

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Análisis del match factor en equipos de acarreo para la
mejora del rendimiento operacional de los *draw points*
en taladros largos, 2024**

Xina Mafer Molina Gaspar
Sainer Alex Pariona Morales

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería.
DE : Ing. Javier Carlos Córdova Blancas.
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 22 de Noviembre de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

- **Título:**
"ANÁLISIS DEL MATCH FACTOR EN EQUIPOS DE ACARREO PARA LA MEJORA DEL RENDIMIENTO OPERACIONAL DE LOS DRAW POINTS EN TALADROS LARGOS, 2024".
- **Autores:**
1. XINA MAFER MOLINA GASPAN – EAP. Ingeniería de Minas.
2. SAINER ALEX PARIONA MORALES – EAP. Ingeniería de Minas.

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 18 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (**en caso de elegir "SI"**): 10 SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

ASESOR

Ing. Javier Córdova Blancas

AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer, en primer lugar, a nuestros padres, quienes fueron nuestros pilares en esta travesía.

A nuestras familias, que con su apoyo y ejemplo nos enseñaron a luchar por nuestros sueños.

A nuestros amigos, por estar siempre presentes en los momentos de alegría y en los de dificultad.

A nuestro asesor: Ing. Javier Carlos Córdova Blancas, por su dedicación y guía a lo largo de este proyecto.

DEDICATORIA

Dedicamos esta tesis a Eliseo, Yolanda, Walter y Honorata, nuestros queridos padres, por su amor, paciencia, apoyo incondicional y por inculcarnos los valores de disciplina como también la perseverancia. Este logro es también suyo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ASESOR	ii
AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	xi
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	12
1.1. Planteamiento y formulación del problema	12
1.1.1. Planteamiento del problema	12
1.1.2. Formulación del problema	13
1.2. Objetivos	13
1.2.1. Objetivo general	13
1.2.2. Objetivos específicos	13
1.3. Justificación e importancia	14
1.3.1. Justificación social - práctica	14
1.3.2. Justificación académica	14
1.4. Hipótesis de la investigación	14
1.4.1. Hipótesis general	14
1.4.2. Hipótesis específicas	14
1.5. identificación de las variables	14
1.5.1. Variable independiente	14
1.5.2. Variable dependiente	15
1.5.3. Matriz de operacionalización de variables	15
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	16
2.1 Antecedentes del problema	16
2.1.1 Antecedentes internacionales	16
2.1.2 Antecedentes nacionales	17
2.2 Generalidades de la unidad minera	18
2.2.1 Ubicación de la mina	18
2.2.2 Acceso a la unidad minera	18
2.3 Geología general	19
2.3.1 Geología regional de la unidad minera	19

2.3.2 Geología local-----	19
2.3.3 Geología económica -----	22
2.4 Parámetros operacionales -----	22
2.4.1 Geomecánica de la unidad minera -----	22
2.4.2 Método de minado-----	24
2.5 Bases teóricas -----	24
2.5.1 Parámetros de acarreo, periodo 2023-----	25
2.5.2 <i>Match factor</i> : volquetes y scoops -----	26
2.5.3 Grado de fragmentación posterior a la voladura-----	28
2.5.4 Capacidad efectiva de equipos de carguío y acarreo-----	32
2 Numeración oculta – Estilo Título 2-----	33
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN -----	33
3.1 Método y alcances de la investigación -----	33
3.1.1 Método de la investigación -----	33
3.1.2 Alcances de la investigación-----	34
3.2 Diseño de la investigación -----	34
3.3 Población y muestra-----	34
3.3.1 Población -----	34
3.3.2 Muestra -----	34
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos-----	34
3.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos -----	34
3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos-----	35
CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	36
4.1 Análisis de los parámetros operacionales-----	36
4.2 Análisis de la granulometría: periodo base y optimizado -----	43
4.3 Análisis de la capacidad efectiva: carguío y acarreo-----	50
4.4 Análisis del <i>match factor</i> : scoops 4.2 yd ³ y volquetes 12 m ³ -----	51
4.5 Validación de la hipótesis -----	53
CONCLUSIONES -----	58
RECOMENDACIONES -----	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	61
ANEXOS -----	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de matriz de operacionalización de variables	15
Tabla 2. Accesibilidad a la unidad minera.....	19
Tabla 3. Propiedades de la caja y estructura mineralizada.....	22
Tabla 4. Variables operacionales, zona Yessica	25
Tabla 5. Análisis de variables operacionales, Tj 535 – Nv 4480.....	39
Tabla 6. Análisis de variables operacionales, Tj 420 – Nv 4480, febrero	40
Tabla 7. Análisis de variables operacionales, Tj 420 – Nv 4480, marzo.....	41
Tabla 8. Resumen de variables operacionales, periodo base y optimizado	42
Tabla 9. Resumen de análisis de la granulometría, periodo base y optimizado.....	49
Tabla 10. Parámetros operacionales, equipos de carguío y acarreo.....	50
Tabla 11. Capacidad efectiva de equipos de carguío (scoops 4.2 yd ³)	51
Tabla 12. Match factor: scoops 4.2 yd ³ – volquetes 12 m ³	52
Tabla 13. Variables operacionales de carguío y acarreo.....	53
Tabla 14. Análisis de la granulometría, Tj 535 y Tj 402	55
Tabla 15. Validación match factor: scoops 4.2 yd ³ – volquetes 12 m ³	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la unidad minera	18
Figura 2. Estratigrafía de la unidad minera.....	20
Figura 3. Geología local de la unidad minera.	21
Figura 4. Zonificación geomecánica de la estructura principal	23
Figura 5. Método de minado bench and fill.....	24
Figura 6. Parámetros de acarreo, periodo 2023, unidad minera.....	26
Figura 7. Especificaciones de Scoop R1300G, marca Caterpillar	27
Figura 8. Especificaciones de Volquetes FMX, marca Volvo	28
Figura 9. Flujo del proceso de fragmentación post voladura.....	29
Figura 10. Granulometría post voladura, Nv 4480	30
Figura 11. Material de 23.10 cm., post voladura, Nv 4480.....	31
Figura 12. Material de 30.10 cm., post voladura, Nv 4480.....	31
Figura 13. Área de estudio, Tj 402, Nv 4480.....	37
Figura 14. Área de estudio, Tj 535, Nv 4480.....	38
Figura 15. Resumen de toneladas programadas y ejecutadas	42
Figura 16. Resumen de toneladas acarreadas y número de cucharas.....	42
Figura 17. Granulometría post voladura Tj 535, Nv 4480 escenario base (enero)	43
Figura 18. Análisis granulométrico Tj 535, Nv 4480 escenario base (enero).....	44
Figura 19. Perfil granulométrico Tj 535, Nv 4480 escenario base (enero).....	44
Figura 20. Granulometría post voladura Tj 402, Nv 4480 escenario optimizado(febrero).....	45
Figura 21. Análisis granulométrico Tj 402, Nv 4480 escenario optimizado (febrero)	46
Figura 22. Perfil granulométrico Tj 402, Nv 4480 escenario optimizado (febrero)	46
Figura 23. Granulometría post voladura Tj 402, Nv 4480 escenario optimizado(marzo)	47
Figura 24. Análisis granulométrico Tj 402, Nv 4480 escenario optimizado (marzo).....	48
Figura 25. Perfil granulométrico Tj 402, Nv 4480 escenario optimizado (marzo).....	48
Figura 26. Capacidad efectiva de equipos de carguío (scoops 4.2 yd ³)	51
Figura 27. Match factor: scoops 4.2 yd ³ – volquetes 12 m ³	52
Figura 28. Validación hipótesis: toneladas por cuchara programado y ejecutado	54
Figura 29. Validación hipótesis: N° cucharas/día y toneladas promedio.....	54
Figura 30. Validación hipótesis: granulometría y porcentaje pasante	55
Figura 31. Validación hipótesis: granulometría y factor de llenado	55
Figura 32. Validación match factor: scoops 4.2 yd ³ y volquetes 12 m ³	56

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de investigación es encontrar la relación de dimensionamiento de los equipos de carguío (scoops 4.2 yd³) y los equipos de acarreo (volquete 12 m³). El presente estudio consideró determinar el análisis del *match factor* para la mejora del rendimiento operacional (tonelaje acarreado) de los diferentes *draw points* de los tajos minados. El presente estudio relacionará el *match factor* entre equipos de carguío y acarreo utilizados en la unidad minera, relacionando con variables operacionales como distancia, tonelaje acarreado, número de cucharas, granulometría, capacidad efectiva, número de pases, etc. El estudio es inductivo – deductivo, para lo cual se analizará las variables operacionales relacionándola con el grado de fragmentación, definiendo la capacidad efectiva de los equipos de carguío y relacionar con el tonelaje acarreado para determinar el *match factor* asociado durante los periodos base (enero) y optimizado (febrero y marzo). El análisis de las variables operacionales realizadas durante las etapas base y optimizada consideran el incremento de números de cucharas de 28.59 a 34.62 diarias, incrementando en 6.03 cucharas/día, este mayor tonelaje en el scoop incrementa el tonelaje acarreado de 24.80 t/viaje a 25.18 t/viaje, con un incremento de 0.38 t/viaje, producto del control de la granulometría. Los resultados de la granulometría demuestran que hubo una reducción de 43.39 a 17.71 cm en los periodos base y optimizado, disminuyendo el tamaño pasante de 30 a 20 cm y mejorando el porcentaje pasante de 57.71 % a 88.90 %, incrementando el factor de llenado del 80 % al 85 %, mejorando la capacidad efectiva de los equipos de carguío e incrementando el tonelaje acarreado de 24.80 t/viaje a 25.18 t/viaje. El análisis del *match factor* entre los scoops de 4.2 yd³ y volquetes de 12 m³, es de 5 pases (periodo base) y de 3 pases (periodo optimizado), siendo el óptimo entre 3 y 4 pases, por lo que el escenario optimizado considera un mejor match entre los equipos de carguío y acarreo de la empresa MCEISA.

Palabras clave: match factor, granulometría, número de cucharas, tonelaje acarreado, capacidad efectiva, porcentaje pasante, etc.

ABSTRACT

The objective of this research work is to find the sizing relationship of the loading equipment (4.2 yd³ scoops) and the hauling equipment (12 m³ dump truck). The present study considered determining the match factor analysis for the improvement of the operational performance (tonnage carried) of the different draw points of the mined pits. The present study will relate the match factor between loading and hauling equipment used in the mining unit, relating it to operational variables such as distance, tonnage carried, number of buckets, granulometry, effective capacity, number of passes, etc. The study considered is inductive – deductive, for which the operational variables will be analyzed relating them to the degree of fragmentation, defining the effective capacity of the loading equipment and relating it to the tonnage carried, to determine the associated match factor, during the base (January) and optimized (February and March) periods. The analysis of the operational variables carried out during the base and optimized stages considers the increase in the number of buckets from 28.59 to 34.62 per day, increasing by 6.03 buckets/day. This greater tonnage in the scoop increases the tonnage carried from 24.80 t/trip to 25.18 t/trip, with an increase of 0.38 t/trip, due to the control of the granulometry. The results of the granulometry show that there was a reduction from 43.39 to 17.71 cm in the base and optimized periods, decreasing the passing size from 30 to 20 cm, and improving the passing percentage from 57.71 % to 88.90 %, increasing the filling factor from 80 % to 85 %, improving the effective capacity of the loading equipment and increasing the tonnage transported from 24.80 ton/trip to 25.18 ton/trip. The analysis of the match factor between the 4.2 yd³ scoops and 12 m³ dump trucks is 5 passes (base period) and 3 passes (optimized period), the optimum being between 3 and 4 passes, so the optimized scenario considers a better match between the loading and hauling equipment of the MCEISA company.

Keywords: match factor, particle size distribution, number of buckets, tonnage carried, effective capacity, passing percentage, etc.

INTRODUCCIÓN

El cumplimiento del plan de minado en una operación minera considera el cumplimiento del tonelaje a producir con las leyes a procesar, las horas máquina a utilizar, la granulometría, etc. para medir el rendimiento de los equipos asociados en los diferentes frentes de producción.

El presente estudio relacionará el *match factor* o factor de acoplamiento entre los equipos de carguío y de acarreo utilizados en la unidad minera, relacionando con variables operacionales como tonelaje acarreado, número de cucharas, granulometría, capacidad efectiva, etc.

Asimismo, para determinar el *match factor* o factor de acoplamiento entre los scoops de 4.2 yd³ y volquetes de 12 m³, se considera la influencia que genera el grado de fragmentación con la capacidad efectiva de los equipos, ver su tonelaje asociado y su relación con el número de cucharas (número de pases) relacionado, determinando la influencia en el rendimiento de los draw points, de los tajos minados.

