
T21	Tramo 20	2+247	2+400	153	0.9
T22	Tramo 21	2+400	2+447	47	6.8
T23	Plataforma de descarga	2+447	2+543	96	0.8
TOTAL				2,543	-

Por otro lado, la ruta 02 va desde la cantera Tucush hacia el espaldón (relleno zona 02); esta ruta de acarreo tiene tramos que son parte de la vía pública. Esta zona es una de las más críticas del proyecto, además de tener pendientes máximas, se tiene mucha restricción e interacción con terceros. La rampa crítica va desde la Pk 0+550 a la 1+050 con pendiente positiva cercanas y superior a 12 %.

Tabla 20

Gradientes de la ruta Cantera Tucush a ES-Z02.

Tramo	Descripción	Progresiva (km)		Distancia (m)	Gradiente (%)
		Inicio	Fin		
T1	Plataforma de carguío	0+000	0+035	35	0.1
T2	Tramo 01	0+035	0+100	65	-11.5
T3	Tramo 02	0+100	0+250	150	-8.5
T4	Tramo 03	0+250	0+350	100	-9.9
T5	Tramo 04	0+350	0+421	71	-12.5
T6	Tramo 05	0+421	0+500	79	-8.8
T7	Tramo 06	0+500	0+550	50	-1.5
T8	Tramo 07	0+550	0+652	102	7.4
T9	Tramo 08	0+652	0+748	97	8.3
T10	Tramo 09	0+748	0+839	91	11.2
T11	Tramo 10	0+839	0+950	110	12.2
T12	Tramo 11	0+950	1+050	101	8.6
T13	Tramo 12	1+050	1+078	27	3.9
T14	Tramo 13	1+078	1+141	63	0.1
T15	Tramo 14	1+141	1+200	59	-4.8
T16	Tramo 15	1+200	1+250	50	-9.7
T17	Plataforma de descarga	1+250	1+321	71	-10.0
TOTAL				1,321	-

Para reducir los tiempos debido a estos factores, se deberá de mejorar los anchos operativos y la carpeta de rodadura a través del mantenimiento de vías. Al tener caminos públicos que recorren gran parte del espaldón de la PDR por donde se acarrea el material para los rellenos y estas al ser reubicados en forma permanente de acuerdo al avance, se debe buscar en el diseño de los desvíos, las pendientes óptimas, teniendo en cuenta que la pendiente más desfavorable para las dos rutas en estudio es, cuando los volquetes suben con material cargado.

4.1.4.3.3. Velocidad de acarreo

La velocidad que desempeñan los volquetes, es otro de los factores más importante que influye en los tiempos de recorrido, tanto en la ida como en la vuelta en los dos caminos de acarreo hacia el espaldón.

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

- ✓ La pendiente y geometría del camino de acarreo. Se cuenta con pendientes superiores al 12% y una curva crítica en “U” (San Marcos) y 2 intersecciones de la vía pública con los ingresos al espaldón, lo que obliga a los operadores parar o reducir la velocidad.
- ✓ Estado del volquete (cargado o vacío). En los tramos con pendiente más críticos, el equipo de acarreo asciende la rampa con material cargado.
- ✓ Estado de transitabilidad de las vías y las condiciones climáticas, como la lluvia, granizo y neblinas densas, que dificulta la operación.
- ✓ Demoras operativas y externos. Estas demoras se dan por el regado y mantenimiento de vías. Además, por las interferencias ajenas a la operación, como algún evento de seguridad o trabajos que realizan cerca de las vías de acarreo.

El control de las velocidades se realiza a través del “tablero de instrumentos digital” que viene incorporado en los volquetes, mediante el cual el operador visualiza la velocidad que está desempeñando su equipo. Por otro lado, el control y monitoreo lo realiza el área de Control Room del proyecto, quien emite un reporte del desempeño de velocidades de los volquetes según las rutas.

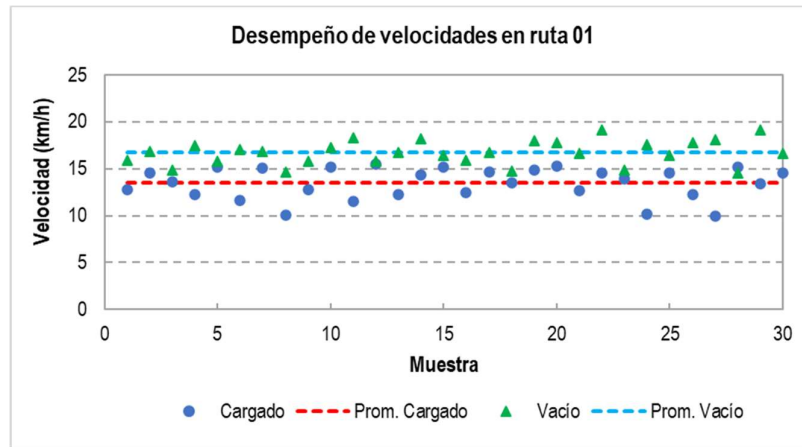


Figura 45. Desempeño de velocidades en ruta 01.

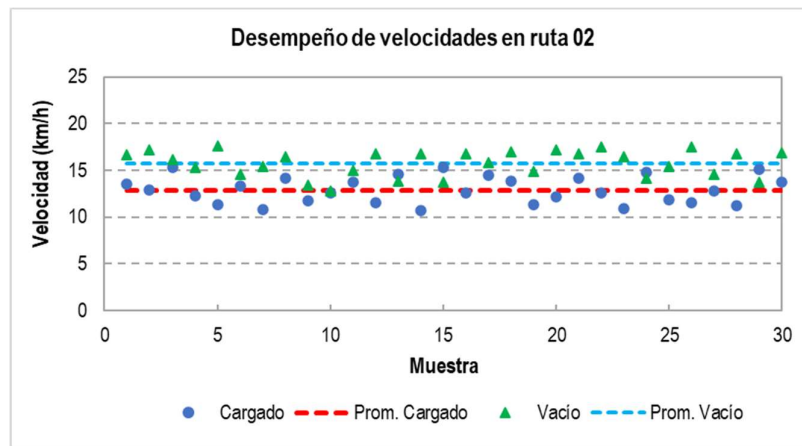


Figura 46. Desempeño de velocidades en ruta 02.

Tabla 21

Velocidad promedio de acarreo.

Estado del volquete	Velocidad promedio (km/h)	
	Ruta 01	Ruta 02
Cargado	13.5	12.5
Vacío	16.5	16.0
Promedio	15.0	14.0

De acuerdo al muestreo realizado, tenemos velocidades promedio de recorrido en la ruta 01 de 15 km/h y ruta 02 de 14 km/h.

4.1.4.3.4. Distancias de acarreo

De acuerdo a la dinámica de la construcción, las distancias van variando de acuerdo al minado de la cantera y avance de los rellenos. Para obtener las distancias de los caminos de acarreo, se procedió a medir la distancia desde el centroide de la cantera Tucush al centroide de cada zona de relleno del espaldón de la PDR.

Tabla 22

Distancia promedio de acarreo.

Vía de acarreo	Punto de Carguío	Punto de Descarga	Distancia (m)
Ruta 01	Cantera Tucush	Espaldón Zona 01 (ES-Z01)	2,543
Ruta 02	Cantera Tucush	Espaldón Zona 02 (ES-Z02)	1,321

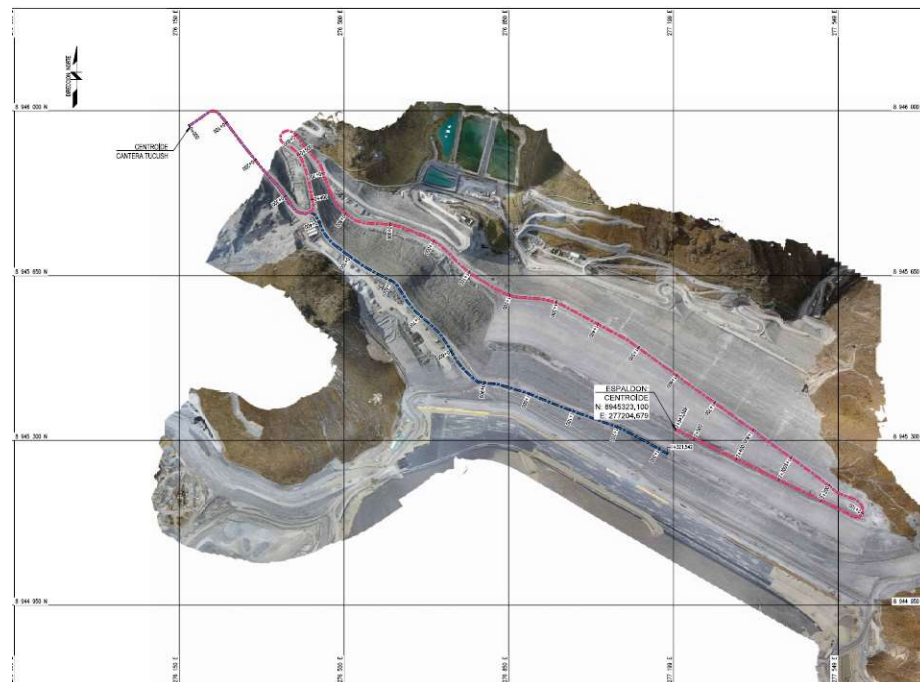


Figura 47. Rutas de acarreo.

(Fuente: Stracon, área de topografía del proyecto, 2021)

4.1.4.3.5. Análisis de los tiempos de acarreo

Se va analizar los parámetros que se tienen en la operación, las maniobras y sus tiempos que conllevan a fin de reducir los improductivos; así mismo, para determinar el tiempo del ciclo de acarreo.

A) Tiempos de recorrido (ida y retorno)

Cuando la excavadora termina de descargar el material a la tolva del volquete en la última pasada y da la comunicación mediante el toque de bocina para la salida de la misma, se da el inicio del recorrido del volquete con carga (ida), por tanto, el inicio del ciclo del acarreo.



Figura 48. Salida del volquete del punto de carguío.

En los accesos y zonas de carguío, por temas de seguridad, la velocidad de salida de los volquetes está entre 5 km/h a 8 km/h, ya que hay interacción con personal de piso, equipos auxiliares y con los volquetes que ingresan y realizan maniobras para posicionarse y ser cargados.

El recorrido de ida termina, cuando los volquetes llegan a la plataforma de descarga en el espaldón. Realizan la descarga del material e inician el recorrido de vuelta (retorno vacío), completando así el tiempo del acarreo.

Se ha identificado los factores que más influyen en los tiempos de acarreo en las dos rutas, los cuales son, la velocidad, que tiene relación directa con la pendiente, la geometría (curvas) y el estado de las vías; las demoras operativas e interferencia, tales como, en los dos ingresos al espaldón de la PDR y en el ingreso a la cantera Tucush, además del mantenimiento de vías y por algún incidente de seguridad en la vía.

De acuerdo al control de los tiempos de recorrido de los volquetes de ida (cargado) y retorno (vacío) realizado en distintas condiciones, se han registrado para las dos rutas de acarreo hacia los rellenos del espaldón, los siguientes tiempos.

Tabla 23

Tiempos de recorrido registrados en campo.