La investigación aplica el análisis de los equipos de la empresa MCEISA en los diferentes *draw points* (cámaras) de los tajos Tj 535 y Tj 402 del Nv 4480, de la mina Bienaventurada.

El estudio se describe en cuatro capítulos. El Capítulo I plantea los problemas, objetivos e hipótesis general y específicos los cuales relacionan el *match factor* de los equipos de acarreo de la empresa MCEISA para la mejora del rendimiento en los *draw points*. El Capítulo II desarrolla las bases teóricas del estudio, así como las generalidades del proyecto minero y los antecedentes asociados al estudio. En el Capítulo III se explica la metodología del trabajo a desarrollar, describiendo la muestra y población a ser trabajada. Finalmente, en el Capítulo IV se analiza e interpreta los resultados obtenidos, dando solución a los problemas expuestos.

Los autores

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

El uso de métodos de minado con taladros largos involucra inversiones mayores en el desarrollo de infraestructura para su explotación, por tal motivo es de vital importancia controlar los parámetros operacionales y económicos para maximizar la rentabilidad operacional.

El uso de taladros largos en los diferentes tajos preparados involucra un alto tonelaje de mineral a extraer, considerando los parámetros operacionales en los procesos unitarios de carguío y acarreo.

La optimización o reducción de costos del mineral posvoladura en los *draw points* está directamente relacionado a variables como tonelaje, número de cucharas, granulometría, capacidad efectiva, match factor, etc.

Al desarrollar el presente trabajo de investigación se analizará los parámetros operacionales de scoops y volquetes para la mejora del rendimiento operacional en los *draw points* en taladros largos aplicado considerando el *match factor* entre equipos de carguío y acarreo en la unidad minera.

Los resultados posvoladura en taladros largos están relacionados directamente a variables que involucran el rendimiento de los scoops como la granulometría (factor de llenado), distancia, número de viajes, el tonelaje, consumo de combustible, número de cucharas, etc., los que incidirán directamente en los costos operacionales.

Para realizar un análisis de las horas efectivas operacionales se deberá entender en el comportamiento de las diferentes actividades asociadas a los procesos unitarios de carguío y acarreo, los que identificarán la pérdida de tiempo operacional en scoops y dumpers..

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Cómo mejorar el rendimiento operacional de los *draw points* en taladros largos mediante el análisis del *match factor* en equipos de acarreo, 2024?

1.1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Cómo influye el análisis de los parámetros operacionales en scoops y volquetes para la mejora del rendimiento operacional de los *draw points* en taladros largos, 2024?
- b) ¿Cuál es la influencia de la granulometría post voladura en el rendimiento operacional en los equipos de acarreo considerando el factor de llenado en los *draw points* en taladros largos, 2024?
- c) ¿Cómo influye el *match factor* entre scoops y volquetes para la mejora del rendimiento operacional de los *draw points* en taladros largos, 2024?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar la mejora del rendimiento operacional de los *draw points* en taladros largos mediante el análisis del *match factor* en equipos de acarreo, 2024.

1.2.2. Objetivos específicos

- a) Determinar la influencia del análisis de los parámetros operacionales en scoops y volquetes para la mejora del rendimiento operacional de los *draw points* en taladros largos, 2024.
- b) Determinar la influencia de la granulometría posvoladura en el rendimiento operacional en los equipos de acarreo considerando el factor de llenado en los *draw points* en taladros largos, 2024.
- c) Determinar la influencia del *match factor* entre scoops y volquetes para la mejora del rendimiento operacional de los *draw points* en taladros largos, 2024.

1.3. Justificación e importancia

El desarrollo del presente trabajo considera la relación o factor de acoplamiento entre equipos de carguío y acarreo, los cuales ayudarán a entender el comportamiento de la mejora del rendimiento operacional en los draw points.

1.3.1. Justificación social - práctica

Los resultados obtenidos ayudarán a realizar mejores inversiones en proyectos productivos, mejorando la calidad de vida de las comunidades aledañas al proyecto minero.

1.3.2. Justificación académica

Se aplicará modelos numéricos que ayudarán a entender el comportamiento del *match factor* entre los equipos de carguío y acarreo, los que ayudarán a la mejora del rendimiento de extracción de mineral en los *draw points*. Así mismo, servirá como guía para realizar estudios comparativos con estudios similares y que los estudiantes y académicos puedan utilizar como herramienta de análisis.

1.4. Hipótesis de la investigación

1.4.1. Hipótesis general

Al determinar el análisis del match factor en equipos de acarreo influye en la mejora del rendimiento operacional de los draw points en taladros largos, 2024.

1.4.2. Hipótesis específicas

- a) Al determinar el análisis de los parámetros operacionales en scoops y volquetes influye en la mejora del rendimiento operacional de los *draw points* en taladros largos, 2024.
- b) Al determinar la influencia de la granulometría posvoladura influye en el rendimiento operacional en los equipos de acarreo considerando el factor de llenado en los *draw points* en taladros largos, 2024.
- c) Al determinar el *match factor* entre scoops y volquetes influye en la mejora del rendimiento operacional de los *draw points* en taladros largos, 2024.

1.5. Identificación de las variables

1.5.1. Variable independiente

Mejora del rendimiento operacional de los draw points en taladros largos.

1.5.2. Variable dependiente

Análisis del match factor entre scoops y volquetes en cámaras de carguío.

1.5.3. Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1. Tabla de matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Definición operacional		
		Dimensiones	Subdimensiones	Indicadores
VI:				
Mejora del rendimiento operacional de los draw points en taladros largos.	La mejora del rendimiento operacional de los draw points en taladros largos, involucra el cumplimiento de los planes de producción programados en la unidad minera.	• Departamento de geología	Parámetros geológicos	Yacimiento, alteraciones, leyes, etc.
		• Departamento de geomecánica	Parámetros geomecánicos	Propiedades macizo rocoso, densidad, etc.
		• Departamento de operaciones	Parámetros operacionales	Plan de producción, leyes, rendimiento, etc.
VD:				
Análisis del match factor entre scoops y volquetes en cámaras de carguío.	El análisis del match factor, involucra el adecuado dimensionamiento de los equipos de carguío con los equipos de acarreo, para medir y controlar el rendimiento de los equipos.	• Parámetros de match factor.	Operativos	Tonelaje, número pases, densidad, etc.
		• Parámetros de rendimiento de equipos.	Técnicos	Grado de fragmentación, factor de llenado, capacidad efectiva, etc.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

2.1.1 Antecedentes internacionales

- ✓ Tesis titulada: «*Modelo de optimización de un sistema pala camión en una mina de carbón a cielo abierto*». El objetivo fue definir un algoritmo que pueda optimizar la pérdida de tiempos en sistemas pala – camión. La incertidumbre genera la pérdida de tiempos operacionales en el ciclo de acarreo, considerando las diferentes actividades asociadas a estos procesos. El estudio tiene en cuenta las variables asociadas a los viajes con carga y viajes de retorno sin carga, analizando cada una de las actividades asociadas y su influencia en la pérdida de tiempo operacional. Los cuales permitan una adecuada repuesta en la toma de decisiones en la planificación de corto plazo y como consecuencia la mejora de la productividad. Los resultados obtenidos consideran tiempos mínimos de 1.30 min y máximos de 5.30 min en ciclo asociado, generando una mejora en el rendimiento de 51.75 bcm/h., considerando el análisis y control de las velocidades de acarreo (1).

- ✓ Tesis titulada: «*Selección y asignación óptima de equipos de carguío para el cumplimiento de un plan de producción en minería a cielo abierto*». En la investigación se busca asignar los equipos de carguío en un banco determinado, permitiendo un mejor rendimiento en el proceso de carguío y acarreo. El análisis de los diferentes indicadores operacionales considera la disponibilidad, utilización y diseño operacional en el proceso de extracción de mineral de los diferentes bancos para la adecuada asignación de los equipos de carguío y acarreo. El resultado permitió considerar una metodología, donde se asignó los equipos de carguío en los diferentes bancos de producción, considerado en el planeamiento de corto plazo, controlando las restricciones operacionales, optimizando tiempo y costos (2).

2.1.2 Antecedentes nacionales

- ✓ Tesis titulada: «*Estudio del cálculo de flota de camiones para una operación minera a cielo abierto*». La investigación considera el cálculo del número óptimo de camiones para el acarreo de mineral y desmonte de la unidad operativa a tajo abierto San Gerardo. Para esto, se describe el planeamiento de minado y la explotación del proyecto, considerando el flujo de caja durante la producción anual y su evaluación económica respectiva. Los parámetros evaluados consideran la distancia, tiempo de carguío, factor de llenado, tiempo de descarga, gradiente, resistencia a la rodadura, etc. Los resultados obtenidos asociados al programa de producción mensual consideran un incremento de 66,257.67 a 90,000 t de mineral y de desmonte de 420,540 a 523,250 t., y considerando un total de camiones de 12 unidades para mineral y desmonte (3).

- ✓ Tesis titulada: «*Análisis de los factores operacionales y su influencia en la productividad del proceso de transporte de mineral y desmonte en el Nv 4025 de la Compañía Minera Argentum, UEA Codiciada 2019*». El objetivo es el análisis de los indicadores de operación en los equipos de acarreo de mineral y desmonte. El desarrollo del trabajo realiza el análisis de tiempos asociados en el ciclo de carguío y acarreo, así como su velocidad asociada con carga y sin carga, tonelaje acarreado, el consumo de combustible y sus costos asociados. Los resultados obtenidos en el presente estudio fueron: el tiempo efectivo en 4,290.0 h/mes. Así mismo, el tonelaje planeado fue de 105,000 t/mes y el ejecutado de 93,596 t/mes, considerando su valorización programada de 250,000 US\$/mes y el ejecutado de 198,276 US\$/mes, siendo la pérdida de tiempo de espera y de mantenimiento los que influyen en los resultados (4).

- ✓ Tesis titulada: «*Producción real vs. producción potencial de equipos de carguío y acarreo y aplicación del match factor para determinar el número óptimo de volquetes mina Arasi*». El objetivo fue determinar la asignación de unidades de acarreo a los equipos de carguío, mediante el análisis del *match factor* con la finalidad de maximizar la producción. El estudio considera los puntos de carguío como el tajo Yesica, BC4888 hacia los puntos de descarga la planta de chancado, considerando como equipos de carguío un cargador 980 G y como equipos de acarreo un total de 14 unidades, de modelo Scania – P460. El resultado permitió el uso adecuado de dimensionamiento en 13 unidades de acarreo, permitiendo un mejor uso de los equipos de acarreo y determinando el sobre dimensionamiento de flota (5).

Tabla 2. Accesibilidad a la unidad minera

TRAMO	DIST. (kms)	TIEMPO (hr)	VÍA
Lima – Pisco – Unidad minera	443	9:0	asfaltado /afirmado
Lima – Pisco – Unidad minera	461	10:0	asfaltado /afirmado
Lima – Huancayo – Unidad Minera	443	9:0	asfaltado /afirmado

Tomada del Área Geología

2.3 Geología general

2.3.1 Geología regional de la unidad minera

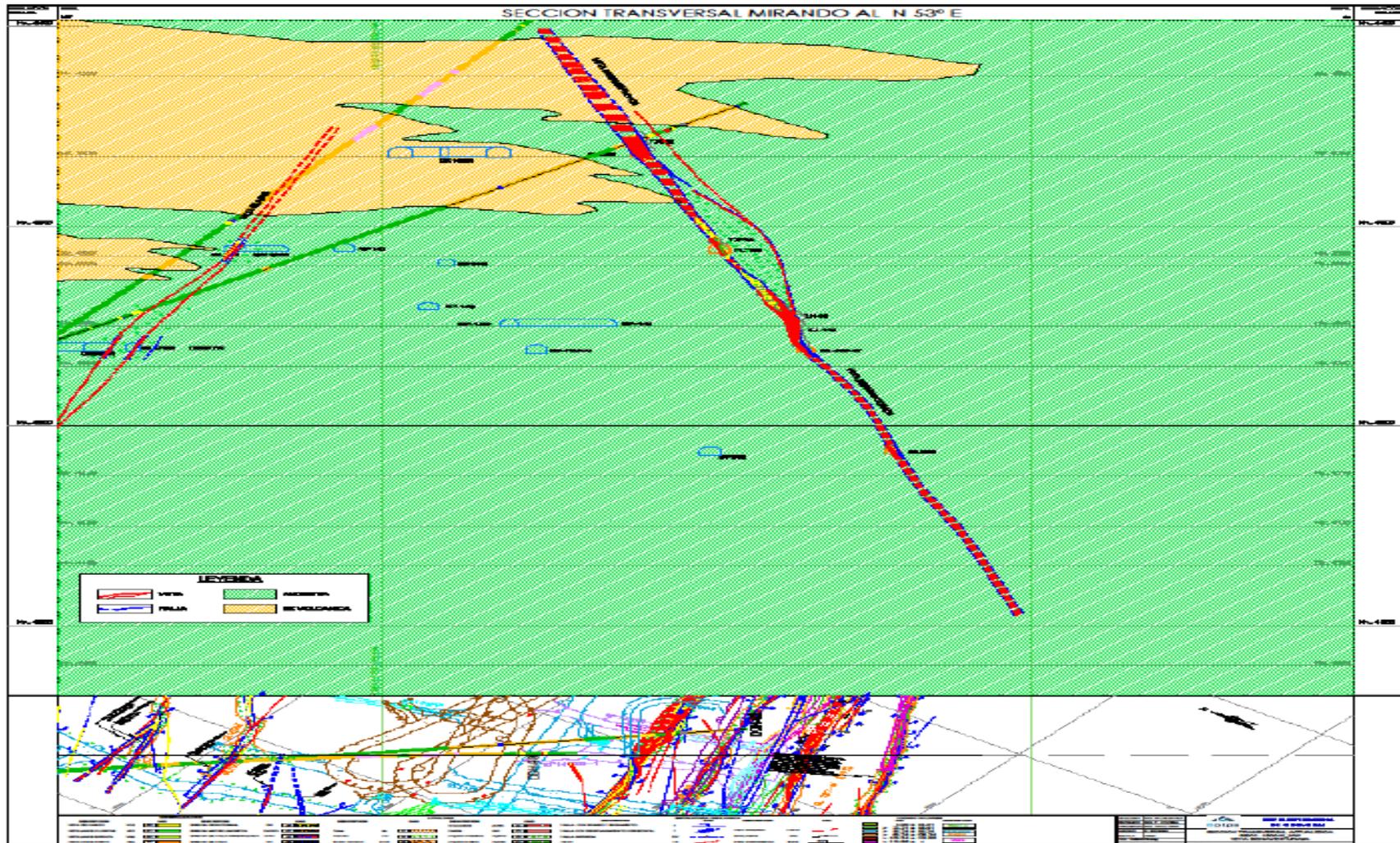
La mina está relacionado al distrito minero de Huachocolpa, donde se emplazan rocas sedimentarias, volcánicas e ígneas, formando yacimientos epitermales y skarn. Las rocas sedimentarias están asociadas al grupo Pucará, compuestas por las formaciones Chambará, Aramachay y Condorsinga del jurásico, areniscas del grupo Goyllarisquizga y rocas volcánicas del terciario de la formación Caudalosa.

2.3.2 Geología local

Localmente, las estructuras mineralizadas están emplazadas en rocas andesíticas y dacíticas, así como zonas de brecha riolíticas.

ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	POT.	LITOLOGIA	DESCRIPCION
CENOZOICO	CUATERNARIO	Holoceno	Depósitos Aluviales			... Clastos redondeados de tamaños variables de matriz areno-limosa.
		Pleistoceno	Depósitos Fluvioglaciales			... Limoarcillitas y gravas débilmente compactadas.
	NEOGENO	Mioceno	GRUPO HUACHOCOLPA Fm. Caudalosa & Apacheta			... Lavas andesíticas, hasta riocálticas, tobas soldadas gris verdosas, brechas de naturaleza andesítica, con diques de hipabisales de naturaleza latítica, latita cuarcífera.
			Complejo Manchaylla	180 m.		
			Complejo Tinquí	300 m.		... Lavas andesíticas, intercaladas con bancos de latita cuarcífera, brechas andesíticas, atravesadas por hipobisales recientes de tipo latítico.
			Complejo Chosecc			... Lavas andesíticas, intercaladas con bancos de latitas, atravesadas por hipobisales de naturaleza latítica.

Figura 2. Estratigrafía de la unidad minera
Tomada del Área Geología



*Figura 3. Geología local de la unidad minera.
Tomada del Área Geología*

2.3.3 Geología económica

El yacimiento está asociado a ambientes epitermales en rocas volcánicas, generando estructuras polimetálicas de Zn, Pb, Ag y Cu filonianos.

Las estructuras principales tienen longitudes reconocidas desde 900 a 5000 metros siendo las principales:

- Veta bienaventurada (Zn, Pb, Ag (Cu)) > a 5000 metros.
- Veta Rublo – Chonta (Zn, Pb) con 2050 metros.
- Veta Caudalosa (Zn, Pb, Ag) con 1590 metros.
- Veta Galena (Pb, Zn) con 960 metros.
- Veta Ollanta (Zn, Pb, Ag) con 700 metros.

Las estructuras mineralizadas tienen anchos de 0.40 a 6.10 metros con rumbo promedio NE, asociados a un control litológico siendo las más favorables para la mineralización las rocas volcánicas andesíticas y andesitas porfiríticas.

2.4 Parámetros operacionales

2.4.1 Geomecánica de la unidad minera

Los rangos del RMR considera rangos en la caja techo de 23 a 72, con calidades de roca de II a IVB (buena - mala B), en la caja piso de 25 a 61 con calidades de roca de II a IVB (buena - mala B) y en la estructura mineralizada de 24 a 54 con calidades de roca de IIIA a IVB (regular A - mala B).

Tabla 3. Propiedades de la caja y estructura mineralizada

Litología	Rango RMR	Calidad
Caja techo alejada	34 – 72	IVA, IIIB, IIIA y II
Caja techo inmediata	23 – 56	IVB, IVA, IIIB y IIIA
Estructura mineralizada	24 – 54	IVB, IVA, IIIB y IIIA
Caja piso inmediata	25 – 52	IVB, IVA, IIIB y IIIA
Caja piso alejada	43 – 61	IIIB, IIIA y II

Tomada del Área Geomecánica

2.4.2 Método de minado

Los métodos de minado aplicados en la unidad minera, de acuerdo a sus propiedades geomecánicas, geológicas, geotécnicas, operacionales y económicas, son el *cut and fill* y el *bench and fill* con taladros largos. En el caso de taladros largos, se considera dimensiones de 200 x 100 de los tajos a ser minados, teniendo en cuenta alturas de subniveles o bancos de 8.0 a 10.0 m. Las labores de avance o profundización consideran rampas de acceso y crucero de 3 x 3 m y ventanas de similar sección con longitudes de 8 m, así mismo la sección de las chimeneas de carguío (ore pass) tienen secciones de 1.80 x 1.80 m, con longitudes de 45.0 a 90.0 m de acuerdo a las características de las estructuras mineralizadas y el macizo rocoso.

El relleno utilizado es el detrítico, los que son aportados de los diferentes frentes de desarrollo y acumulados en diferentes cámaras de acumulación de desmonte. El sistema de ventilación se desarrollan chimeneas de 80 m con Rise Climber.

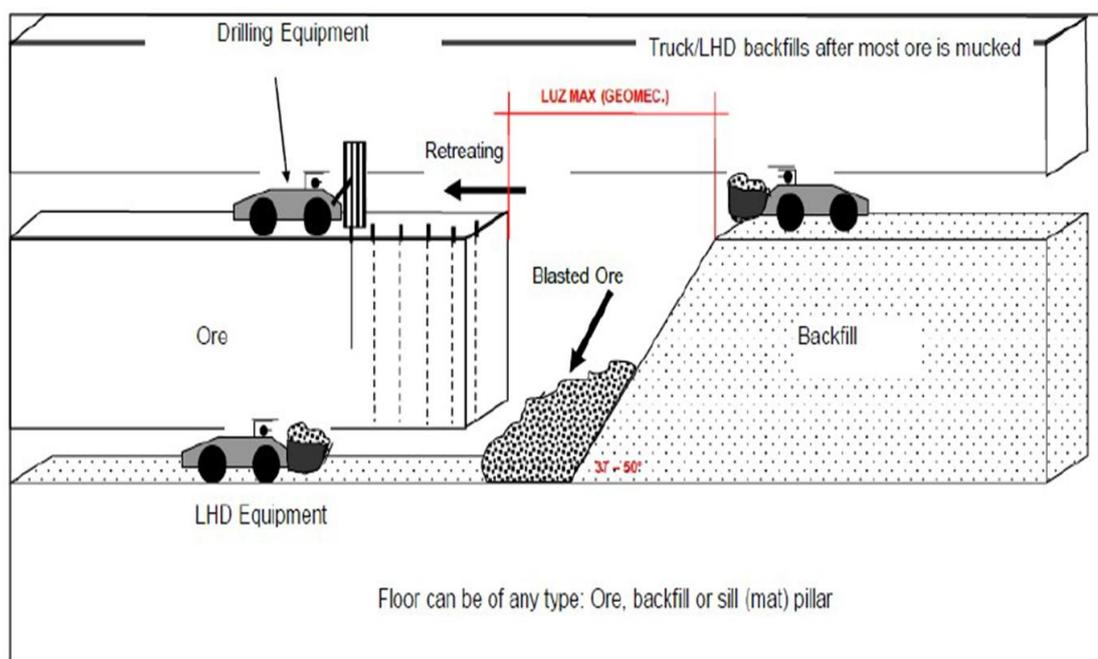


Figura 5. Método de minado bench and fill
Tomada del Área Geomecánica

La limpieza de material a control remoto considera scoops de 2.2, 3.5 y 4.2 yd³ y volquetes de 12.0 m³ de capacidad, así mismo, se considera el uso de los mismos equipos para el acarreo de desmonte para el relleno en los tajos.

2.5 Bases teóricas

El cumplimiento de los planes de minado en una operación minera considera el cumplimiento del tonelaje programado, las leyes asociadas, las horas máquina a utilizar, etc.,

por lo que, los rendimientos de los equipos planificados influyen directamente en la rentabilidad operacional.

El presente estudio relacionará el *match factor* entre equipos de carguío y acarreo utilizados en la unidad minera, vinculando con variables operacionales como distancia, tonelaje acarreado, número de cucharas, etc.

Así mismo, para determinar el *match factor* o factor de acoplamiento entre los scoops y volquetes, se considera la influencia que genera el grado de fragmentación con la capacidad efectiva de los equipos, ver su tonelaje asociado y su relación con el número de cucharas (número de pases) relacionado, determinando la influencia en el rendimiento de los *draw points*, de los tajos minados.

2.5.1 Parámetros de acarreo, periodo 2023

Durante el análisis del periodo 2023, se considera la variabilidad del tonelaje acarreado, las horas máquina, el kilometraje y el número de viajes, en equipos de acarreo, volquetes Volvo FMX de 12 m³.

Tabla 4. Variables operacionales, zona Yessica

PARÁMETROS DE ACARREO - PERIODO 2023				
MCEISA				
Mes	Tonelaje	Horas Máquina	Kilometraje	Número Viajes
Jun	49,055.50	5,052.15	28,934.42	1,360.00
Jul	37,581.72	5,461.86	27,262.80	1,420.00
Ago	47,953.29	5,188.82	28,027.52	1,155.00
Set	61,214.53	5,071.16	29,664.70	1,220.00
Total	195,805.03	20,773.99	113,889.44	5,155.00
Promedio	48,951.26	5,193.50	28,472.36	1,288.75

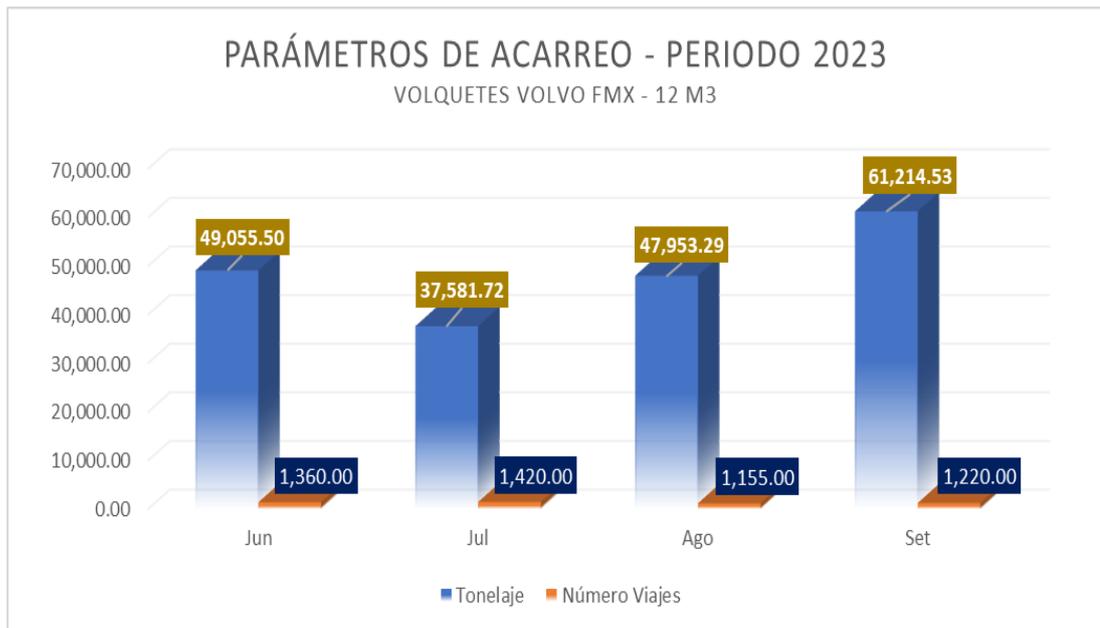


Figura 6. Parámetros de acarreo, periodo 2023, unidad minera

El tonelaje promedio durante los periodos junio a setiembre del 2023 fue de 49,055 toneladas mensuales y un promedio de 1,288 viajes mensual, en una distancia promedio de 28 kilómetros en el *layout* de acarreo.