Muestra N°	Tiempo de recorrido (min)			
	Ruta 01		Ruta 02	
	Ida	Retorno	Ida	Retorno
1	12.8	10.3	7.1	5.2
2	10.6	9.6	5.9	6.3
3	13.6	12.2	6.1	5.4
4	12.3	9.9	6.7	4.9
5	10.8	11.8	5.8	5.5
6	11.6	12.5	7.3	5.1
7	13.5	8.7	6.7	5.8
8	10.1	11.5	7.5	4.9
9	12.8	9.4	8.1	6.5
10	14.2	10.3	5.8	5.2
11	11.5	8.8	7.6	6.2
12	10.4	9.2	6.2	4.8
13	12.3	9.6	8.3	5.6
14	14.8	11.1	6.4	5.5
15	10.3	10.3	7.9	4.9
16	12.5	8.9	5.8	6.1
17	14.7	11.5	6.4	5.2
18	13.5	9.4	7.8	5.9
19	12.3	11.8	6.8	6.0
20	10.9	10.6	8.2	5.3
21	12.7	9.9	7.6	4.9
22	11.4	9.7	6.2	6.1
23	13.9	10.5	7.0	4.9
24	10.2	8.9	5.9	6.4
25	14.6	9.1	7.3	5.9

Muestra N°	Tiempo de recorrido (min)			
	Ruta 01		Ruta 02	
	Ida	Retorno	Ida	Retorno
26	12.3	11.7	6.5	6.6
27	11.6	9.8	7.5	5.5
28	12.8	10.7	6.6	5.8
29	13.4	9.6	7.4	4.9
30	10.5	10.1	6.6	6.2
31	13.1	8.9	7.5	5.4
32	12.8	11.1	5.9	6.5
33	11.6	8.8	6.7	5.3
34	12.7	9.6	7.5	5.6
35	11.8	12.1	6.4	5.1
36	10.5	9.5	7.8	4.5
37	12.6	8.4	6.6	6.7
38	13.4	9.6	8.5	5.5
39	11.8	10.4	7.4	5.1
40	13.5	11.2	6.6	5.8
41	11.6	9.4	6.9	6.3
42	10.4	8.6	5.9	5.5
43	14.3	11.3	7.7	6.2
44	12.8	8.7	5.9	6.0
45	13.4	11.3	6.8	5.8
46	10.7	9.8	7.0	5.3
47	13.6	9.6	6.7	6.2
48	12.9	10.9	7.8	5.7
49	11.3	8.8	6.9	5.0
50	14.6	10.7	6.4	5.9
Promedio	12.37	10.12	6.92	5.62

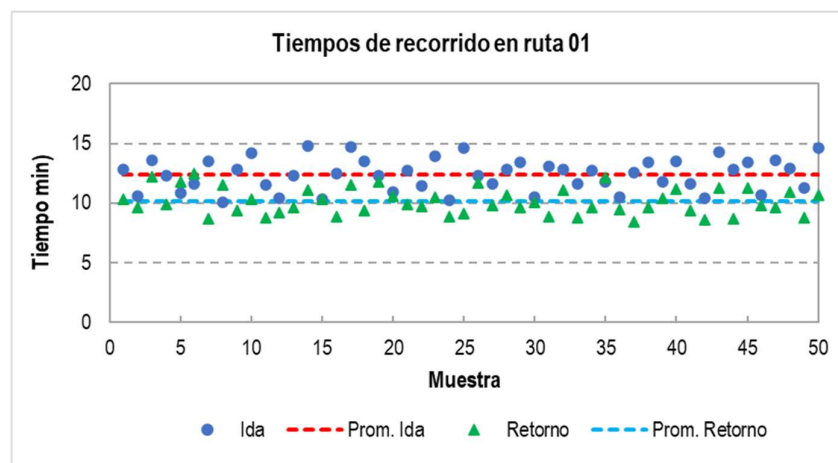


Figura 49. Tiempos de recorrido en ruta 01.

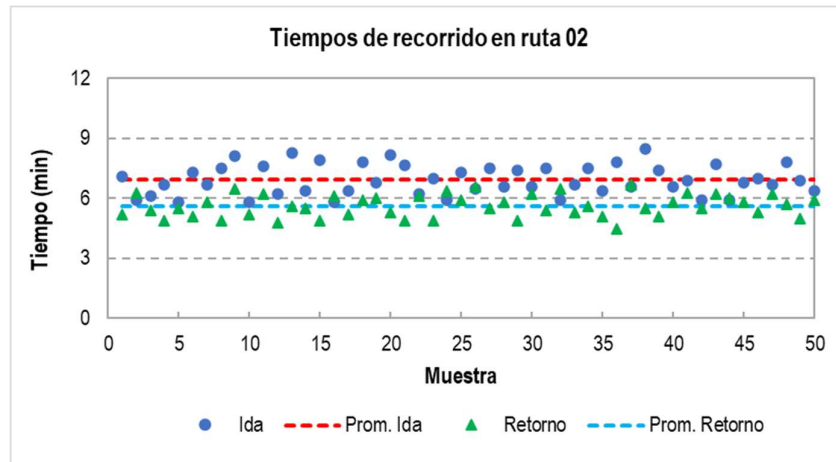


Figura 50. Tiempos de recorrido en ruta 02.

Con fines de realizar el comparativo; en base a las velocidades promedio y distancias, se calculó los tiempos de recorrido de ida y retorno de ambas rutas.

Tabla 24

Tiempos de recorrido a partir de las velocidades y distancias.

Parámetro	Ruta 01		Ruta 02	
	Ida	Vuelta	Ida	Vuelta
Velocidad (km/h)	13.5	16.5	12.5	16.0
Distancia (km)	2.54	2.54	1.32	1.32
Tiempo (hr)	0.19	0.15	0.11	0.08
Tiempo (min)	11.32	9.25	6.34	4.95

Tabla 25

Variación de los tiempos según el método de obtención.

Método de obtención	Tiempo de recorrido (min)			
	Ruta 01		Ruta 02	
	Ida	Vuelta	Ida	Vuelta
Directo	12.37	10.12	6.92	5.62
A través de parámetros	11.32	9.25	6.34	4.95
Variación	1.05	0.87	0.58	0.67

De acuerdo a la tabla anterior, la variación del tiempo más considerable es en la ruta 01, esto principalmente a que en esta se tiene más tramos y pendientes variados, por tanto, las velocidades también varían de acuerdo a ellos. Para determinar el tiempo del ciclo del acarreo, se realizará con los tiempos obtenidos directamente en campo.

B) Análisis de las maniobras

Las maniobras que se realizan son, en el ingreso a las plataformas de descarga e ingreso a la zona de carguío, en ambos casos el volquete es operado en retroceso. Además, de las maniobras para la descarga de material (Checya, 2015).

a) Maniobras de ingreso a la zona de descarga

Las dos plataformas de relleno del espaldón están divididas en dos franjas longitudinalmente. El lado derecho o inferior (hacia el muro de seguridad) es para el ingreso y salida de volquetes y el lado izquierdo o superior (hacia el pie del talud) para la descarga y conformación del material.

En la plataforma de relleno del Espaldón Zona 01, de acuerdo a la figura 51, la maniobra inicia cuando el volquete empieza a dar el giro en avance y luego el giro en retroceso hasta llegar al punto de descarga. El tiempo promedio de esta maniobra es de 28 segundos (0.47 min).

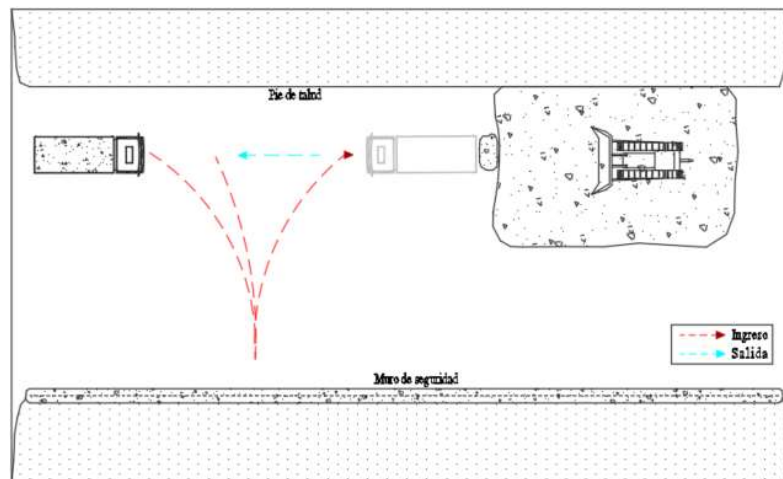


Figura 51. Maniobras de entrada en relleno zona 01.

En la plataforma de relleno del Espaldón Zona 02, se consideran 2 tiempos de maniobras. De acuerdo a la figura 52a, el primero tiempo se da cuando el volquete se detiene e inicia el retroceso hasta el punto de descarga, cuya distancia entre estos puntos es entre 15 a 20 metros. El segundo inicia cuando el volquete sale después de la descarga y realiza las maniobras para el giro en “U”. En este caso toda la maniobra se realiza sobre la plataforma compactada y liberada.

En el segundo caso, de acuerdo a la figura 52b, el primer tiempo se da cuando el volquete empieza con la maniobra para el giro en “U” y el segundo se da cuando el volquete entra en retroceso al punto de descarga, cuya distancia está entre 20 a 30 metros. Este caso es la más crítica, ya que el retroceso se da sobre el material en proceso de conformación, lo que genera condiciones de seguridad.

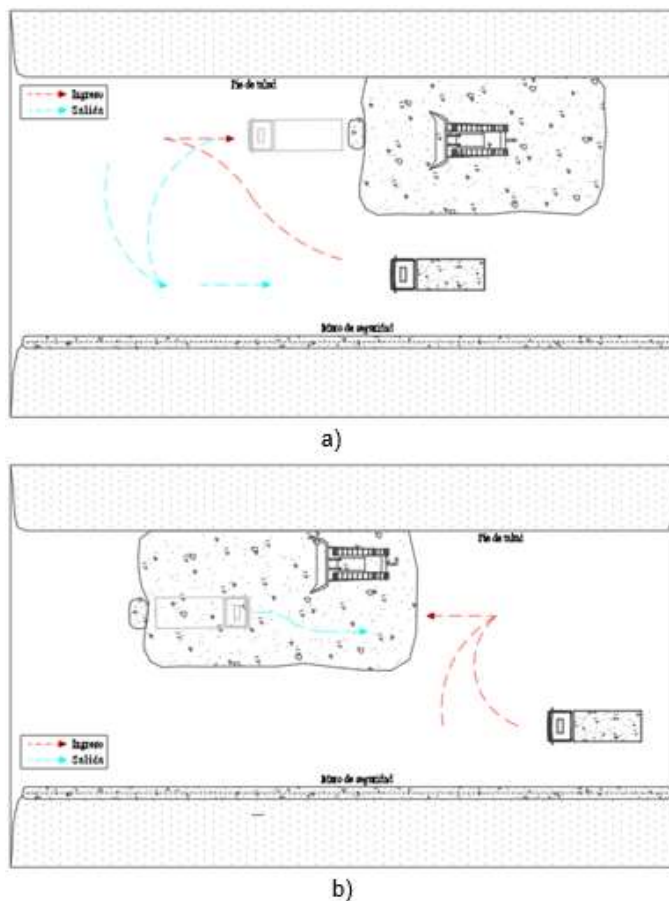


Figura 52. Maniobras de entrada en relleno zona 02.

De acuerdo al control del tiempo realizado a diferentes volquetes y en distintos puntos de descarga en la zona 02, se determinó como tiempo promedio los siguientes:

- ✓ Tiempo de retroceso: 15 s y
- ✓ Tiempo de maniobra en “U”: 32 s

Por lo tanto, el tiempo total de maniobra en la zona 02 de descarga es de 47 segundos (0.78 min).

Cuando se termina de conformar la franja superior, se continua con la descarga de material en la franja inferior, siguiendo la secuencia descrita líneas arriba. El análisis de la secuencia constructiva del relleno, para mejorar los tiempos improductivos generados por la espera y aglomeración de volquetes, se realizó en el ítem 4.1.3.

b) Maniobras para descarga de material

Después del retroceso y una vez que el volquete se detiene en el punto de descarga (descrito en el ítem a), el operador toca dos toques de bocina y levanta la tolva para la descarga del material 3B, dando así el inicio del tiempo de descarga.

El material va cayendo mientras se levanta la tolva y cuando ésta esté levantada completamente, el operador avanza una distancia máxima de 2 metros, de acuerdo al PETS de acarreo del proyecto, para terminar con la descargar del material e iniciar el descenso de la tolva, dando por finalizada la maniobra de descarga e inicio del recorrido de retorno hacia la cantera Tucush. Se determinó los siguientes tiempos de estas maniobras:

- ✓ Tiempo de elevación de tolva: 48 s,
- ✓ Tiempo de avance: 12 s y
- ✓ Tiempo de descenso de tolva: 25 s

De acuerdo a lo anterior, el tiempo total de maniobra de descarga de material es de 85 segundos (1.42 min). Estos al ser tiempos fijos, se consideran la misma para las dos zonas de relleno del espaldón.

c) Maniobras en el ingreso a la zona de carguío

Las maniobras de ingreso de los volquetes al carril donde serán cargados, se inician en el punto “C” (figura 53). Mientras la excavadora carga la última pasada del volquete ubicado en el carril contrario, al mismo tiempo el volquete realiza el giro para ubicarse en el punto “B” en posición en retroceso.

Para posicionarse en el carril derecho, el volquete ingresa en sentido antihorario y para el carril izquierdo, en sentido horario.

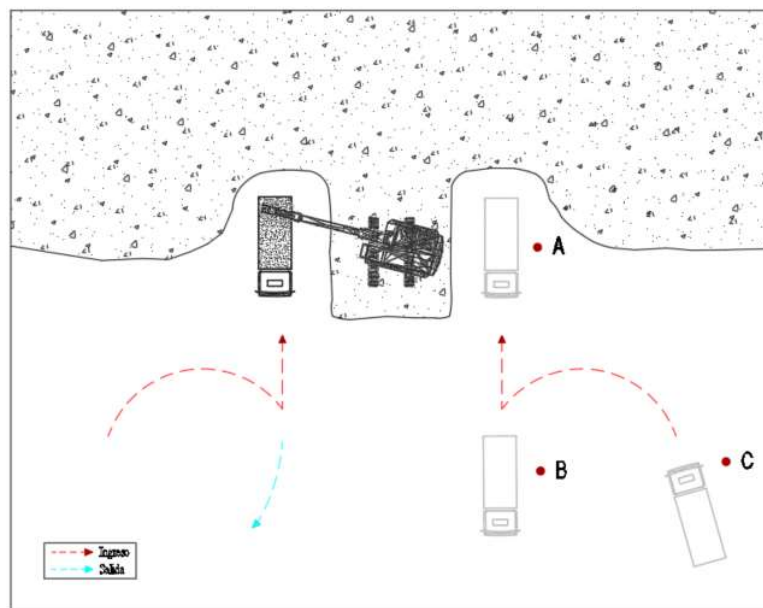


Figura 53. Maniobras de ingreso a la zona de carguío.