Esta variabilidad en el número de viajes y tonelaje asociado permitirá realizar un estudio asociado a los parámetros operacionales de acarreo, considerando el grado de fragmentación y el *match factor* entre los scoops y volquetes asociados a la extracción de material en la unidad minera.

2.5.2 Match factor: volquetes y scoops

El *match factor* es el número total de unidades de acarreo (volquetes) que son asignados a los equipos de carguío (scoops) para cumplir con el plan de minado de la unidad minera (tonelaje, horas máquina, leyes, etc). Los equipos de limpieza a evaluar son el scoop R1300G de 4.2 yd³ de marca Caterpillar y equipos de acarreo FMX de 12.0 m³ de marca Volvo. Las consideraciones del match factor se define como:

MF < 1 (Exceso de equipos de carguío o limpieza - scoop)

MF > 1 (exceso de equipos de acarreo – camiones)

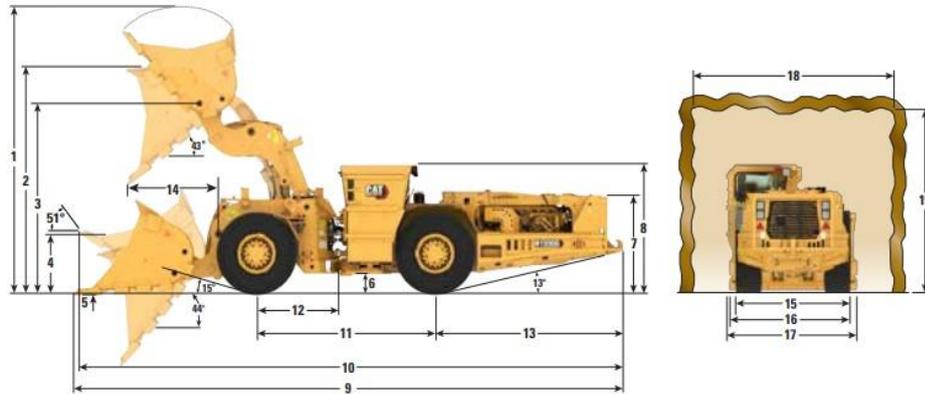
MF = 1 (Acoplamiento perfecto)

a) Scoops R1300G de 4.2 yd³ – Marca Caterpillar

Especificaciones del Cargador Subterráneo para Minería R1300G

Dimensiones

Todas las dimensiones son aproximadas.



Capacidades del cucharón

Cucharón del camión: 1	2,5 m ³	3,2 yd ³
Cucharón del camión: 2	2,8 m ³	3,7 yd ³
Cucharón de descarga: 3 (cucharón estándar)	3,1 m ³	4,1 yd ³
Cucharón del camión: 4	3,4 m ³	4,4 yd ³
Cucharón expulsor	2,4 m ³	3,1 yd ³

Dimensiones de giro

Radio de espacio libre exterior	5.717 mm	225,1"
Radio de espacio libre interior	2.825 mm	111,2"
Oscilación del eje	10°	
Ángulo de articulación	42,5°	

*Figura 7. Especificaciones de Scoop R1300G, marca Caterpillar
Tomada de Scene7.com*

Los equipos de limpieza o carguío utilizado en el área de estudio, considera scoops de 4.2 yd³, modelo R1300G de marca Caterpillar de propiedad de la empresa, los cuales serán relacionados con los equipos de acarreo y determinar su *match factor*.

b) Volquetes FMX de 12 m³ – Marca Volvo

FMX 6x4R



Dimensiones (mm)*							
A - Entre ejes	3.400	3.700	4.300	4.600	4.900	5.200	5.600
B - Voladizo trasero	825	825	2.375	2.525	2.675	2.675	3.075
C - Distancia eje delantero - Equipo (min.)	573/971**						
Radio de giro	7.300	7.700	8.700	9.100	10.000	10.500	11.100
*Cálculo teórico entre cunetas.							
Pesos (kgf)**							
Tara del eje delantero	4.730	4.751	4.794	4.815	4.842	4.854	4.886
Tara del eje trasero	4.252	4.280	4.356	4.390	4.439	4.480	4.531
Tara total del chasis	8.982	9.031	9.150	9.258	9.281	9.334	9.417

** Estimativa teórica con vehículo estándar, motor D13A400, suspensión neumática, caja AT2612F (I-Shift), CAB-DAY. Tolerancia 3%.

Figura 8. Especificaciones de Volquetes FMX, marca Volvo Tomada de Lemaqperu.com

Los equipos de acarreo utilizados en el área de estudio consideran volquetes de 12.0 m³, modelo FMX de marca Volvo de propiedad de la empresa MCEISA, el cual será evaluado para determinar el óptimo de factor de acoplamiento con el equipo de limpieza o carguío Scoop R1300G.

2.5.3 Grado de fragmentación posterior a la voladura

La productividad de equipos de carguío y acarreo es directamente proporcional a su capacidad de carga e inversamente proporcional al tiempo de ciclo. Durante el presente estudio, definiremos la capacidad de carga efectiva, el cual está relacionada con el factor de llenado.

El factor de llenado es dependiente del grado de fragmentación posvoladura, por lo que influye en la capacidad efectiva de los equipos de carguío y acarreo.

El material cargado y acarreado influye directamente en el rendimiento de los equipos, por lo que es importante controlar el material posvoladura. Así mismo, la variabilidad de la granulometría afecta al proceso de chancado y molienda, generando mayor consumo de energía, afectando el proceso mina y planta.

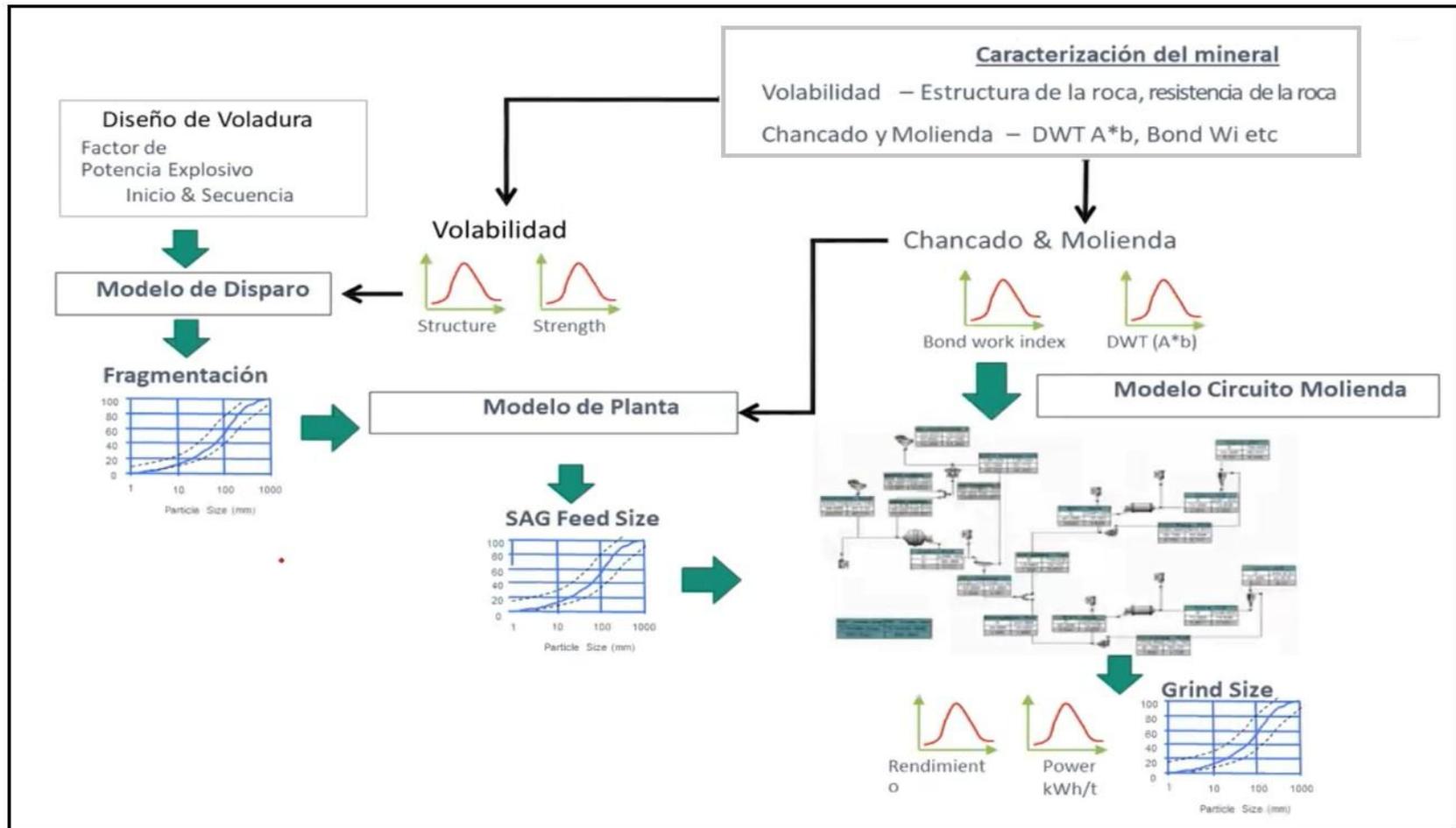


Figura 9. Flujo del proceso de fragmentación post voladura
Tomada del Curso perspectiva mine to mill en PyV

La variabilidad de la granulometría posterior a la voladura, generada en los diferentes frentes de desarrollo y producción en la unidad minera, afectará directamente en la capacidad efectiva de los equipos de carguío y acarreo. Esta variabilidad granulométrica incide directamente en el tonelaje cargado y transportado, incidiendo directamente en el rendimiento operacional.



Figura 10. Granulometría post voladura, Nv 4480



Figura 11. Material de 23.10 cm., post voladura, Nv 4480



Figura 12. Material de 30.10 cm., post voladura, Nv 4480

De acuerdo a lo mencionado en el resultado posvoladura, con la variabilidad de la granulometría, afectará el tonelaje acarreado y por ende la relación del *match factor* entre los

equipos de carguío o limpieza (scoops 4.2 yd³) y equipos de acarreo (volquetes de 12 m³), el cual es materia del presente estudio.

2.5.4 Capacidad efectiva de equipos de carguío y acarreo

Uno de los parámetros a analizar es la capacidad efectiva, el cual está relacionado directamente con el factor de llenado, densidad de mineral o desmonte y factor de esponjamiento. Los parámetros mencionados son asociados al material a evaluar, son dependientes del tipo de roca, alteración hidrotermal, dureza, etc. así mismo, el factor de llenado depende de los resultados de la voladura como es el caso el grado de fragmentación, el cual afecta directamente en el tonelaje cargado y acarrado.

$$Cef = \frac{(Cn \times P \times Fll)}{(1 + Fesp)}$$

Donde:

Cef: capacidad efectiva

Cn: capacidad nominal

P: densidad

Fll: factor de llenado

Fesp: factor de esponjamiento

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Método y alcances de la investigación

3.1.1 Método de la investigación

Es una investigación aplicada, nivel explicativo, el cual analiza el match factor entre scoops y volquetes mejorando el rendimiento operacional en los draw points, aplicado en taladros largos.

a) Método general

La investigación es inductiva – deductiva, donde se observa los indicadores operacionales asociados al *match factor* entre scoops y volquetes considerando los *draw points* en el Tj 402 y Nv 4480. Los resultados a obtener en el análisis de los scoops y volquetes ayudarán a entender el comportamiento y mejora del rendimiento operacional producto, considerando la granulometría y posvoladura y su efecto en el rendimiento en los *draw points*.

b) Métodos específicos

Considera el análisis del *match factor* entre scoops 4.2 yd³ y volquetes de 12 m³ para lo cual se explica el comportamiento de los indicadores operacionales asociados al tonelaje acarreado, capacidad efectiva, granulometría, etc. Las diferentes etapas, a desarrollar en el presente trabajo considera lo siguiente:

- ✓ Recopilación de información: se analiza la información de meses anteriores, considerando los procesos unitarios de carguío y acarreo. Así mismo considera la información de las áreas de operaciones, planeamiento, geomecánica, etc.

- ✓ Trabajo de campo: considera el monitoreo *in situ* del tonelaje cargado y acarreado, la granulometría posterior a la voladura, la cantidad de viajes de acarreo, etc., en los equipos de scoops 4.2 yd³ y volquetes 12 m³.
- ✓ Trabajo de gabinete: considera el análisis de la información obtenida en los procesos de operación de scoops y volquetes en los *draw points* de la unidad minera.
- ✓ Resultados: obtenido los resultados, se realizará el análisis de las hipótesis planteadas, general y específicas para la validación o no del presente trabajo de investigación considerando 2 escenarios, el que se considera como base del estudio y el periodo optimizado, mediante el análisis de las variables operacionales de scoops y volquetes en los *draw points* de taladros largos en la unidad minera.

3.1.2 Alcances de la investigación

Es del tipo aplicado, considerando los resultados a obtener en la mejora del rendimiento de los *draw points*, con un mayor tonelaje cargado y acarreado, de acuerdo a los resultados obtenidos posterior a la voladura en taladros largos.

3.2 Diseño de la investigación

Consiste en el análisis del match factor entre scoops de 4.2 yd³ y volquetes de 12 m³ con el objetivo de mejorar el rendimiento operacional de los *draw points* con taladros largos en la unidad minera.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

La población pertenece a los diferentes frentes de producción de la unidad minera Kolpa, desarrollado por la empresa MCEISA.

3.3.2 Muestra

Está relacionado a los diferentes draw points del Tj402, Nv 4480 de la zona Yessica.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos

- ✓ Páginas de internet.
- ✓ Observación directa de campo: procesos unitarios de carguío y acarreo.

3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos

- ✓ Libreta de apuntes en procesos de carguío y acarreo.
- ✓ Plantilla de reporte diario en el proceso de limpieza o carguío (scoops 4.2 yd³).
- ✓ Plantilla de reporte diario en el proceso de acarreo (volquetes 12 m³).
- ✓ Análisis y cálculos con hojas de cálculo (Excel).

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente estudio relacionará el *match factor* entre equipos de carguío y acarreo utilizados en la unidad minera, relacionando las variables operacionales como distancia, tonelaje acarreado, número de cucharas, etc.

Así mismo, para determinar el *match factor* o factor de acoplamiento entre los scoops y volquetes se considera la influencia que genera el grado de fragmentación con la capacidad efectiva de los equipos, ver su tonelaje asociado y su relación con el número de cucharas (número de pases) relacionado, determinando la influencia en el rendimiento de los *draw points*, de los tajos minados.

4.1 Análisis de los parámetros operacionales

El objetivo principal del presente estudio está relacionado a determinar la influencia del *match factor* entre equipos de carguío o limpieza (scoops 4.2 yd³) y los equipos de acarreo (volquetes de 12 m³) para la mejora del rendimiento operacional de los *draw points* (cámaras de mineral), incrementando el rendimiento de los equipos, producto de un mayor tonelaje, analizados en el Tj 402 y Tj 535 del Nv 4480, por lo que se considera el análisis de las variables operacionales como, tonelaje, número de cucharas, granulometría y factor de llenado durante el periodo de estudio.

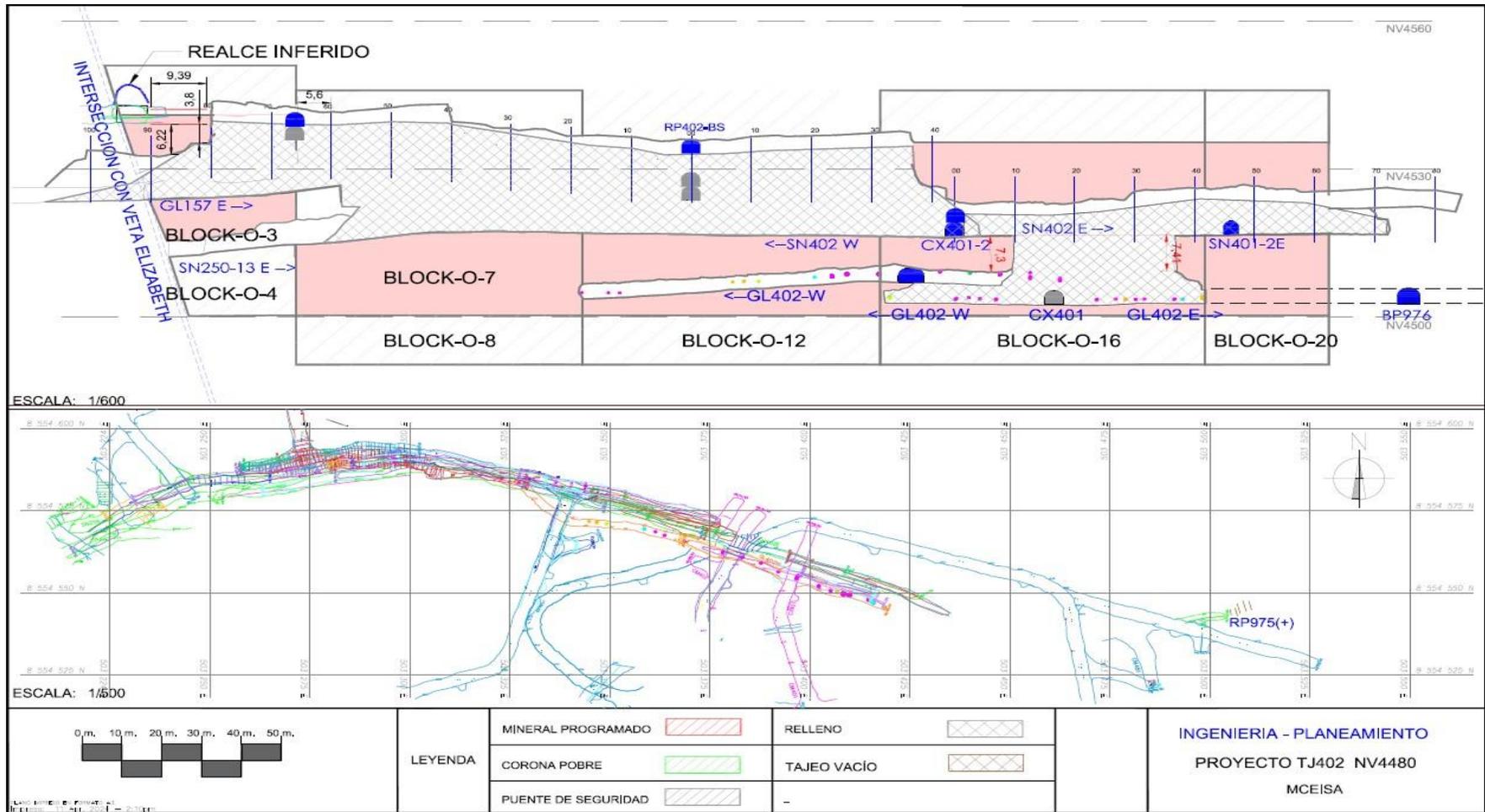


Figura 13. Área de estudio, Tj 402, Nv 4480

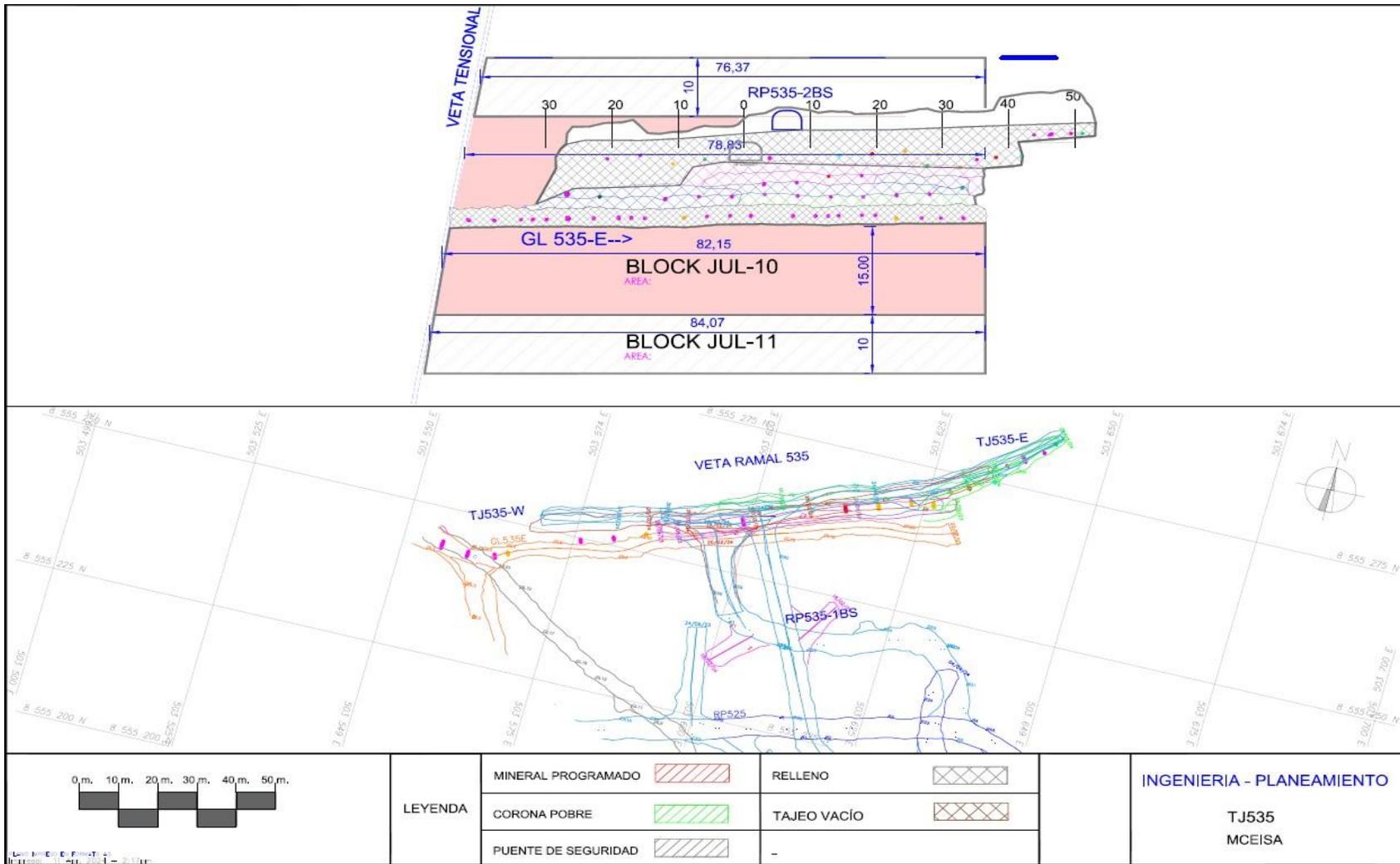


Figura 14. Área de estudio, Tj 535, Nv 4480

El análisis de los parámetros operacionales relacionados al tonelaje promedio acarreado, número de cucharas programadas y ejecutadas, tonelaje por cuchara y tiempo de carguío promedio de carguío, se realizó en 2 periodos: periodo base (mes enero) y periodo optimizado (meses febrero y marzo).