La excavadora empieza con el corte de material, gira con el cucharón con carga un ángulo máximo de 90° respecto a sus orugas y da el toque de aviso con la bocina para el ingreso del volquete. En seguida el volquete ingresa en retroceso hasta el punto “A”, para luego darse el inicio el carguío.



Figura 54. Ingreso del volquete en retroceso al carguío.

De acuerdo al control del tiempo realizado a diferentes volquetes y en ambos carriles de carguío, se determinó como tiempo promedio los siguientes:

- ✓ Tiempo de giro (“C” a “B”) más la espera (en “B”) de 38 s
- ✓ Tiempo de retroceso (“B” hacia “A”) de 12 s

Por lo tanto, el tiempo total de maniobra en el ingreso al carguío es de 50 segundos (0.83 min).

Es importante mantener la zona de carguío (carriles) en óptimas condiciones, eliminando materiales o irregularidades a fin de dejar un piso nivelado y uniforme, para que los volquetes puedan ingresar sin restricción.

4.1.4.4. Cálculo del tiempo del ciclo del acarreo

Estará dado por, los tiempos de recorrido con carga (ida) y sin carga (retorno), los tiempos de maniobras y el tiempo de descarga de material; se calculará de acuerdo a la siguiente expresión:

$$TC_{\text{acarreo}} = T_R + T_M + T_D$$

Donde:

TC acarreo = Tiempo del ciclo de acarreo

T_R = Tiempo de recorrido

T_M = Tiempo de maniobras

T_D = Tiempo de descarga de material

En seguida calcularemos el tiempo del ciclo de acarreo, de acuerdo a los tiempos obtenidos en el ítem anterior.

A) Para el frente ES-Z01:

Conociendo que:

- ✓ Tiempo de recorrido de ida = 12.37 min
- ✓ Tiempo de recorrido de retorno = 10.12 min
- ✓ Tiempo de maniobra de ingreso a la descarga = 0.47 min
- ✓ Tiempo de maniobra de ingreso al carguío = 0,83 min
- ✓ Tiempo de descarga de material = 1.42 min

Calculamos el tiempo total del ciclo de acarreo:

$$\rightarrow TC_{\text{acarreo}} = 12.37 + 10.12 + 0.47 + 1.42 + 0.83$$

$$TC_{\text{acarreo}} = 25.21 \text{ min}$$

B) Para el frente ES-Z02:

Conociendo que:

- ✓ Tiempo de recorrido de ida = 6.92 min
- ✓ Tiempo de recorrido de retorno = 5.62 min
- ✓ Tiempo de maniobra de ingreso a la descarga = 0.78 min
- ✓ Tiempo de maniobra de ingreso al carguío = 0,83 min
- ✓ Tiempo de descarga de material = 1.42 min

Calculamos el tiempo total del ciclo de acarreo:

$$\rightarrow TC_{\text{acarreo}} = 6.92 + 5.62 + 0.78 + 1.42 + 0.83$$

$$TC_{\text{acarreo}} = 15.57 \text{ min}$$

4.1.4.5. Cálculo del tiempo del ciclo del sistema carguío-acarreo

El tiempo de trabajo de los volquetes para acarrear el material 3B desde la cantera Tucush hacia las dos zonas de relleno del espaldón de PDR, serán las siguientes:

$$TC_{C-A} = TC_{\text{carguío}} + TC_{\text{acarreo}}$$

Donde:

TC_{C-A} = Tiempo del ciclo del sistema carguío-acarreo

$TC_{\text{carguío}}$ = Tiempo del ciclo del carguío

TC_{acarreo} = Tiempo del ciclo del acarreo

A) Para el frente ES-Z01:

Conociendo que:

- ✓ Tiempo del ciclo del carguío = 1.60 min
- ✓ Tiempo del ciclo del acarreo = 25.21 min

Calculamos el TC_{C-A} :

$$\rightarrow TC_{C-A} = 1.60 + 25.21$$

$$TC_{C-A} = 26.81 \text{ min}$$

B) Para el frente ES-Z02:

Conociendo que:

- ✓ Tiempo del ciclo del carguío = 1.60 min
- ✓ Tiempo del ciclo del acarreo = 15.57 min

Calculamos el TC_{C-A}:

$$\rightarrow TC_{C-A} = 1.60 + 25.21$$

$$TC_{C-A} = 17.17 \text{ min}$$

4.1.5. Cálculo de la producción horaria

Una vez obtenido el tiempo total del ciclo de trabajo, debemos calcular la producción horaria máxima del carguío y del acarreo, con la finalidad de obtener la flota óptima de acarreo.

4.1.5.1. Producción horaria máxima de carguío

Con este cálculo se determinará la producción máxima (real) “P_{MC}” de la excavadora a la que podrá alcanzar por hora, y se calculará de la siguiente manera:

$$P_{MC} \text{ (m}^3\text{/h)} = \frac{60 \times Cc \times E \times F}{TC_{carguío}}$$

Tabla 26

Producción horaria máxima de carguío.

Parámetro	Equipo de carguío	
	EX-01	EX-02
Cc: Capacidad del cucharón (m ³)	6.0	6.0
E: Eficiencia de la operación	90%	90%
F: Factor de llenado del cucharón	85%	85%
TC _{carguío} : Tiempo del ciclo del carguío por pase (min)	0.39	0.39
P_{MC}: Producción máxima de carguío (m³/h)	706.15	706.15

4.1.5.2. Producción horaria teórica de acarreo

Con este cálculo determinaremos la producción teórica “P_{TA}” del volquete por hora, ya que en esta expresión no se considera el factor de eficiencia de la operación, y se calculará de la siguiente manera:

$$P_{TA} (m3/h) = \frac{60 \times Cv}{TC_{C-A}}$$

Tabla 27

Producción horaria teórica de acarreo.

Parámetro	Frente de trabajo	
	ES-Z01	ES-Z02
Cv: Capacidad del volquete (m3)	24 m3	24 m3
TC _{C-A} : Tiempo del ciclo de total C-A (min)	26.81	17.17
P_{TA}: Producción teórica de acarreo (m3/h)	53.71	83.87

4.1.5.3. Producción horaria máxima de acarreo

Con este cálculo determinaremos la producción óptima “P_{MA}” o máxima (real) que se desea alcanzar por hora, ya que esto nos permitirá obtener, con una cantidad de volquetes, la producción requerida de la excavadora, y se calculará de la siguiente manera:

$$P_{MA} (m3/h) = \frac{60 \times Cv \times E}{TC_{C-A}}$$

Además, el número de viajes o ciclo que realizará el volquete en una hora de trabajo estará dado por la siguiente expresión:

$$R_c \left(\frac{\text{viaje}}{h} \text{ o } \frac{\text{Ciclo}}{h} \right) = \frac{60}{TC_{C-A}}$$

Tabla 28*Producción horaria máxima de acarreo.*

Parámetro	Frente de trabajo	
	ES-Z01	ES-Z02
CV: Capacidad del volquete (m3)	24 m3	24 m3
TC _{C-A} : Tiempo del ciclo de total C-A (min)	26.81	17.17
E: Eficiencia de la operación	85%	85%
R _C : Rendimiento de acarreo (viaje/h o ciclo/h)	2.24	3.49
P_{MA}: Producción máxima de acarreo (m3/h)	45.65	71.29

4.1.6. Dimensionamiento de la flota óptima de acarreo

El cálculo lo realizaremos a través del Match Factor “MF” (factor de acoplamiento “FA”), de acuerdo a la siguiente expresión.

$$MF = \frac{\text{Producción total de acarreo (m3/h)}}{\text{Producción total de carguío (m3/h)}}$$

Checy (2015) afirma:

La coordinación o acoplamiento entre el equipo de carguío y las unidades de acarreo, es fundamental en la optimización de las operaciones, ya que nos permite usar racionalmente los equipos, teniendo como resultado beneficios como el incremento de la producción y la reducción de los costos unitarios de carguío y acarreo (p.119).

Tabla 29*Parámetros de análisis.*

Caso	Descripción	Parámetro
1	Cuando hay exceso de excavadoras; la eficiencia del acarreo es 100 %	MF < 1
2	Cuando hay exceso de volquetes; la eficiencia de carga es 100 %	MF > 1
3	Cuando el factor de acoplamiento es ideal	MF = 1

Fuente: Mayhua y Mendoza (2012).

Tabla 30

Simulación del Match Factor (MF) de la excavadora CAT 390FL - ES-Z01.

Exc.	Flota de acarreo	Prod. real carguío (m3/h)	Prod. teórica acarreo (m3/h)	Prod. de acarreo (m3/h)	Prod. real acarreo (m3/h)	MF	Eficiencia Global Sistema C-A
EX-01	1	706.15	53.71	45.65	45.65	0.06	6%
EX-01	2	706.15	107.42	91.31	91.31	0.13	13%
EX-01	3	706.15	161.13	136.96	136.96	0.19	19%
EX-01	4	706.15	214.85	182.62	182.62	0.26	26%
EX-01	5	706.15	268.56	228.27	228.27	0.32	32%
EX-01	6	706.15	322.27	273.93	273.93	0.39	39%
EX-01	7	706.15	375.98	319.58	319.58	0.45	45%
EX-01	8	706.15	429.69	365.24	365.24	0.52	52%
EX-01	9	706.15	483.40	410.89	410.89	0.58	58%
EX-01	10	706.15	537.11	456.55	456.55	0.65	65%
EX-01	11	706.15	590.82	502.20	502.20	0.71	71%
EX-01	12	706.15	644.54	547.86	547.86	0.78	78%
EX-01	13	706.15	698.25	593.51	593.51	0.84	84%
EX-01	14	706.15	751.96	639.16	639.16	0.91	91%
EX-01	15	706.15	805.67	684.82	684.82	0.97	97%
EX-01	16	706.15	859.38	730.47	706.15	1.03	103%
EX-01	17	706.15	913.09	776.13	706.15	1.10	110%
EX-01	18	706.15	966.80	821.78	706.15	1.16	116%
EX-01	19	706.15	1,020.51	867.44	706.15	1.23	123%
EX-01	20	706.15	1,074.23	913.09	706.15	1.29	129%
EX-01	21	706.15	1,127.94	958.75	706.15	1.36	136%

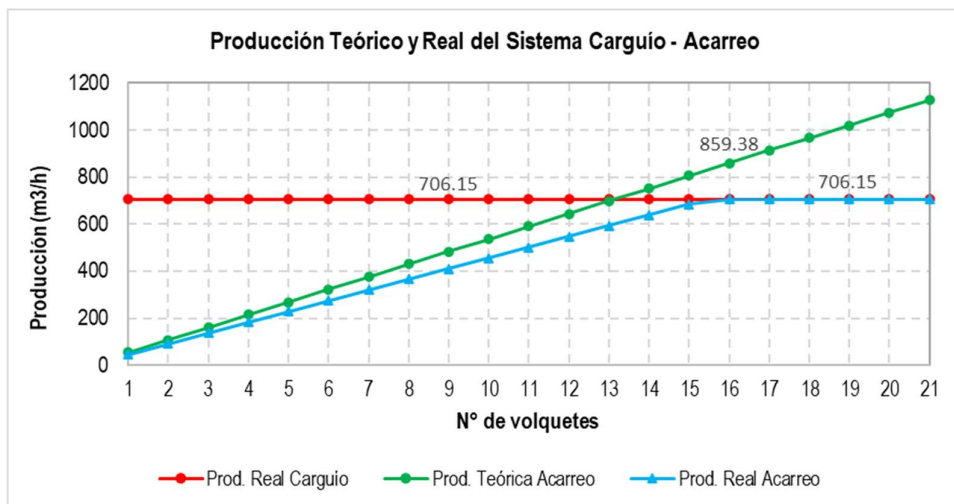


Figura 55. Producción teórico y real del sistema - ES-Z01.

En la tabla 30, de acuerdo a la simulación tenemos dos factores de acoplamiento (0.97 y 1.03) cercano a 1.0, lo ideal. Para seleccionar la flota debemos realizar la evaluación del costo y la producción, ósea los beneficios que nos generaría al optar por un volquete menos o un volquete más respectivamente.