a) Análisis periodo base: enero

Tabla 5. Análisis de variables operacionales, Tj 535 – Nv 4480

ANÁLISIS DE VARIABLES OPERACIONALES: SCOOPS (4.2 YD3) - VOLQUETES (12 M3)							
MES ENERO							
FECHA	SCOOP - 4.2 YD3						VOLQUETE - 12 M3
	HORAS	N° CUCHARAS DIA	N° CUCHARAS POR VIAJE-DISEÑO	TONELAJE POR CUCHARA - PROGR	TONELAJE POR CUCHARA - REAL	DIFERENCIA (ton)	TONEL. ACARREO PROMEDIO
10/01/2024	1.17	28.00	4.00	5.60	5.14	0.46	22.40
11/01/2024	1.00	15.00	4.00	6.25	5.14	1.11	24.99
12/01/2024	2.00	24.00	4.00	6.45	5.14	1.31	25.81
13/01/2024	1.30	21.00	4.00	5.80	5.14	0.66	23.20
14/01/2024	1.42	26.00	4.00	6.01	5.14	0.87	24.02
15/01/2024	1.75	40.00	4.00	5.58	5.14	0.44	22.30
16/01/2024	2.00	36.00	4.00	6.03	5.14	0.89	24.12
17/01/2024	0.17	23.00	4.00	6.30	5.14	1.16	25.20
18/01/2024	1.08	28.00	4.00	5.59	5.14	0.45	22.36
19/01/2024	0.25	8.00	4.00	5.81	5.14	0.67	23.23
20/01/2024	0.33	4.00	4.00	5.85	5.14	0.71	23.40
21/01/2024	0.50	12.00	4.00	7.01	5.14	1.87	28.05
22/01/2024	1.00	24.00	4.00	6.09	5.14	0.95	24.37
23/01/2024	1.63	46.00	4.00	7.07	5.14	1.93	28.26
24/01/2024	0.80	24.00	4.00	5.91	5.14	0.77	23.65
25/01/2024	2.15	36.00	4.00	6.99	5.14	1.85	27.97
26/01/2024	4.83	72.00	4.00	6.58	5.14	1.44	26.33
27/01/2024	2.50	65.00	4.00	6.81	5.14	1.67	27.23
28/01/2024	0.42	15.00	4.00	5.49	5.14	0.35	21.97
29/01/2024	1.52	22.00	4.00	5.98	5.14	0.84	23.91
30/01/2024	1.32	36.00	4.00	5.76	5.14	0.62	23.02
31/01/2024	1.50	24.00	4.00	7.44	5.14	2.30	29.74
PROMEDIO	1.39	28.59	4.00	6.20	5.14	1.06	24.80

El análisis de las variables operacionales durante el periodo base (enero) considera un promedio diario de número de cucharas en equipos de carguío (scoop 4.2 yd³) de 28.59 cucharas por día. Así mismo, considerando el número de pases o cucharas de acuerdo a diseño o *match factor* entre scoops de 4.2 yd³ y volquetes de 12 m³ es de 4 pases o cucharas. El tonelaje diario de acarreo en volquetes de 12 m³ de capacidad nominal, considera un promedio de 24.80 toneladas. Así mismo, El tonelaje por cuchara programada en este periodo fue de 6.20 t/cuchara y el tonelaje real fue de 5.14 t/cuchara, considerando un déficit de 1.06 t/cuchara, afectando el rendimiento de los equipos de carguío y acarreo.

b) Análisis periodo optimizado: febrero, marzo

✓ Mes de febrero

Tabla 6. Análisis de variables operacionales, Tj 420 – Nv 4480, febrero

ANÁLISIS DE VARIABLES OPERACIONALES: SCOOPS (4.2 YD3) - VOLQUETES (12 M3)							
MES FEBRERO							
FECHA	SCOOP - 4.2 YD3						VOLQUETE - 12 M3
	HORAS	N° CUCHARAS DIA	N° CUCHARAS POR VIAJE-DISEÑO	TONELAJE POR CUCHARA - PROGR	TONELAJE POR CUCHARA - REAL	DIFERENCIA (ton)	TONEL. ACARREO PROMEDIO
01/02/2024	3.10	38.00	4.00	5.90	5.46	0.44	23.61
02/02/2024	1.92	36.00	4.00	6.35	5.46	0.89	25.40
03/02/2024	1.78	40.00	4.00	6.01	5.46	0.55	24.03
04/02/2024	2.30	40.00	4.00	6.70	5.46	1.24	26.79
05/02/2024	2.30	37.00	4.00	6.55	5.46	1.09	26.19
06/02/2024	2.00	24.00	4.00	6.04	5.46	0.58	24.16
07/02/2024	1.30	21.00	4.00	6.09	5.46	0.63	24.35
08/02/2024	1.42	26.00	4.00	7.14	5.46	1.68	28.57
09/02/2024	2.15	36.00	4.00	6.20	5.46	0.74	24.81
10/02/2024	4.83	72.00	4.00	6.08	5.46	0.62	24.33
11/02/2024	2.50	65.00	4.00	6.05	5.46	0.59	24.20
12/02/2024	0.42	15.00	4.00	5.86	5.46	0.40	23.45
13/02/2024	2.00	24.00	4.00	6.44	5.46	0.98	25.74
14/02/2024	1.30	21.00	4.00	6.09	5.46	0.63	24.35
15/02/2024	1.42	26.00	4.00	6.40	5.46	0.94	25.60
16/02/2024	1.75	40.00	4.00	6.84	5.46	1.38	27.35
17/02/2024	2.00	36.00	4.00	6.50	5.46	1.04	25.98
18/02/2024	0.50	12.00	4.00	6.08	5.46	0.62	24.33
19/02/2024	1.00	24.00	4.00	6.35	5.46	0.89	25.40
20/02/2024	1.63	46.00	4.00	6.20	5.46	0.74	24.80
21/02/2024	0.80	24.00	4.00	6.36	5.46	0.90	25.43
22/02/2024	2.15	36.00	4.00	6.20	5.46	0.74	24.80
23/02/2024	1.17	28.00	4.00	6.13	5.46	0.67	24.50
24/02/2024	1.00	15.00	4.00	6.16	5.46	0.70	24.65
25/02/2024	2.00	24.00	4.00	6.30	5.46	0.84	25.20
26/02/2024	1.30	21.00	4.00	6.10	5.46	0.64	24.40
27/02/2024	1.42	26.00	4.00	6.20	5.46	0.74	24.80
28/02/2024	4.83	72.00	4.00	6.33	5.46	0.87	25.30
29/02/2024	2.50	65.00	4.00	6.63	5.46	1.17	26.50
PROMEDIO	1.89	34.14	4.00	6.28	5.46	0.83	25.14

El análisis de las variables operacionales durante el periodo optimizado (febrero) considera un promedio diario de número de cucharas en equipos de carguío (scoop 4.2 yd³) de 34.14 cucharas por día. Así mismo, considerando el número de pases o cucharas de acuerdo a diseño o match factor entre scoops de 4.2 yd³ y volquetes de 12 m³ es de 4 pases o cucharas. El tonelaje diario de acarreo en volquetes de 12 m³ de capacidad nominal, considera un promedio de 25.14 toneladas. Así mismo, el tonelaje por cuchara programada en este periodo fue de 6.28 t/cuchara y el tonelaje real fue de 5.46 t/cuchara, considerando un déficit de 0.83 t/cuchara, afectando el rendimiento de los equipos de carguío y acarreo, pero mejorando con respecto al mes de enero.

✓ Mes de marzo

Tabla 7. Análisis de variables operacionales, Tj 420 – Nv 4480, marzo

ANÁLISIS DE VARIABLES OPERACIONALES: SCOOPS (4.2 YD3) - VOLQUETES (12 M3)							
MES MARZO							
FECHA	HORAS	N° CUCHARAS DÍA	N° CUCHARAS POR VIAJE-DISEÑO	SCOOP - 4.2 YD3		DIFERENCIA (ton)	VOLQUETE - 12 M3 TONEL. ACARREO PROMEDIO
				TONELAJE POR CUCHARA - PROGR	TONELAJE POR CUCHARA - REAL		
01/03/2024	2.15	36.00	4.00	7.16	5.46	1.70	28.65
02/03/2024	4.83	72.00	4.00	6.67	5.46	1.21	26.69
03/03/2024	2.50	65.00	4.00	6.66	5.46	1.20	26.62
04/03/2024	2.00	24.00	4.00	6.05	5.46	0.59	24.18
05/03/2024	2.00	24.00	4.00	6.43	5.46	0.97	25.72
06/03/2024	2.00	24.00	4.00	6.05	5.46	0.59	24.20
07/03/2024	4.83	72.00	4.00	6.07	5.46	0.61	24.29
08/03/2024	2.50	65.00	4.00	6.30	5.46	0.84	25.19
09/03/2024	1.75	40.00	4.00	5.88	5.46	0.42	23.50
10/03/2024	2.15	36.00	4.00	6.73	5.46	1.27	26.92
11/03/2024	1.17	28.00	4.00	7.60	5.46	2.14	30.41
12/03/2024	1.00	15.00	4.00	6.62	5.46	1.16	26.48
13/03/2024	2.00	24.00	4.00	6.01	5.46	0.55	24.03
14/03/2024	1.30	21.00	4.00	6.61	5.46	1.15	26.45
15/03/2024	1.42	26.00	4.00	7.00	5.46	1.54	28.00
16/03/2024	1.52	22.00	4.00	6.33	5.46	0.87	25.30
17/03/2024	1.32	36.00	4.00	6.15	5.46	0.69	24.60
18/03/2024	1.50	24.00	4.00	6.26	5.46	0.80	25.03
19/03/2024	4.83	72.00	4.00	6.58	5.46	1.12	26.30
20/03/2024	2.50	65.00	4.00	6.63	5.46	1.17	26.53
21/03/2024	0.42	15.00	4.00	5.80	5.46	0.34	23.20
22/03/2024	2.00	24.00	4.00	5.79	5.46	0.33	23.17
23/03/2024	1.30	21.00	4.00	5.81	5.46	0.35	23.22
24/03/2024	1.42	26.00	4.00	5.52	5.46	0.06	22.09
25/03/2024	2.00	24.00	4.00	5.66	5.46	0.20	22.65
26/03/2024	1.30	21.00	4.00	6.15	5.46	0.69	24.60
27/03/2024	1.42	26.00	4.00	6.00	5.46	0.54	24.00
28/03/2024	1.75	40.00	4.00	6.03	5.46	0.57	24.12
29/03/2024	2.00	36.00	4.00	7.50	5.46	2.04	30.01
30/03/2024	2.15	36.00	4.00	5.59	5.46	0.13	22.36
31/03/2024	1.17	28.00	4.00	5.81	5.46	0.35	23.23
PROMEDIO	2.01	35.10	4.00	6.30	5.46	0.85	25.22

El análisis de las variables operacionales durante el periodo optimizado (marzo) considera un promedio diario de número de cucharas en equipos de carguío (scoop 4.2 yd3) de 35.10 cucharas por día. Así mismo, considerando el número de pases o cucharas de acuerdo a diseño o match factor entre scoops de 4.2 yd3 y volquetes de 12 m3 es de 4 pases o cucharas. El tonelaje diario de acarreo en volquetes de 12 m3 de capacidad nominal, considera un promedio de 25.22 toneladas. Así mismo, El tonelaje por cuchara programada en este periodo fue de 6.30 ton/cuchara y el tonelaje real fue de 5.46 ton/cuchara, considerando un déficit de 0.85 ton/cuchara, afectando el rendimiento de los equipos de carguío y acarreo, pero mejorando con respecto al mes de enero.

c) Resumen de variables operacionales: periodo base y optimizado

Se considera el análisis de las variables operacionales durante los periodos base (enero) y optimizado (febrero y marzo), midiendo el tonelaje promedio diario acarreado con el número de cucharas, relacionado al match factor considerado en 4 pases.