De acuerdo a la cantidad de volumen a rellenar en el espaldón y a que más del 70% de los equipos de acarreo en estudios son propio del contratista, se dará prioridad la producción; por tanto, para este frente de trabajo (ES-Z01) seleccionaremos la flota con MF igual a 1.03, que son 16 volquetes por una excavadora. Lo que quiere decir que la flota seleccionada producirá 706.15 m³/h.

En la figura 55 se puede ver la producción teórica y real del sistema carguío - acarreo. La producción máxima que alcanza la excavadora es de 706.15 m³/h, por tanto, la producción máxima de acarreo será esa. Además, en cuanto la cantidad de volquetes incrementa a partir de la óptima (16 und.), la producción de acarreo será la misma.

Tabla 31

Simulación del Match Factor (MF) de la excavadora CAT 390FL - ES-Z02.

Exc.	Flota de acarreo	Prod. real carguío (m ³ /h)	Prod. teórica acarreo (m ³ /h)	Prod. de acarreo (m ³ /h)	Prod. real acarreo (m ³ /h)	MF	Eficiencia Global Sistema C-A
EX-02	1	706.15	83.87	71.29	71.29	0.10	10%
EX-02	2	706.15	167.73	142.57	142.57	0.20	20%
EX-02	3	706.15	251.60	213.86	213.86	0.30	30%
EX-02	4	706.15	335.47	285.15	285.15	0.40	40%
EX-02	5	706.15	419.34	356.44	356.44	0.50	50%
EX-02	6	706.15	503.20	427.72	427.72	0.61	61%
EX-02	7	706.15	587.07	499.01	499.01	0.71	71%
EX-02	8	706.15	670.94	570.30	570.30	0.81	81%
EX-02	9	706.15	754.80	641.58	641.58	0.91	91%
EX-02	10	706.15	838.67	712.87	706.15	1.01	101%
EX-02	11	706.15	922.54	784.16	706.15	1.11	111%
EX-02	12	706.15	1,006.41	855.45	706.15	1.21	121%
EX-02	13	706.15	1,090.27	926.73	706.15	1.31	131%

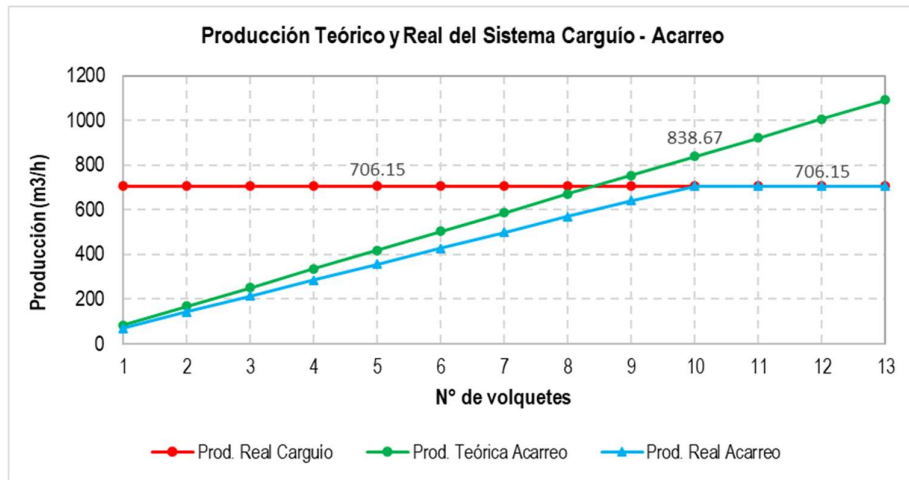


Figura 56. Producción teórico y real del sistema - ES-Z02.

La selección de la flota para el frente de trabajo ES-Z02, será de la misma forma, priorizando la producción. En la tabla 31, de acuerdo a la simulación, seleccionaremos la flota con MF igual a 1.01, que son 10 volquetes por una excavadora. Lo que quiere decir que la flota seleccionada producirá 706.15 m3/h, la máxima producida por la excavadora.

De acuerdo a la selección de las dos flotas de acarreo, para la misma producción realizada por la excavadora, la cantidad de volquetes varía, ya que esto obedece al tiempo del ciclo del acarreo.

4.1.7. Análisis de costos de carguío y acarreo

Con los costos unitarios “CU” del carguío y acarreo podremos conocer el costo por cada metro cubico (m3) que se carga a una unidad de acarreo. Con ello podremos ver cuantitativamente la optimización de la producción. El cálculo se realizará con la siguiente expresión:

$$CU = \frac{\text{Costo operado (USD/h)}}{\text{Producción horaria (m3/h)}}$$

Para el cálculo del CU, el costo operado se considerará la tarifa de equipo más la de su operador por hora.

Tabla 32

CU del carguío y acarreo - ES-Z01.

Exc.	Flota de acarreo	Prod. real carguío (m3/h)	Prod. real acarreo (m3/h)	M.F.	CU Carguío (USD/m3)	CU Acarreo (USD/m3)	CU Total C-A (USD/m3)
EX-01	1	706.15	45.65	0.06	2.181	0.707	2.887
EX-01	2	706.15	91.31	0.13	1.090	0.707	1.797
EX-01	3	706.15	136.96	0.19	0.727	0.707	1.433
EX-01	4	706.15	182.62	0.26	0.545	0.707	1.252
EX-01	5	706.15	228.27	0.32	0.436	0.707	1.143
EX-01	6	706.15	273.93	0.39	0.363	0.707	1.070
EX-01	7	706.15	319.58	0.45	0.312	0.707	1.018
EX-01	8	706.15	365.24	0.52	0.273	0.707	0.979
EX-01	9	706.15	410.89	0.58	0.242	0.707	0.949
EX-01	10	706.15	456.55	0.65	0.218	0.707	0.925
EX-01	11	706.15	502.20	0.71	0.198	0.707	0.905
EX-01	12	706.15	547.86	0.78	0.182	0.707	0.888
EX-01	13	706.15	593.51	0.84	0.168	0.707	0.874
EX-01	14	706.15	639.16	0.91	0.156	0.707	0.862
EX-01	15	706.15	684.82	0.97	0.145	0.707	0.852
EX-01	16	706.15	706.15	1.03	0.141	0.707	0.848
EX-01	17	706.15	706.15	1.10	0.141	0.777	0.918

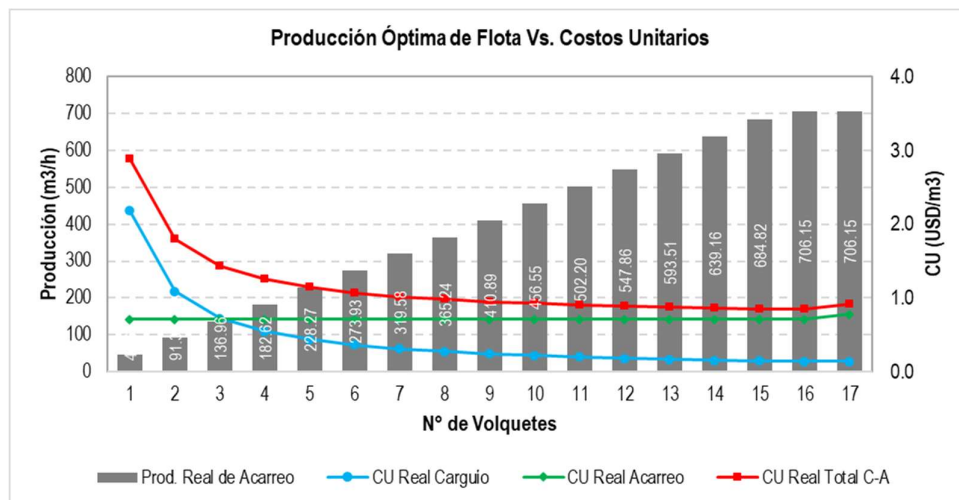


Figura 57. Producción óptima de flota vs. costos unitarios - ES-Z01.

La figura 57 muestra la variación del “CU” del sistema carguío – acarreo de acuerdo al incremento de la producción. El costo unitario del carguío disminuye de acuerdo incrementa la cantidad de volquetes, mientras que del acarreo se mantiene. Hay que tener en cuenta que el costo unitario de acarreo dependerá del sistema de pago sobre el alquiler de los volquetes que tiene el contratista con sus proveedores. Para la flota óptima del ES-Z01, se tiene un CU de carguío de 0.141 USD/m³ y CU de acarreo de 0.707 USD/m³

Tabla 33

CU del carguío y acarreo - ES-Z02.

Exc.	Flota de acarreo	Prod. real carguío (m ³ /h)	Prod. real acarreo (m ³ /h)	M.F.	CU Carguío (USD/m ³)	CU Acarreo (USD/m ³)	CU Total C-A (USD/m ³)
EX-02	1	706.15	71.29	0.10	1.396	0.453	1.849
EX-02	2	706.15	142.57	0.20	0.698	0.453	1.151
EX-02	3	706.15	213.86	0.30	0.465	0.453	0.918
EX-02	4	706.15	285.15	0.40	0.349	0.453	0.802
EX-02	5	706.15	356.44	0.50	0.279	0.453	0.732
EX-02	6	706.15	427.72	0.61	0.233	0.453	0.685
EX-02	7	706.15	499.01	0.71	0.199	0.453	0.652
EX-02	8	706.15	570.30	0.81	0.175	0.453	0.627
EX-02	9	706.15	641.58	0.91	0.155	0.453	0.608
EX-02	10	706.15	706.15	1.01	0.141	0.453	0.594
EX-02	11	706.15	706.15	1.11	0.141	0.503	0.644

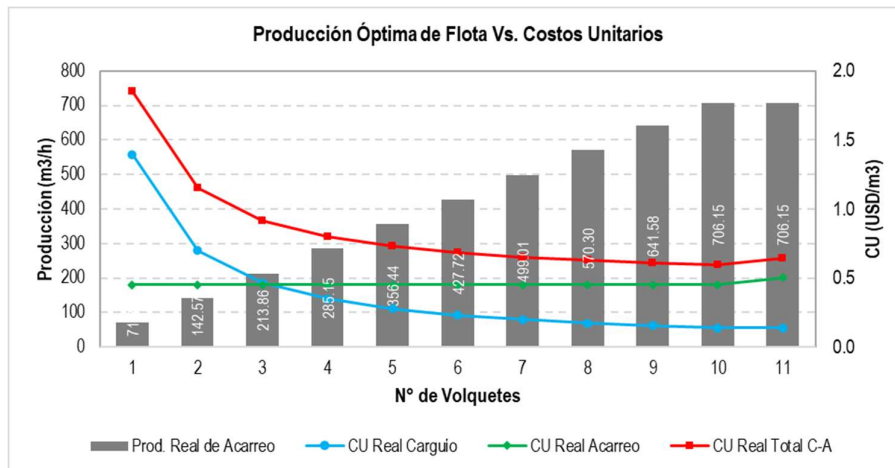


Figura 58. Producción óptima de flota vs. costos unitarios - ES-Z02.

Del mismo modo, para la flota óptima del ES-Z02, se tiene un CU de carguío de 0.141 USD/m³ y CU de acarreo de 0.707 USD/m³.

El CU del carguío y del acarreo, varían de acuerdo al tiempo del ciclo, ya que ésta está directamente relacionada con la producción.

4.1.8. Análisis del sistema carguío - acarreo

De acuerdo al tiempo de ciclo de carguío - acarreo calculado y obtenida la flota óptima, vamos a realizar el análisis de la eficiencia con respecto a la situación actual.

4.1.8.1. Flota actual vs. flota óptima de acarreo

A continuación, se realizará el comparativo de la flota actual con respecto a la flota óptima determinada para cada frente de trabajo.

Tabla 34

Flota actual vs. flota óptima de acarreo.

Flota de acarreo	Frente de trabajo		Total
	ES-Z01	ES-Z02	
Actual	21	13	34
Óptima	16	10	26
MF Actual	1.36	1.31	-
MF óptima	1.03	1.01	-
Sobredimensionada	5	3	8

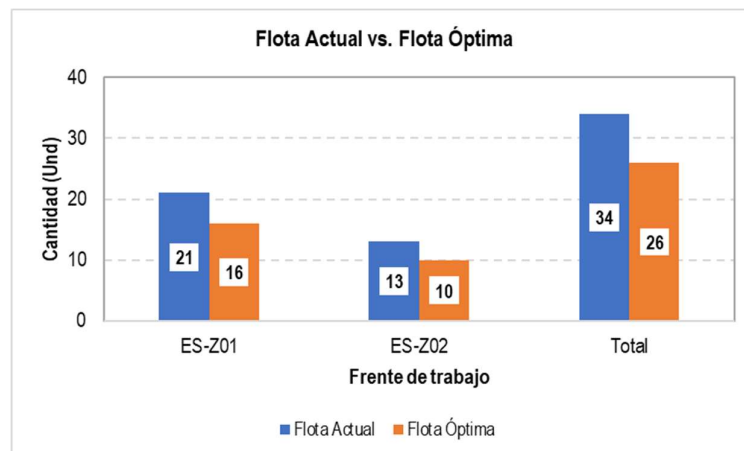


Figura 59. Flota actual vs flota óptima.