Tabla 8. Resumen de variables operacionales, periodo base y optimizado

RESUMEN DE VARIABLES OPERACIONALES: SCOOPS (4.2 YD3) - VOLQUETES (12 M3)							
MES MARZO							
MES	HORAS	SCOOP - 4.2 YD3			VOLQUETE - 12 M3		
		N° CUCHARAS DÍA	N° CUCHARAS POR VIAJE-DISEÑO	TONELAJE POR CUCHARA - PROGR	TONELAJE POR CUCHARA - REAL	DIFERENCIA (ton)	TONEL. ACARREO PROMEDIO
ENERO	1.39	28.59	4.00	6.20	5.14	1.06	24.80
FEBRERO	1.89	34.14	4.00	6.28	5.46	0.83	25.14
MARZO	2.01	35.10	4.00	6.30	5.46	0.85	25.22
PROMEDIO	1.76	32.61	4.00	6.26	5.35	0.91	25.05

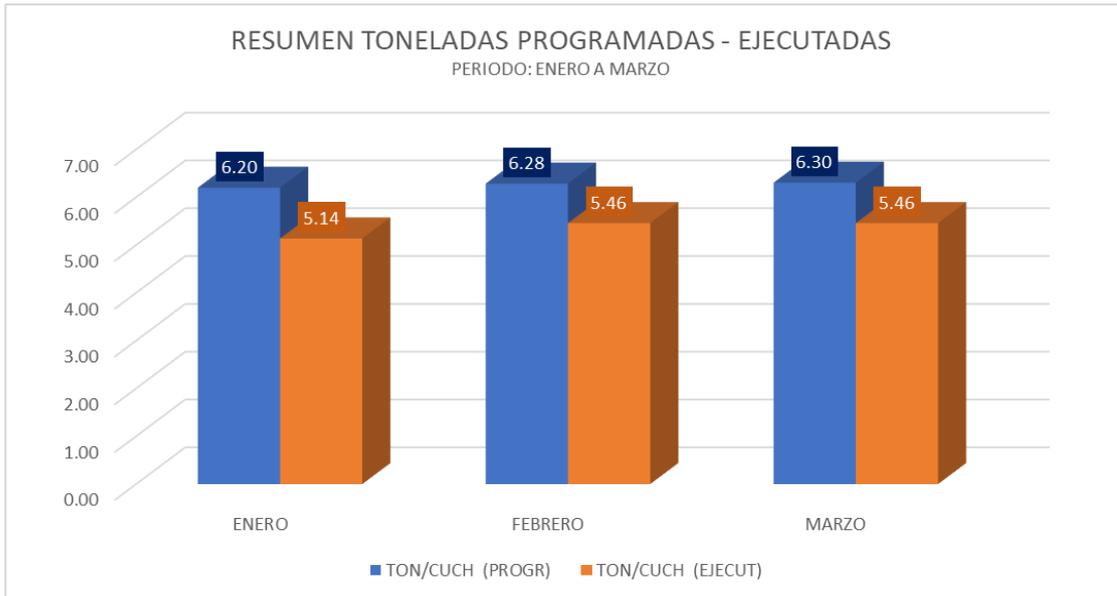


Figura 15. Resumen de toneladas programadas y ejecutadas

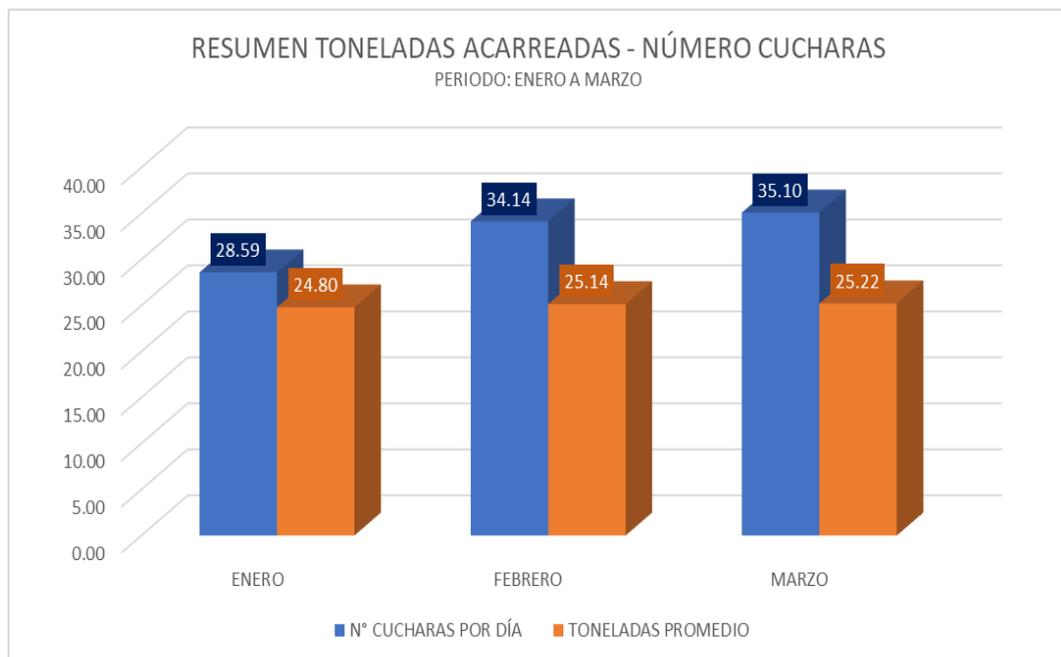


Figura 16. Resumen de toneladas acarreadas y número de cucharas

El número de cucharas o pases promedio diario durante los periodos de enero, febrero y marzo fueron de 28.59, 34.14 y 35.10 cucharas /día respectivamente y el tonelaje por cuchara por viaje en el mismo periodo fueron de 5.14, 5.46 y 5.46 t/cucharas respectivamente, esto generó un incremento en el tonelaje acarreado de 24.80, 25.14 y 25.22 t/viaje, en los mismos periodos de estudio. Esta mejora fue producto de un mejor control de la granulometría en los tajos evaluados, mejorando la capacidad efectiva de los equipos de acarreo (volvos de 12 m³).

4.2 Análisis de la granulometría: periodo base y optimizado

La mejora del tonelaje acarreado durante los periodos de estudio es función del mejor control de la granulometría posterior a la voladura realizada en los diferentes tajos evaluados, mejorando el rendimiento de la extracción de mineral de los *draw points*.

a) Análisis de la granulometría: escenario base (enero)

El análisis de la granulometría realizada durante el escenario base (enero) en el Tj 535, Nv 4480, considera los siguientes resultados:



Figura 17. Granulometría post voladura Tj 535, Nv 4480 escenario base (enero)

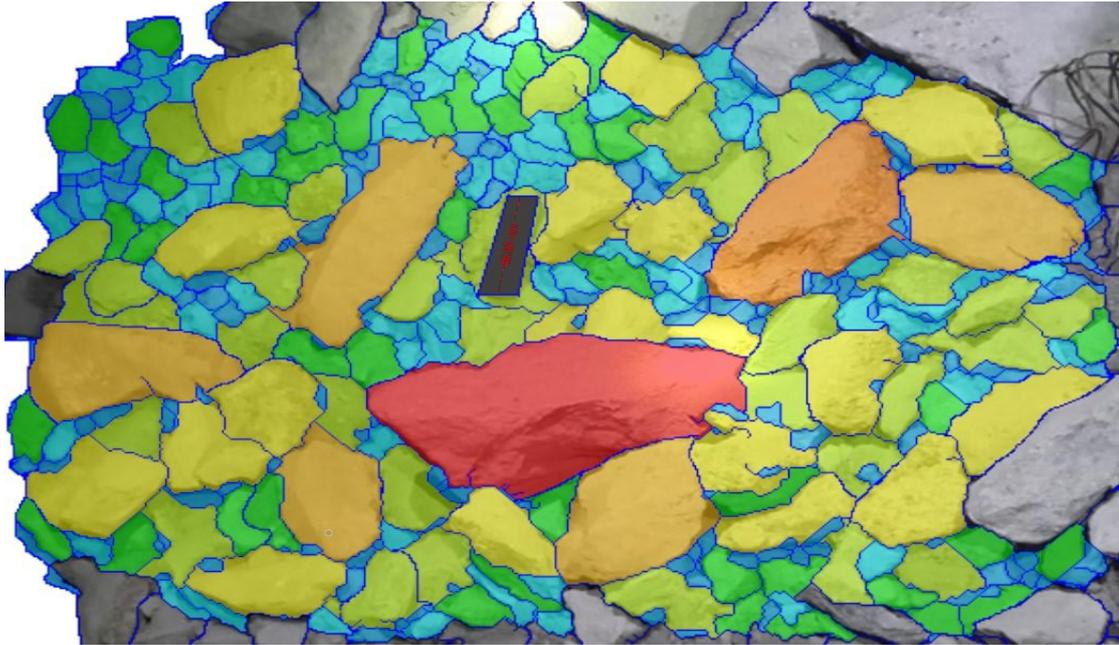


Figura 18. Análisis granulométrico Tj 535, Nv 4480 escenario base (enero)

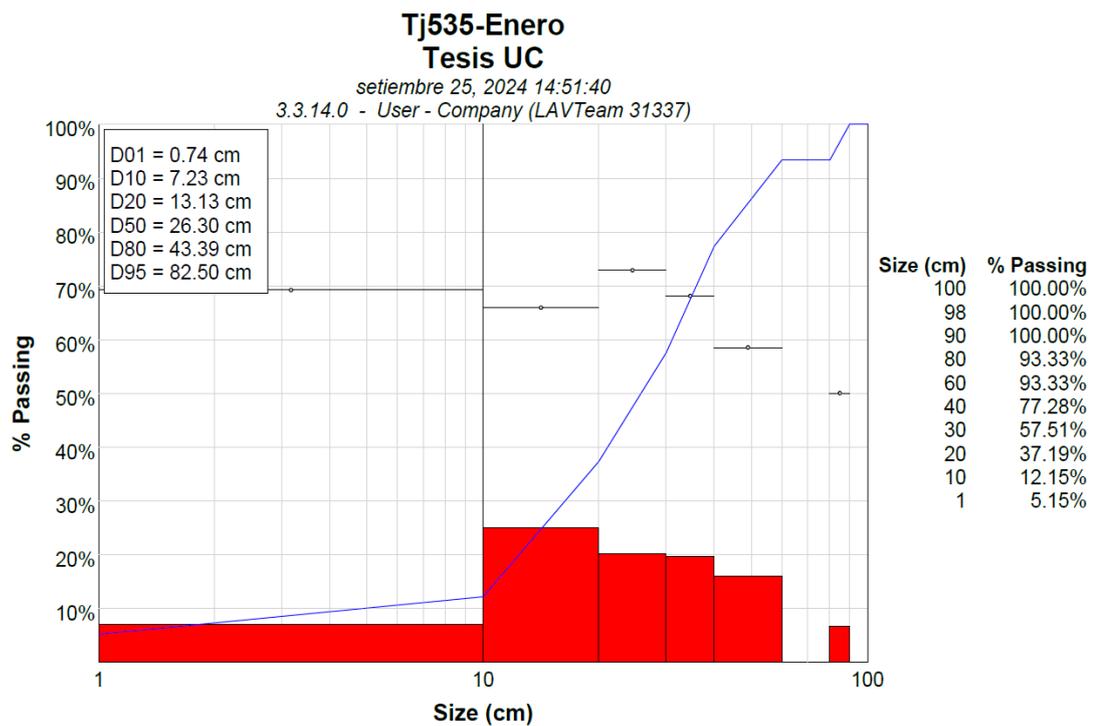


Figura 19. Perfil granulométrico Tj 535, Nv 4480 escenario base (enero)

El análisis de la granulometría realizado durante el escenario base (enero) considera un P80 de 43.39 cm y el porcentaje pasante, considerando un tamaño de 30 cm, es de 57.51 %, lo que indica que el restante (42.49%) no pasará en la primera etapa de chancado, generando mayor tiempo de conminución, mayor consumo de energía y menor tonelaje procesado, afectando directamente en los costos operacionales.