De acuerdo al cálculo de la flota óptima realizado, se determina que la flota actual está sobredimensionando para ambos frentes, con un MF de 1.36 para el ES-Z01 y un MF de 1.31 de ES-Z02.

4.1.8.2. Variación del costo unitario

Como se mencionó anteriormente, el costo unitario depende principalmente del tiempo del ciclo de acarreo; en las siguientes simulaciones se muestra la variación de CU de acarreo óptimo respecto a ello.

Tabla 35

Variación de CU de flota óptima de acuerdo al ciclo - ES-Z01.

Tiempo de Ciclo Carguío-Acarreo			Ciclo por hora (Ciclos/h)	Prod. Horaria (m3/h)	CU Acarreo (USD/m3)
Min	Hr.	Eficiencia del ciclo (%)			
23	0.383	86	2.61	53.22	0.606
24	0.400	90	2.50	51.00	0.633
25	0.417	93	2.40	48.96	0.659
26	0.433	97	2.31	47.08	0.685
26.81	0.447	100	2.24	45.65	0.707
27	0.450	101	2.22	45.33	0.712
28	0.467	104	2.14	43.71	0.738
29	0.483	108	2.07	42.21	0.764
30	0.500	112	2.00	40.80	0.791

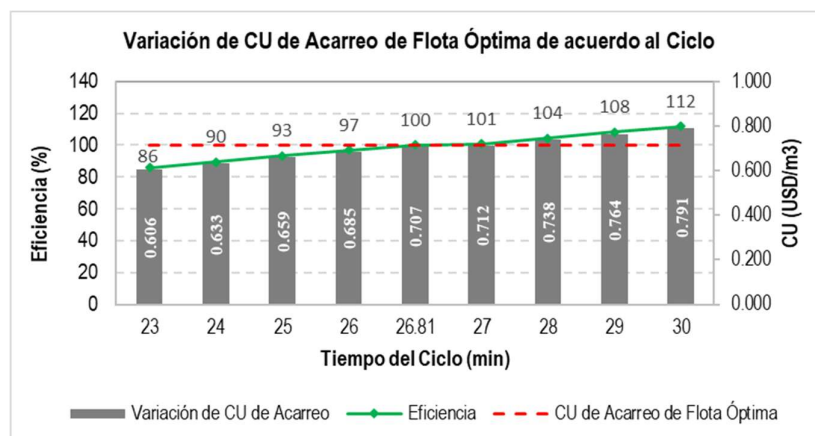


Figura 60. Variación de CU de flota óptima en función al ciclo calculado - ES-Z01.

Tabla 36

Variación de CU de flota óptima de acuerdo al ciclo - ES-Z02.

Tiempo de Ciclo Carguío-Acarreo			Ciclo por hora (Ciclos/h)	Prod. Horaria (m3/h)	CU Acarreo (USD/m3)
Min	Hr.	Eficiencia del ciclo (%)			
14	0.233	82	4.29	87.43	0.369
15	0.250	87	4.00	81.60	0.395
16	0.267	93	3.75	76.50	0.422
17	0.283	99	3.53	72.00	0.448
17.17	0.286	100	3.49	71.29	0.453
18	0.300	105	3.33	68.00	0.474
19	0.317	111	3.16	64.42	0.501
20	0.333	116	3.00	61.20	0.527
21	0.350	122	2.86	58.29	0.553

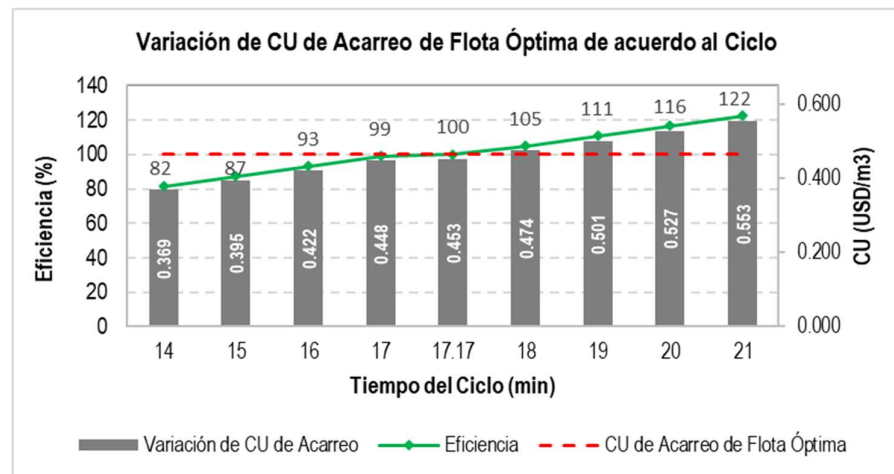


Figura 61. Variación de CU de flota óptima en función al ciclo calculado - ES-Z02.

De acuerdo las figuras 60 y 61, se puede observar que mientras el tiempo del ciclo disminuye, el costo unitario del acarreo respecto al de la flota óptima también disminuye y viceversa. Por tanto, al mejorar la eficiencia del acarreo en el sistema, el tiempo de ciclo de los mismo se reducirán, por consiguiente, los costos unitarios.

4.1.9. Indicadores (KPI's) de carguío y acarreo

4.1.9.1. Producción horaria

El comparativo de la producción horaria que alcanza la excavadora y la flota de acarreo por hora, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 37

Producción horaria actual y calculada.

Equipo		Producción horaria actual (m3/h)	Producción horaria calculada (m3/h)
Carguío	EX-01	378.17	706.15
	EX-02	406.43	706.15
Acarreo	Flota ES-Z01	34.56	45.65
	Flota ES-Z02	53.76	71.29

De acuerdo a la tabla anterior, la producción horaria calculada de las excavadoras es mayor en 327.98 m3/h y 299.72 m3/h a la producción actual. En el acarreo se tiene una producción horaria mayor de 11.09 m3/h y 17.53 m3/h, lo que representa un incremento de 32% y 33% a la producción actual.

4.1.9.2. Eficiencia operativa

El comparativo de las eficiencias operativas actuales con la estimada para los equipos de carguío y acarreo, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 38

Eficiencia operativa de los equipos.

Equipo		Eficiencia operativa actual (%)	Eficiencia operativa estimada (%)
Carguío	EX-01	81.50	91.60
	EX-02	82.42	92.10
Acarreo	Flota A. ES-Z01	65.10	84.62
	Flota A. ES-Z02	63.80	81.51

Al comparar la eficiencia operativa de las excavadoras se obtiene un incremento de 11% y 12% respecto al actual. En cuanto a los equipos de acarreo se puede ver que un incremento de 30% y 28%, esto se debe a la disminución de los tiempos improductivos, generados en la plataforma de descarga y en el carguío.

4.1.9.3. Costo unitario

En este comparativo se observa la reducción de los costos unitarios calculados con respecto a los actuales. Al obtener una flota óptima se logra una reducción de los costos unitarios.

Tabla 39

Costo unitario del carguío y acarreo.

Equipos		Costo Unitario Actual (USD/m3)	Costo Unitario Calculado (USD/m3)
Carguío	EX-01	0.190	0.141
	EX-02	0.171	0.141
Acarreo	Flota A. ES-Z01	1.08	0.707
	Flota A. ES-Z02	0.65	0.453

4.1.9.4. Resumen de los KPI's

En las siguientes tablas, se muestran el resumen de los indicadores obtenidos en la operación del carguío y del acarreo en el presente estudio.

Tabla 40

KPI's de carguío.

KPI	Equipo de carguío		Unidades
	EX-01	EX-02	
Producción horaria	706.15	706.15	m3 / h
Ciclos por hora	37.5	37.5	Ciclos / h
Eficiencia operativa	91.60%	92.10%	%
Producción por turno	7,414.62	7,414.62	m3/turno
Costo unitario de carguío	0.141	0.141	US\$ / m3

Tabla 41*KPI's de acarreo.*

KPI	Flota de acarreo		Unidades
	ES-Z01	ES-Z02	
Producción horaria	45.65	71.29	m3 / h
Ciclos por hora	2.2	3.5	Ciclos / h
Eficiencia operativa	84.62	82.51	%
Producción por turno	7,414.62	7,414.62	m3/turno
Costo unitario de acarreo	0.707	0.453	US\$ / m3

4.2. Contrastación de hipótesis

De acuerdo al tipo de investigación (descriptiva) considerada, no se formulan hipótesis, por tanto, no hay contrastación de hipótesis.

Según Arias (2012), para una investigación de tipo descriptiva, afirma:

Su misión es observar y cuantificar la modificación de una o más características en un grupo, sin establecer relaciones entre éstas. Es decir, cada característica o variable se analiza de forma autónoma o independiente. Por consiguiente, en este tipo de estudio no se formulan hipótesis, sin embargo, es obvia la presencia de variables (p.25).

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1. Discusión de resultados

Según Riquelme (2021) indica que, la clave para aumentar la producción es la gestión y monitoreo de las horas efectivas de los equipos que realizan el carguío y acarreo, ya que están relacionadas directa y proporcional al rendimiento de los mismos. Además, según Escarcena (2019), la reducción de tiempos muertos está sujetas al diseño de flota, una flota con transporte óptimo reduce las colas de hasta 1,3 minutos. Así mismo, el rendimiento promedio de los equipos de carguío CAT 336DL, CAT 329D son 266,27 t/h y 147,27 t/h respectivamente.

Se concuerda con ello. Si realizamos un análisis detallado de las operaciones, se puede identificar los tiempos improductivos, como la falta y colas volquetes en el carguío, esto dado a una incorrecta relación de unidades de carguío respecto al de acarreo, que generan baja productividad y la utilización de los equipos. Al determinar la flota óptima de acarreo se reduce estos tiempos, al mismo que se incrementa la producción horaria, de acuerdo a calculada para las excavadoras CAT 390FL son 706.15 m³/h.

De acuerdo a Blas (2021), los ciclos operativos de acarreo calculado para volquetes de 20 m³ es de 41.1 min con un ciclo de carguío de 1.39 min y para los de 25m³ es de 41.5 con un ciclo de carguío de 1.74 min. El mach factor para las excavadoras 390 son los volquetes de 25m³ que los de 20m³, con los de 25m³ las excavadoras 390 llegan a rendir 78 TMS/hr por encima que trabajar con los de 20m³.

Se concuerda con los resultados de esa investigación. Según el estudio realizado, el ciclo del sistema carguío - acarreo obtenido es 26.81 y 17.17 min para volquetes de 24 m³ con ciclo de carguío de 1.60 min con capacidad de cucharón de 6 m³; así mismo, aplicando el Match Factor (MF) se puede determinar la flota óptima de acarreo para cada excavadora es de 16 y 10 volquetes de 24 m³, tal como se muestra en las tablas 30, 31 y 34. Las excavadoras CAT 390 FL, son más

eficientes con volquetes de mayor capacidad, por tanto, requiere una cantidad menor de unidades de acarreo respecto a las de menor capacidad.

Según Malimba (2019), el diseño de carguío óptimo es de 2 excavadoras (CAT 336 DL) con 22 volquetes generando un ahorro de 0.84\$/ton. Además, de acuerdo a Blas (2021), la flota adecuada para el sistema de explotación de 02 Excavadoras 390 Cat es de 48 volquetes, incorporándose 18 volquetes de 25m³, para alcanzar la máxima rentabilidad, el mismo que se obtiene un costo unitario de 0.94 \$/tms reduciendo así en un 9 % el costo total de carguío y acarreo.

Se concuerda con ello; la flota óptima determinada para las dos excavadoras CAT 390 es de 26 volquetes de 24 m³, de acuerdo a las tablas 32, 33 y 39 se obtiene un CU de carguío de 0.141 USD/m³ y CU de acarreo de 0.707 y 0.453 USD/m³, lo que representa una disminución del 31% del CU totales del carguío y del acarreo.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Mediante la evaluación y análisis detallado de las operaciones, se identifican los tiempos improductivos generados principalmente por demoras operativas. Una inadecuada relación entre el equipo de carguío respecto al del acarreo, afecta la producción y utilización de equipos.
- El tiempo total del ciclo del sistema carguío - acarreo y la eficiencia operativa influyen en la producción, así como en los costos unitarios de la operación.
- La producción horaria obtenida con cada una de las dos excavadoras CAT 390FL es de 706.15 m³/h, teniendo un incremento de 327.99 m³/h y 299.72 m³/h. El costo unitario del carguío obtenido es 0.141 USD/m³, lo que representa una reducción en 26% y 18%.
- Se obtuvo un número óptimo de 16 y 10 volquetes por cada excavadora, con una producción de acarreo 45.65 m³/h y 71.29 m³/h y con costos unitario de 0.707 USD/m³ y 0.453 USD/m³ respectivamente.

6.2. Recomendaciones

- Se recomienda mantener las vías de acarreo y los accesos a las plataformas de descarga en óptimas condiciones, así como llevar una secuencia constructiva en los rellenos que permita tener una operación continua, para no afectar la producción, la utilización y los costos unitarios del carguío y acarreo.
- Según el sector y el recrecimiento del espaldón, se recomienda llevar un control de los tiempos de las operaciones, con la finalidad de identificar, evaluar y reducir las demoras operativas que generan tiempos improductivos que afectan el ciclo del acarreo; así mismo el control de distancia de acarreo.

- Uniformizar la capacidad de los volquetes a 24m³, esto debido a la capacidad del cucharón de la excavadora, puesto que, para llenar de material estos volquetes es necesario 4 pasadas al tope.
- En el carguío se debe buscar zonas con dimensiones adecuadas, de manera de realizar el carguío a doble carril, con el objetivo de incrementar la productividad de las excavadoras.
- Revisar los indicadores de productividad y hacer conocimiento a la línea de mando para la mejora continua; así mismo, capacitar al personal operativo mediante guías y charlas, con el principio de que el carguío y acarreo es un sistema integral.

REFERENCIAS

7.1. Fuentes documentales

Alva, R. (2006). *Optimización del Sistema de Carguío y Acarreo en Comarsa*. Ponencia presentada en el 6to Congreso Nacional de Minería, Trujillo, Perú.

Álvarez, V. (2014). *Cálculo de la productividad de equipos de acarreo y transporte – Unidad Minera de Arcata*. (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.

Amau, G. (2019). *Optimización de equipos de carguío y transporte para el incremento de producción en la CIA Minera Antapaccay Espinar – Cusco* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú.

Blas, J. (2021). *Determinación del número óptimo de volquetes de 25 m³ para excavadoras 390FL del Tajo Diana – Mina Summa Gold* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.

Bustamante, J. (2018) *Optimización de la productividad de los equipos de carguío y acarreo en Gold Fields La Cima S.A mediante la disminución de las demoras operativas más significativas* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.

Caterpillar Inc. (2016). *Manual de Rendimiento Caterpillar*, Ed. 46 en español. Peoria, Illinois, EE.UU.

Checya, D. (2015). *Gestión de la operación de equipos de movimiento de tierras para mejorar el rendimiento de carguío y acarreo en la Mina Antapaccay* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.

- Cortez, R. (2018). *Mejora del proceso de carguío y acarreo para movimiento de tierras en una empresa minera a tajo abierto de Cajamarca* (Tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.
- Cruzat, A. (2008). *Manual del curso carguío y transporte*. Cochimbo, Chile, Universidad de la Serena
- Cuti, J. C. (2019). *Determinación de indicadores de rendimiento en equipos de carguío, acarreo y transporte para mejorar la productividad para mejorar la productividad en Mina Chipmo, U.E.A. Orcopampa de CIA de Mina Buenaventura Arequipa* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú.
- Escarcena, R. (2019). *Evaluación de las operaciones de carguío y transporte para el mejoramiento de la productividad en la Unidad Minera Tacaza – Ciemsa* (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Gómez, S. (2011). *Dimensionamiento óptimo de flotas de equipos para proyectos de movimiento de tierras*. Artículo Científico. Piura, Perú. Universidad Nacional de Piura.
- González, H. (2019). *Selección y asignación de equipos de carguío para el cumplimiento de un plan de producción en minería a cielo abierto por medio de una metodología de simulación y optimización* (tesis de posgrado). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.
- Gutiérrez, V. y Pereira, R. (2006). *Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de maquinaria y equipo de construcción*. Universidad Mayor San Simón, Cochabamba, Bolivia.
- Llallahui, E. (2016). *Mejoramiento de carguío y acarreo de mineral en la U.E.A Mina Breapampa - CIA Minera Buenaventura S.A.A.* (tesis de pregrado). Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú.

- Malimba, A. (2019). *Cálculo de la flota de carguío y transporte para optimizar la producción diaria en el tajo Ciénaga Norte – Coimolache*. (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Mayhua, A., y Mendoza, L. (2012). *Optimización del sistema de transporte de mineral del nivel 1070 a superficie de la unidad de producción San Cristóbal - VOLCAN CIA MINERA S.A.A.* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú.
- Morales, R. (2009). *Apuntes para la clase unidad de aprendizaje: “maquinaria de construcción”*. Universidad Autónoma De Baja California. Mexicali, Baja California, México.
- Ojeda, G. (2021). *Simulación del sistema de carguío y transporte de la Mina Rajo Sur, División el Teniente* (memoria de título, pregrado). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.
- Ortiz, F. P. y Herrera, J. (2002), *Curso de Laboreo I. Cátedra de Laboreo de Minas*, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Ortiz, J. (2010). *Apuntes del curso de explotación de minas*. Santiago de Chile, Universidad de Chile.
- Peter, N. C. (2001). *Tópicos de Ingeniería en Minas a Rajo Abierto*. Capítulo 1. Apuntes del curso. IMM-2012, Santiago de Chile, Chile.
- Reygada, C. (s.f.). *Curso de método de explotación a cielo abierto*. Antofagasta Chile, Universidad de Antofagasta.
- Riquelme, G. (2021). *Propuesta de plan de optimización de producción de carguío y transporte para la gran minería a cielo abierto* (tesis de pregrado). Universidad Andrés Bello, Concepción, Chile.

Rojas, L. (2018). *Optimización del proceso de carguío y acarreo mediante el uso de KPI's en la fase de relleno del espaldón de la presa de relave – Antamina* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú.

Rondan, E. M. (2014). *Producción real vs. producción potencial de equipos de carguío y acarreo y aplicación del match factor para determinar el número óptimo de volquetes Mina Aras* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.

Saldaña, A. D. (2013). *Productividad en el ciclo de carguío y acarreo en el tajo Chaquicocha bajo clima severo - Minera Yanacocha* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Segura, G. (2020). *Análisis de flota de equipos de servicios según indicadores de rendimiento en mina Los Bronces* (informe de memoria de título, pregrado). Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

Stracon (2019). *Plan de ejecución del proyecto*. Lima, Perú.

7.2. Fuentes bibliográficas

Arias, F. (2012). *El proyecto de la investigación científica introducción a la metodología científica*. Caracas, Venezuela: Episteme.

Bustillo, M. y López, C. (1997). *Manual de Evaluación y Diseño de Explotaciones mineras*. Madrid, España: Gráficas Arias Montano S.A.

Ghio, V. (2001). *Productividad en obras de construcción: diagnóstico, crítica y propuesta*. Lima, Perú: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Hernández, Fernández y Baptista (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F., México: McGraw-Hill.

- Orta, P. (2013). *Tecnología de la Construcción de Explanaciones*. La Habana, Cuba: Editorial Félix Varela.
- Rojo, J. (2010). *Manual de movimiento de tierras a cielo abierto*. Madrid, España: Fueyo Editores.
- Serpell, A. (2002). *Administración de operaciones de construcción*. México D.F., México: Alfaomega.
- Tiktin, J. (1997). *Movimiento de tierras*. Madrid, España: E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Servicio de Publicaciones (UPM)
- Useche, M., Artigas, W., Queipo, B. y Perozo, E. (2019). *Técnicas e instrumentos de recolección de datos cuali-cuantitativos*. Universidad de La Guajira, Colombia: Editorial Gente Nueva.

7.3. Fuentes hemerográficas

- Bonilla, E. (2012). La importancia de la productividad como componente de la competitividad. *Fundación Universidad de América*, 5(2), 158-163.
- Marvel, M. C., Rodríguez, C., y Núñez, M. (2011). La productividad desde una perspectiva humana: Dimensiones y factores. *Intangible Capital*, 7(2), 549-584.
- Ortiz, O., Canchari, G., Iglesias, S., & Gonzales, M. (2007). Simulación determinística y estocástica para dimensionar, y seleccionar equipo y elegir alternativas de minado en la explotación minera superficial. *Revista Del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, 10(19), 38-50.
- Otzen, T. & Manterola C. (2017). Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *Int. J. Morphol.*, 35(1), 227-232.

Rivero, P. J. y Rivas, J. A. (2013). Optimización de la productividad en la industria, para lograr rentabilidad y competitividad. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*. Guadalajara, México.

7.4. Fuentes electrónicas

Carro, R. y González, D. (2012). *Administración de las Operaciones. Productividad y competitividad*. Universidad Nacional de Mar del Plata, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. Recuperado de: https://nulan.mdp.edu.ar/id/eprint/1607/1/02_productividad_competitividad.pdf

Caterpillar Inc. (2014). Folleto del producto excavadora CAT 390FL, Caterpillar. Recuperado de: <https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C10339085>

CODELCO - Corporación Nacional de Cobre de Chile (2001), Santiago de Chile, Chile. <https://www.codelcoeduca.cl/index2.html>.

EDITEC - Runge Latin America (2002), Santiago de Chile, Chile. <http://www.editec.cl/mchilena/Dic2002/Articulo/planificacion.htm>.

Hudson, J. P. (2003). *Factores que afectan la productividad y costo en el carguío y transporte*. USA: Runge Latin America Ltda. Disponible en: <http://www.editec.cl/mchilena/dic2003/Articulo/informe.htm>.

Mercedes Benz (2012). Ficha Técnica de Actros 4144K / 45 (8x4). Recuperado de: <http://www.panamer.com/mercedes/fichas/actros+4144K.pdf>

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2009). *Manual de formación preventiva para el desempeño del puesto de operador de maquinaria de transporte, camión y volquete, en actividades extractivas de exterior*. Madrid, España. Recuperado de: <https://energia.gob.es/mineria/Seguridad/Guias/Manuales/Manual-operador-maquinaria-transporte-ET2000-1-08.pdf>

- Valenzuela, C. (2014). Determinación del costo unitario, una herramienta financiera Eficiente en las empresas (en línea). Revista El Buzón de Pacioli. Sonora, México. 47 p. Consultado el 15 de jun. 2018. Disponible en: <https://www.itson.mx/publicaciones/pacioli/Documents/no87/Pacioli-87-eBook.pdf>
- Volvo Trucks (s.f.). Ficha Técnica de Volvo FMX 8x4R. Recuperado de: [https://www.volvotrucks.com.ar/content/dam/volvo-trucks/markets/argentina/fichas-t%C3%A9cnicas-volvo-fmx/FMX%20380-420-460-500%20x4R%20Vocacional%202020%20\(VTCM0045%20ED02\).pdf](https://www.volvotrucks.com.ar/content/dam/volvo-trucks/markets/argentina/fichas-t%C3%A9cnicas-volvo-fmx/FMX%20380-420-460-500%20x4R%20Vocacional%202020%20(VTCM0045%20ED02).pdf)
- Yepes, V. (2014). *Maquinaria de movimiento de tierras*. Apuntes de la Universidad Politécnica de Valencia, Ref. 204. Valencia, 158 pp. Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2012/10/25/mototraillas/>

ANEXOS:

Anexo 1: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	METODOLOGIA	POBLACIÓN Y MUESTRA	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>Problema General:</p> <p>¿De qué manera se describe la productividad y la utilización de equipos en las operaciones de carguío y acarreo, San Marcos - 2022?</p> <p>Problemas Específicos:</p> <p>¿De qué manera se describe la producción en las operaciones de carguío y acarreo, San Marcos - 2022?</p> <p>¿De qué manera influye el número de equipos en las operaciones de carguío y acarreo, San Marcos - 2022?</p> <p>¿De qué manera se describe los costos unitarios de las operaciones de carguío y acarreo, San Marcos - 2022?</p>	<p>Objetivo General:</p> <p>Analizar la productividad y la utilización de equipos en las operaciones de carguío y acarreo, San Marcos - 2022</p> <p>Objetivos Específicos:</p> <p>Analizar la producción en las operaciones de carguío y acarreo, San Marcos - 2022</p> <p>Calcular el número de equipos en las operaciones de carguío y acarreo, San Marcos - 2022</p> <p>Analizar los costos unitarios de las operaciones de carguío y acarreo, San Marcos - 2022</p>	<p>Según (Arias, 2012), para una investigación de tipo descriptiva, afirma:</p> <p>Su misión es observar y cuantificar la modificación de una o más características en un grupo, sin establecer relaciones entre éstas. Es decir, cada característica o variable se analiza de forma autónoma o independiente. Por consiguiente, en este tipo de estudio no se formulan hipótesis, sin embargo, es obvia la presencia de variables (p.25).</p>	<p>Variable 1</p> <p>Productividad y utilización de equipos</p> <p>Variable 2</p> <p>Operaciones de carguío y acarreo</p>	<p>Producción</p> <p>Número de equipos (recursos utilizados)</p> <p>Costos unitarios</p> <p>Movimiento de material</p> <p>Volumen transportado</p>	<p>Tipo:</p> <p>Básica de tipo descriptiva</p> <p>Enfoque:</p> <p>Cuantitativo</p> <p>Nivel:</p> <p>Descriptiva</p> <p>Diseño:</p> <p>No experimental, transversal</p>	<p>Población:</p> <p>12 excavadoras y 58 volquetes</p> <p>Muestra:</p> <p>2 excavadoras y 34 volquetes</p> <p>(Método no probabilístico, muestreo intencional)</p>	<p>Técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Observación - Análisis Documental <p>Instrumentos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fichas de registro para la toma de tiempos - Libreta de apuntes de campo - Cámara fotográfica para registro de evidencia - Bibliografía sobre el tema de investigación - Plan de trabajo de explotación de cantera - Planos de rutas de acarreo

Anexo 2: Registro fotográfico



Fotografía 1. Trabajos en el espaldón de presa de relave.



Fotografía 2. Operaciones de carguío en la cantera Tucush

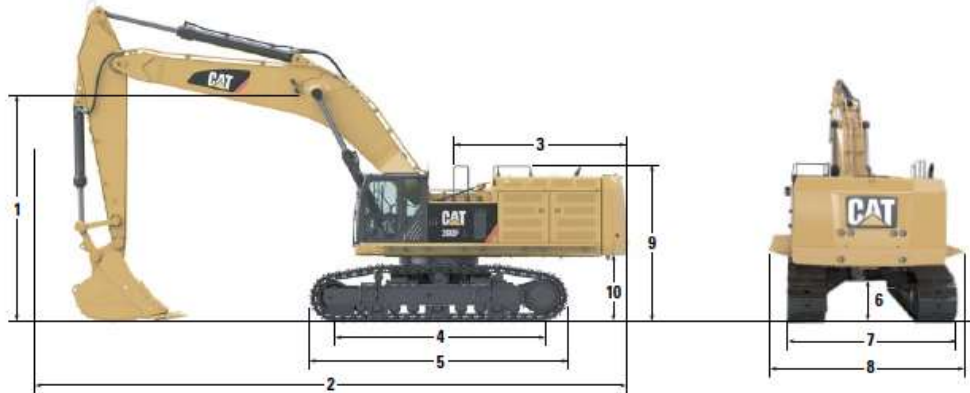


Fotografía 3. Operaciones de carguío en la cantera Tucush

Anexo 3: Especificaciones técnicas de los equipos

Dimensiones

Todas las dimensiones son aproximadas.



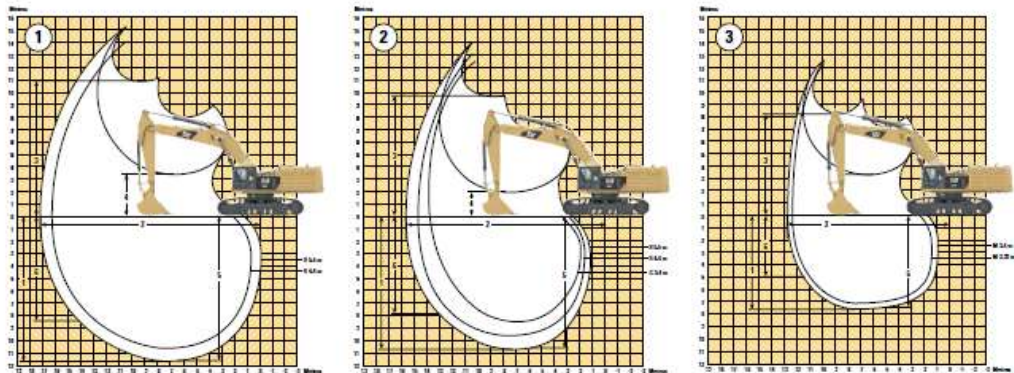
Opciones de pluma		Pluma de alcance 10,0 m		Pluma GP 8,4 m		Pluma para excavación de gran volumen 7,25 m		
Opciones de brazos		R 5,5 m	R 4,4 m	R 5,5 m	R 4,4 m	G 3,4 m	M 3,4 m	M 2,92 m
1 Altura de embarque	mm	5.490	5.070	5.840	5.290	5.160	5.310	4.890
2 Longitud de embarque	mm	16.290	16.330	14.500	14.690	14.720	13.550	13.690
3 Radio de giro de la cola	mm	4.700	4.700	4.700	4.700	4.700	4.700	4.700
4 Longitud hasta el centro de los rodillos	mm	5.120	5.120	5.120	5.120	5.120	5.120	5.120
5 Longitud de la rueda	mm	6.358	6.358	6.358	6.358	6.358	6.358	6.358
6 Espacio libre sobre el suelo	mm	900	900	900	900	900	900	900
7 Entrevía (retraída)	mm	2.750	2.750	2.750	2.750	2.750	2.750	2.750
Entrevía (extendida)	mm	3.510	3.510	3.510	3.510	3.510	3.510	3.510
8 Ancho de transporte								
Zapata de 650 mm	mm	4.160	4.160	4.160	4.160	4.160	4.160	4.160
Zapata de 750 mm	mm	4.260	4.260	4.260	4.260	4.260	4.260	4.260
Zapata de 900 mm	mm	4.410	4.410	4.410	4.410	4.410	4.410	4.410
9 Altura de baranda	mm	3.830	3.830	3.830	3.830	3.830	3.830	3.830
10 Espacio libre del contrapeso	mm	1.640	1.640	1.640	1.640	1.640	1.640	1.640
Tipo de cucharón		GD	GD	GD	GD	SD	SDV	SDV
Capacidad del cucharón	m ³	3,9	3,9	4,6	4,6	4,6	6,0	6,0
Radio de la punta del cucharón	mm	2.424	2.424	2.319	2.319	2.319	2.505	2.505

Figura 1. Dimensiones de la excavadora CAT 390FL

(Fuente: Folleto del producto 390F L, Caterpillar, 2014)

Gamas de trabajo

Todas las dimensiones son aproximadas.



Opciones de pluma

	① Pluma de alcance 10,0 m		② Pluma GP 8,4 m		③ Pluma para excavación de gran volumen 7,25 m		
Opciones de brazos	R 5,5 m	R 4,4 m	R 5,5 m	R 4,4 m	G 3,4 m	M 3,4 m	M 2,92 m
1 Profundidad máxima de excavación	mm 11.800	10.700	10.750	9.650	8.680	7.640	7.160
2 Alcance máximo en la línea a nivel del suelo	mm 17.250	16.230	15.730	14.690	13.910	12.690	12.240
3 Altura máxima de carga	mm 10.960	10.530	9.730	9.280	9.100	8.210	7.990
4 Altura mínima de carga	mm 3.320	4.420	1.950	3.050	4.030	3.210	3.680
5 Profundidad máxima de corte con fondo plano de 2.240 mm	mm 11.700	10.590	10.650	9.540	8.550	7.510	7.020
6 Profundidad máxima de excavación vertical	mm 8.380	7.380	7.860	6.850	6.180	5.090	4.690
Fuerza de excavación del cucharón (ISO)	kN 364,8	363,3	364,8	363,3	470,9	470,9	470,4
Fuerza de excavación del brazo (ISO)	kN 235,9	276,0	235,9	276,0	325,5	325,5	356,3
Tipo de cucharón	GD	GD	GD	GD	SD	SDV	SDV
Capacidad del cucharón	m ³ 3,9	3,9	4,6	4,6	4,6	6,0	6,0
Radio de la punta del cucharón	mm 2.424	2.424	2.319	2.319	2.319	2.505	2.505

Figura 2. Radio de acción de la excavadora CAT 390FL

(Fuente: Folleto del producto excavadora CAT 390FL, Caterpillar, 2014)

Motor	
Modelo del motor	Cat C18 ACERT
Potencia: ISO 14396 (métrica)	405 kW (551 hp)
Potencia neta: ISO 9249 (métrica)	391 kW (532 hp)
Potencia neta: EEC 80/1269 (métrica)	391 kW (532 hp)
Calibre	145 mm
Carrera	183 mm
Cilindrada	18,1 L
<ul style="list-style-type: none"> • El modelo 390F L cumple con los estándares de emisiones Tier 2 o Tier 3. • No es necesario reducir la potencia del motor a menos de 2.300 m de altitud. • Clasificación a 1.700 rpm (implemento). 	
Pesos en orden de trabajo	
Mínimo: configuración de alcance	86.275 kg
Máximo: configuración de excavación de gran volumen	92.020 kg
Mando	
Velocidad máxima de desplazamiento	4,5 km/h
Tracción máxima en la barra de tiro	590 kN
Cadena	
Estándar	900 mm
Optativa	750 mm
Optativa	650 mm
Cantidad de zapatas por lado	51
Cantidad de rodillos de cadena por lado	9
Cantidad de rodillos portadores por lado	3
Mecanismo de giro	
Velocidad de giro	6,2 rpm
Par de giro	260 kN·m
Capacidades de llenado de servicio	
Capacidad del tanque de combustible	1.240 L
Sistema de enfriamiento	74 L
Aceite del motor	60 L
Mando de rotación (cada uno)	19 L
Mando final (cada uno)	21 L
Capacidad de aceite del sistema hidráulico (tanque incluido)	997 L
Aceite del tanque hidráulico	813 L
Tanque del DEF	48 L
Sistema hidráulico	
Sistema principal: flujo máximo (total)	
Implemento	952 L/min
Desplazamiento	1.064 L/min
Sistema de rotación: flujo máximo Sin bomba de rotación	
Presión máxima	
Equipo: normal	35.000 kPa
Desplazamiento	35.000 kPa
Rotación	35.000 kPa
Sistema piloto	
Flujo máximo	67 L/min
Presión máxima	4,0 a 4,4 MPa
Cilindro de la pluma	
Calibre	210 mm
Carrera	1.967 mm
Cilindro del brazo	
Calibre	220 mm
Carrera	2.262 mm
Cilindro del cucharón de la familia HB2	
Calibre	200 mm
Carrera	1.451 mm
Cilindro del cucharón de la familia JC	
Calibre	220 mm
Carrera	1.586 mm
Rendimiento firme	
Nivel de presión acústica para el operador ISO 6396	74 dB(A)
Nivel de potencia acústica exterior ISO 6395	109 dB(A)*
<p>* Conforme a la norma de la Unión Europea 200/14/EC, según lo enmendado en 2005/88/EC.</p> <p>• Cuando la instalación y los procedimientos de mantenimiento se han efectuado correctamente, la cabina ofrecida por Caterpillar, probada con las puertas y las ventanas cerradas de acuerdo con la norma ANSI/SAE J1166 OCT 98, cumple con los requisitos de OSHA y MSHA sobre los límites de exposición al ruido para el operador, vigentes en la fecha de fabricación.</p> <p>• Es posible que se requiera protección para los oídos si se opera con una cabina y una estación del operador abiertas (cuando no se han realizado los procedimientos de mantenimiento correctamente o cuando se opera con las puertas y ventanas abiertas) durante periodos prolongados o en ambientes con altos niveles de ruido.</p>	
Normas	
Frenos	SAE J1026/APR90
Cabina/FOGS	SAE J1356/FEB88 ISO 10262

Figura 3. Especificaciones del volquete Mercedes Benz Actros 4144K
(Fuente: Fichas Técnicas Mercedes Benz, 2012)



VOLVO FMX 8X4R VOCACIONAL 380/420/460/500 CV



Volvo Trucks. Acelerando el futuro.

- ✓ 13 LITROS
- ✓ CABINA EXTENDIDA
TECHO NORMAL
- ✓ CAJA I-SHIFT CON SOFT HD
- ✓ AIRBAG
- ✓ EJE CON REDUCTOR
DE CUBOS

DATOS TÉCNICOS

MOTOR
Modelo: VOLVO D13C Euro 5
Características: 12,8 lts, 6 cilindros en línea y 4 válvulas por cilindro.
Unidades individuales de inyector bomba. Sistema de inyección con gerenciamento electrónico.
Potencias: 380 / 420 / 460 / 500 CV (1.400 a 1.900 rpm)
Torques: 1.900 / 2.100 / 2.300 / 2.500 Nm (1.000 a 1.400 rpm)

CAJA DE VELOCIDADES
Modelo: Volvo AT2612F
Tipo: Automatizada sin sincronizados
Sistema: I-Shift con soft HD
Marchas: 12 Velocidades (14,94:1 - 1:1)
Opcional: I-Shift de 14 marchas, 12 + 2 super reducidas (32,04:1 / 19,38:1)

SUSPENSIÓN DELANTERA
Tipo: Ballestas parabólicas con amortiguadores y barra estabilizadora.
Capacidad: 16.000 a 20.000 kg

FRENOS
Tipo: A tambor con ABS, EBS y control de tracción.
Freno auxiliar: Freno de motor VEB a través de válvulas de 410 CV (para 380/420) o VEB+ de 510 CV (para 460/500)
Opcional: Retardador Hidráulico

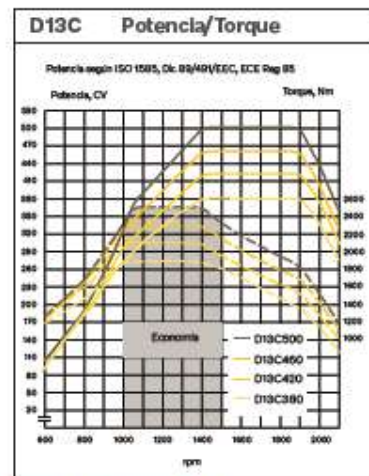
TANQUES DE COMBUSTIBLE
Tipo: Rectangular plástico.
Capacidad: 400 lts (entre ejes 4.350 mm)
Aditivo SCR: Capacidad 32 lts

DIFERENCIAL
Modelo: RTH3210F con red. de cubos.
Relación de reducción: 3,33 / 3,46 / 3,61 / 3,76 / 3,97 / 4,12 / 4,55 / 5,41 / 6,18 / 7,21
Capacidad de arrastrar: 100 Ton*
*Consultar para mayores capacidades
Opcional: RTS2370 sin red. de cubos

SUSPENSIÓN TRASERA
Tipo: Ballestas semielípticas con amortiguadores y barra estabilizadora.
Capacidad: 26.000 a 32.000 kg
Opcional: Parabólica o neumática de 8 fuelles (21.000 a 26.000 kg)

CHASIS
Material: Acero especial LNE60 de alta resistencia y bajo peso, con refuerzo interno.
Altura: 300 mm / Ala: 90 mm
Espesor + refuerzo: 9 + 5 mm
Gancho delantero para remolque de 32 Ton.

NEUMÁTICOS Y LLANTAS
Neumático: 12R20
Llanta: Acero
Opcional: 315/80R22,5 - 325/95R24 - 295/80R22,5



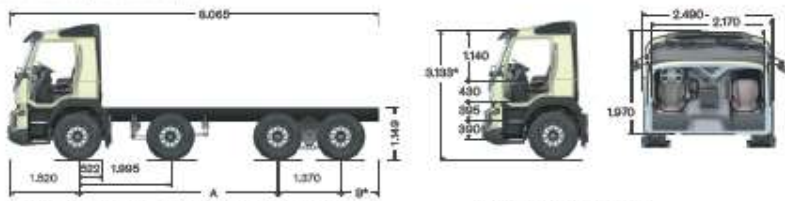
PESOS Y CAPACIDADES (kg)

	Eje delantero	Eje trasero	Total
Capac. 18 bombas	16.000 + 20.000	20.000 + 32.000	27.000 + 52.000
Límite legal	10.000	18.000	28.000
Peso del chasis*	7.155	3.772	10.927

* Peso estimado con 100 lts de combustible, sin chofe y con rueda de auxilio. Bandas de acero, frenos a tambor, cabina extendida techo normal y eje RTH 3210F. Distancia entre ejes 4.350 mm. Para eje sin reductor RTS 2370 testar 150 kg.

MEDIDAS

Cabina FMX: Cabina extendida techo normal, con parasolapas de acero y mayor ángulo de ataque especialmente diseñado para trabajos pesados. Suspensión mecánica. Opcional cabina dormitorio (techo normal o alto).



A: Entre ejes. De 4.350 a 5.600 mm (distancias mayores bajo consulta).
B: Valedad traseo (en función del entre ejes)

*Altura techo normal chasis X-High (varía dependiendo del tipo de chasis y neumáticos utilizados).

Figura 4. Especificaciones Técnicas Volvo.
(Fuente: Fichas Técnicas Volvo FMX)



DESCANSO Y CONFORT

Parasol en parabrisas. Volteo de cabina hidráulico. Cierre de puertas a distancia. Alfombras de goma FMX.

PUESTO DE CONDUCCIÓN

Asiento de lujo con suspensión neumática. Asiento pasajero fijo. Columna de dirección ajustable. Volante con comandos para estéreos y computadora de a bordo. Radio con CD. Display secundario estándar.

CLIMATIZACIÓN

Aire acondicionado manual. Escotilla techo con accionamiento manual. Climatizador de techo opcional.

SEGURIDAD

Cabina de última generación construida bajo el concepto de módulo de supervivencia. Airbag. Control de velocidad cruzado. Luces diurnas de led. Protección de faros delanteros. Cinturones de seguridad rojos. Alarma de marcha atrás.



OPCIONALES

- Salida de escape vertical
- Toma de fuerza de caja/motor
- Configuración 4x4/6x6 (T/R)
- Diferentes distancias entre ejes
- Escalera
- Color de cabina
- Calefactor estacionario de cabina
- Butaca de acompañante doble
- Cabina dormitorio (Techo normal o alto)

CONTRATOS DE MANTENIMIENTO

- PROGRAMA AZUL**
Mantenimiento preventivo básico: 12 meses.
- PROGRAMA AZUL PLUS**
Mantenimiento preventivo completo: 12 meses.
- PROGRAMA ORO**
Mantenimiento preventivo y reparación: 36 meses.

SISTEMA DE GESTIÓN DE FLEET

- DYNAFLEET**
Seguimiento y optimización del desempeño del camión en forma remota.

Fotos no contractuales. Las especificaciones técnicas aquí contenidas pueden ser modificadas sin previo aviso por Volvo Trucks y Buses Argentina S.A. Volvo Trucks y Buses Argentina S.A. define el alcance de los servicios incluidos en cada contrato, así como el alcance y plazo de vigencia de los mismos. Volvo Trucks y Buses Argentina S.A. puede en cualquier momento y sin previo aviso, no continuar ofreciendo estos contratos y/o servicios. La prestación de ciertos servicios depende de la disponibilidad de la red de telecomunicaciones de terceros, la cual no se encuentra bajo el control y responsabilidad de Volvo Trucks y Buses Argentina S.A. Algunos equipamientos son opcionales.

Figura 5. Especificaciones Técnicas Volvo (continuación).

(Fuente: Fichas Técnicas Volvo FMX)

Motor	
Modelo	MB OM-501 LA Euro III, con mando electrónico
Tipo	6 cilindros en "V", turbo cooler
Cilindrada	11.946 cm ³
Potencia máxima (ISO 1585)	320 kW (435 cv) a 1.800 rpm
Par motor máximo (ISO 1585)	2.100 Nm (214 mkgf) a 1.080 rpm
Consumo específico	190,0 g/kWh (139,7 g/cv/h) a 1.200 - 1.400 rpm
Alternador (V/A)	28/80
Batería (cantidad x V/Ah)	2 x 12/165

Transmisión	
Embrague	Ø 400 mm; bidisco seco
Caja de cambios "Mando telligent"	MB G 240 - 16 / 11,7 - 0,69
Marchas	16 adelante - 2 marcha atrás
Toma de fuerza en la caja de cambios (para montaje directo bomba hidráulica)	
Desmultiplicación:	Grupo lento: 1,07 / Grupo rápido: 1,29
Par motor máximo:	400 Nm
Sentido de giro (visto en dirección de marcha):	Contrario al de las agujas del reloj

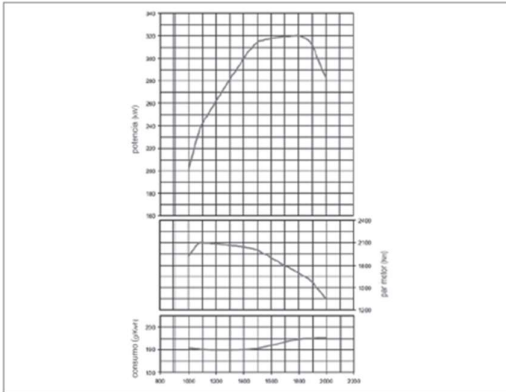
Chasis	
Bastidor - Tipo	Escala
Dimensiones del perfil	270 mm x 70 mm / espesor: 9,5 mm
Material	E 500 TM
Suspensión delantera	Ballestas parabólicas, con amortiguadores telescópicos de doble acción y barra estabilizadora
Suspensión trasera	Ballestas parabólicas, con punto de apoyo central, amortiguadores telescópicos de doble acción y barra estabilizadora
Llantas	Base inclinada 8.50x24.0
Neumáticos	12 R x 24.00
Dirección hidráulica	Dirección LS 8 BK
Tanque de combustible (l)	400 lts acero

Cabinas	
Tipo	Frontal - Simple - Techo normal
Asiento conductor	Individual con base neumática - Cinturón de seguridad de tres puntos
Asiento de acompañante	Individual con base fija - Cinturón de seguridad de tres puntos
Columna de dirección	Regulable en Altura y Profundidad
Volante	Multifunción - Manejo de computadora de abordo y radio
Climatización	Calefacción / Aire acondicionado
Radio	AM / FM / CD
Suspensión de cabina	Dos casquillos amortiguadores delanteros y dos brazos telescópicos traseros
Alzacristales	Eléctricos
Escotilla de techo	Metálica con apertura interior - Diversas posiciones de ajuste
Espesores retrovisores	Eléctricos con desempañador incorporado
Espesores	De Rampa
Cierre de cabina	Centralizado - Eléctrico
Control de velocidad	Máxima / de cruceo

Pesos y Capacidades (kg)	
Vacío sin carrocería, en orden de marcha (1)	Actros 4144K
1er. Eje delantero	3.686
2do. Eje delantero	3.686
1er. Eje trasero	2.057
2do Eje trasero	2.057
Total	11.486
Carga útil máxima (técnica)	36.514
Pesos Admisibles Técnicamente	
1er. Eje delantero	9.000
2do. Eje delantero	9.000
1er. Eje trasero	16.000
2do Eje trasero	16.000
Peso Bruto Vehicular (PBV)	48.000

(1) Chasis con cabina normal, sin carrocería o implemento; con tanque de combustible lleno, rueda de repuesto, extintor de incendios, caja de herramientas.

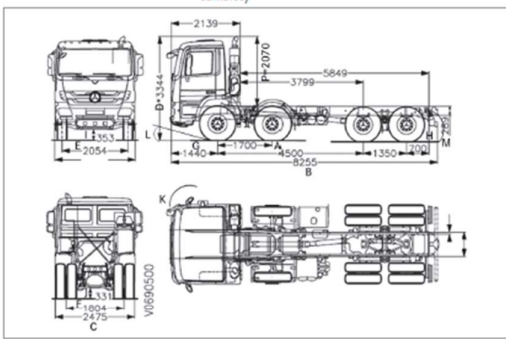
Dimensiones (mm)	
Chasis con cabina, sin carrocería	Actros 4144K
A - Distancia entre ejes (1ro a 2do + 2do a 3ro + 3ro a 4to)	1.700 + 2.800 + 1.350
A - Distancia entre ejes (1ro a 3ro)	4.500
B - Largo Total	8.255
C - Ancho eje trasero	2.475
D - Altura total descargado	3.344
E - Trocha - eje delantero	2.054
F - Trocha - eje trasero	1.804
G - Voladizo delantero	1.440



Ejes	
1er. Eje delantero	MB VL5/01 D-9
2do. Eje delantero	MB VL5/01 D-9
1° eje trasero	MB HD7/05/DGS-16 c/bloqueo
2° eje trasero	MB HL7/057 DS - 16 c/bloqueo
Reducciones	4,00x1,333(28:21) = 5,333:1

Desempeño del vehículo	
Actros 4144K con caja MB G-240 y cubiertas 12R x 24,0	
Reducción	i=5,333 : 1
Velocidad máxima (km/h) - a rpm de potencia máxima	110
Pendientes máximas (movimiento/ arranque): con 33.000 kg (t)	42,8 / 30,8

Frenos	
Freno de Servicio	Neumático doble circuito - Tambor en ruedas delanteras y traseras - Comando y asistencia electrónica (Telligent) con ABS (sistema antibloqueo-desconectable) ASR (control de tracción-desconectable)
Freno de Estacionamiento	Mecánico a través de resorte acumulador, con accionamiento neumático
Actuación	Ruedas traseras
Freno adicional	Freno - Motor y Top Brake
Accionamiento	Electroneumático; puede actuar en conjunto con el freno de servicio
Freno hidrodinámico (opcional)	Retardador Voith R115 HV (aplicado en salida de caja de cambios)



Algunos componentes que se muestran en este folleto son opcionales y sólo pueden obtenerse mediante solicitud especial. Diríjase a su representante Mercedes-Benz. Él tiene la solución específica a sus necesidades de transporte. Con miras al desarrollo tecnológico, Mercedes-Benz Argentina se reserva el derecho de alterar las especificaciones y los diseños sin previo aviso. La tecnología de los productos Mercedes-Benz respeta la calidad del medio ambiente. Fotos no contractuales. Fecha de impresión: MARZO 2012.

Figura 6. Especificaciones Técnicas Mercedes Benz.
(Fuente: Fichas Técnicas Mercedes Benz – Actros)