De acuerdo al objetivo planteado en el presente estudio, la mayor granulometría presente durante el escenario base (enero) afecta directamente en el tonelaje acarreado de los diferentes frentes o cámaras de producción (*draw points*) disminuyendo su rendimiento operacional y afectando el *match factor* entre los scoops de 4.2 yd³ y los volquetes de 12 m³.

b) Análisis de la granulometría: escenario optimizado (febrero)

El análisis de la granulometría realizada durante el escenario optimizado (febrero) en el Tj 402, Nv 4480, considera los siguientes resultados:



Figura 20. Granulometría post voladura Tj 402, Nv 4480 escenario optimizado (febrero)

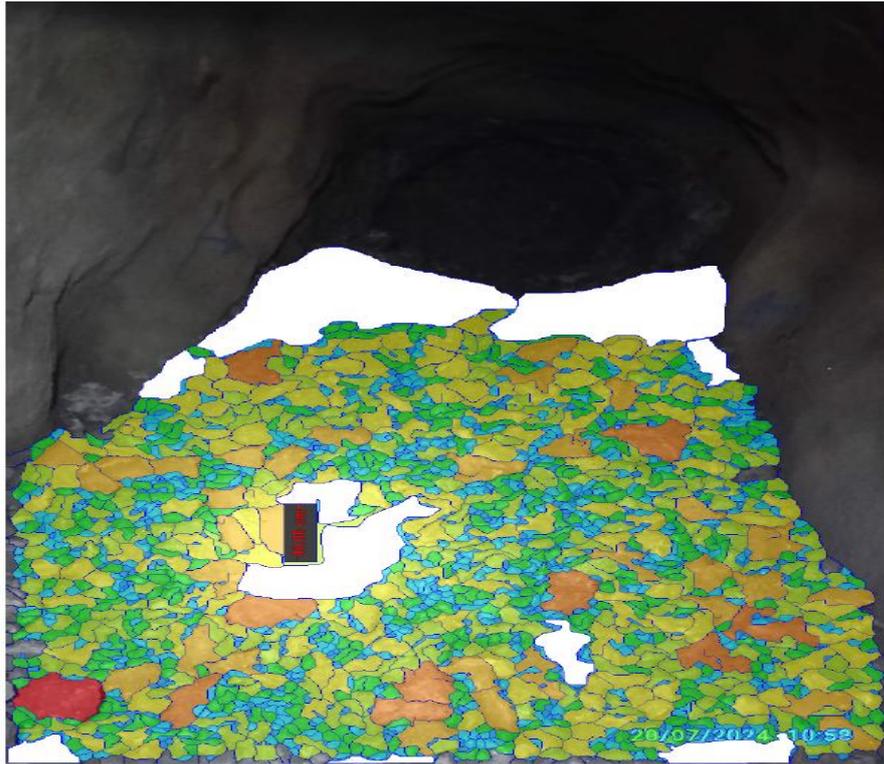


Figura 21. Análisis granulométrico Tj 402, Nv 4480 escenario optimizado (febrero)

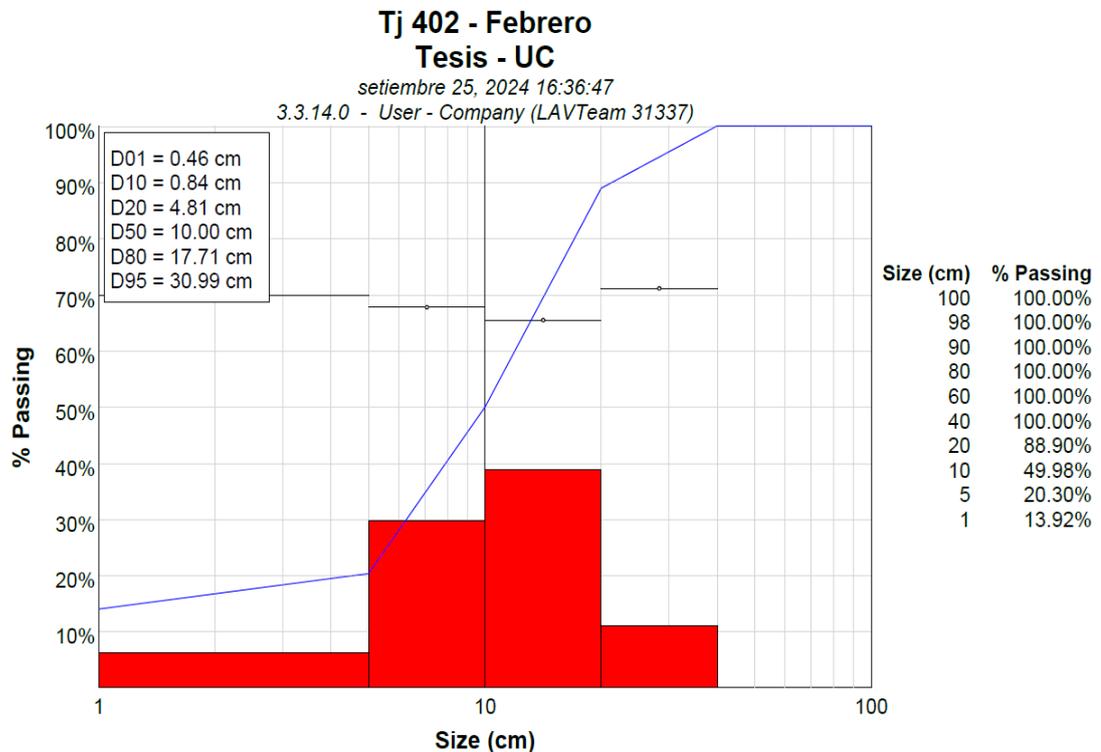


Figura 22. Perfil granulométrico Tj 402, Nv 4480 escenario optimizado (febrero)

El análisis de la granulometría realizado durante el escenario optimizado (febrero), considera un P80 de 17.71 cm y el porcentaje pasante considerando un tamaño de 20 cm es de

88.90%, lo que indica que el restante no pasará (11.10%) en la primera etapa de chancado, generando menor tiempo de conminución, menor consumo de energía y mayor tonelaje procesado, incidiendo directamente en los costos operacionales, comparado con el escenario base (enero).

De acuerdo al objetivo planteado en el presente estudio, el control o disminución de la granulometría presente durante el escenario optimizado (febrero) mejorado con respecto al escenario base (enero), afecta directamente en el incremento de tonelaje acarreado, mejorando el rendimiento de los diferentes frentes o cámaras de producción (draw points), mejorando el rendimiento operacional y el *match factor* entre los scoops de 4.2 yd³ y los volquetes de 12 m³.

c) Análisis de la granulometría: escenario optimizado (marzo)

El análisis de la granulometría realizada durante el escenario optimizado (marzo) en el Tj 402, Nv 4480, considera los siguientes resultados:



Figura 23. Granulometría post voladura Tj 402, Nv 4480 escenario optimizado(marzo)

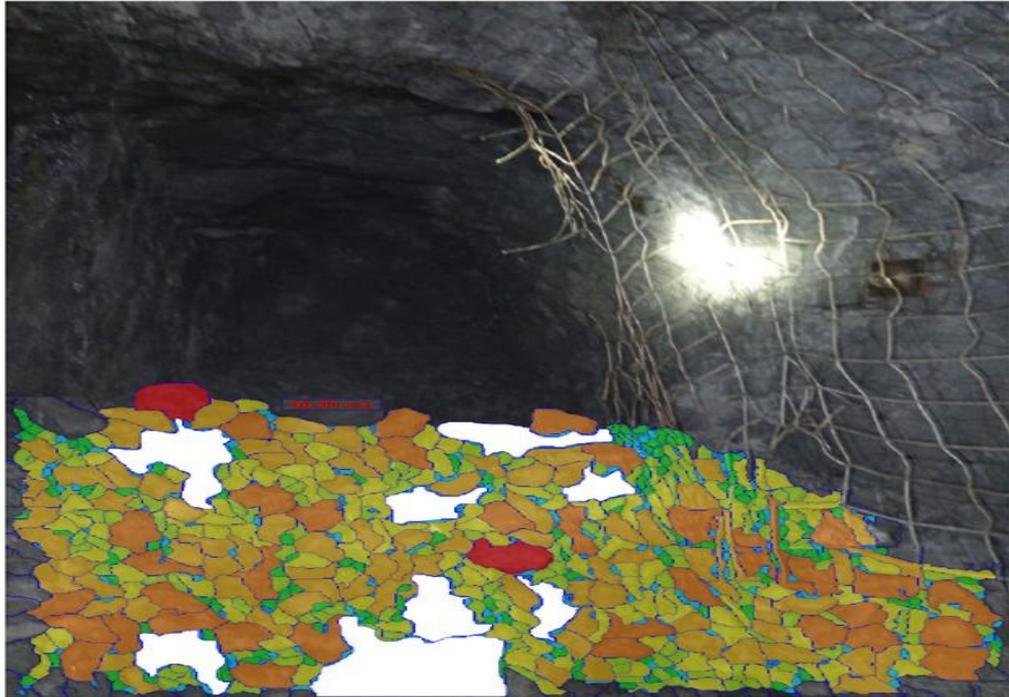


Figura 24. Análisis granulométrico Tj 402, Nv 4480 escenario optimizado (marzo)



Figura 25. Perfil granulométrico Tj 402, Nv 4480 escenario optimizado (marzo)

El análisis de la granulometría realizado durante el escenario optimizado (marzo), considera un P80 de 20.94 cm y el porcentaje pasante, considerando un tamaño de 22 cm, es de 84.89 %, lo que indica que el restante no pasará (15.11%) en la primera etapa de chancado, generando

menor tiempo de conminución, menor consumo de energía y mayor tonelaje procesado, incidiendo directamente en los costos operacionales, comparado con el escenario base (enero).

De acuerdo al objetivo planteado en el presente estudio, el control o disminución de la granulometría presente durante el escenario optimizado (marzo) mejorado con respecto al escenario base (enero), afecta directamente en el incremento de tonelaje acarreado, mejorando el rendimiento de los diferentes frentes o cámaras de producción (*draw points*), mejorando el rendimiento operacional y el *match factor* entre los scoops de 4.2 yd³ y los volquetes de 12 m³.

d) Resumen del análisis de la granulometría: escenarios base y optimizado

De acuerdo al análisis de la granulometría realizada en los periodos base (enero) y optimizado (febrero y marzo), se realiza el análisis de la capacidad efectiva de los equipos de carguío (scoops 4.2 yd³) y los equipos de acarreo (volquetes 12 m³) y su incidencia en el *match factor* para la mejora del rendimiento de los *draw points* en la unidad minera.

Tabla 9. Resumen de análisis de la granulometría, periodo base y optimizado

RESUMEN DE ANÁLISIS DE LA GRANULOMETRÍA: TJ 535 - TJ 402					
PERIODO: BASE - OPTIMIZADO					
PERIODO	ESCENARIO	GRANULOMETRÍA (P80 - cm)	TAMAÑO PASANTE (cm)	PORCENTAJE PASANTE (%)	FACTOR DE LLENADO (%)
ENERO	BASE	43.39	30.00	57.51	80.00
FEBRERO	OPTIMIZADO	17.71	20.00	88.90	85.00
MARZO	OPTIMIZADO	20.94	22.00	84.89	85.00
PROMEDIO		27.35	24.00	77.10	83.33

Los resultados demuestran que hubo una reducción de la granulometría entre el periodo base y optimizado de 43.39 a 17.71 cm, disminuyendo el tamaño pasante de 30 a 20 cm, y mejorando el porcentaje pasante de 57.71 % a 88.90 % en los periodos analizados respectivamente.

Los promedios de granulometría durante los meses de enero, febrero y marzo consideran promedios de granulometría en 27.35 cm, tamaño pasante en 24 cm y porcentaje pasante en 77.10 %.

Esta mejora en los resultados del análisis de la granulometría, ayudará a entender el análisis de la capacidad efectiva considerando la mejora del factor de llenado de 80 a 85 %, durante los periodos de estudio.

4.3 Análisis de la capacidad efectiva: carguío y acarreo

El análisis de la capacidad efectiva en equipos de carguío (scoops 4.2 yd³) y acarreo (volquetes 12 m³) está relacionado directamente con el factor de llenado, densidad de mineral o desmonte y factor de esponjamiento. Los parámetros mencionados son asociados al material a evaluar, son dependientes del tipo de roca, alteración hidrotermal, dureza, etc. así mismo, el factor de llenado depende de los resultados de la voladura como es el caso el grado de fragmentación, el cual afecta directamente en el tonelaje cargado y acarreado.

$$Cef = \frac{(Cn \times P \times Fll)}{(1 + Fesp)}$$

Donde:

Cef: capacidad efectiva

Cn: capacidad nominal

P : densidad

Fll: factor de llenado

Fesp: factor de esponjamiento

a) Factor de llenado en scoops de 4.2 yd³

Los parámetros operacionales para el desarrollo del presente estudio consideran los siguientes parámetros:

Tabla 10. Parámetros operacionales, equipos de carguío y acarreo

PARÁMETROS	
Densidad Mx	2.8
Factor esponjam.	40%
Factor llenado - escenario base	80%
Factor llenado - escenario optimizado	85%
Scoop 4.2 yd3 a m3	3.21

La capacidad efectiva de los scoops de 4.2 yd³ considera el factor de llenado en los escenarios base y optimizado de 80% y 85% respectivamente, producto del análisis de la granulometría realizada en los diferentes *draw points* (cámaras) de los tajos Tj 535 (enero) y el Tj 402 (febrero y marzo).

Tabla 11. Capacidad efectiva de equipos de carguío (scoops 4.2 yd³)

CAPACIDAD EFECTIVA DE EQUIPOS DE CARGUÍO: PERIODO BASE - OPTIMIZADO							
SCOOPS 4.2 yd ³							
PERIODO	ESCENARIO	GRANULOMETRÍA (P80 - cm)	CAPACIDAD NOMINAL (m ³)	CAPACIDAD EFECTIVA (ton)	DENSIDAD (g/cm ³)	FACTOR ESPONJAMIENTO (%)	FACTOR LLENADO (%)
ENERO	BASE	43.39	3.21	5.14	2.80	40%	80%
FEBRERO - MARZO	OPTIMIZADO	19.33	3.21	5.46	2.80	40%	85%
DIFERENCIA/PROMEDIO		-24.06	3.21	0.32	2.80	40%	5%

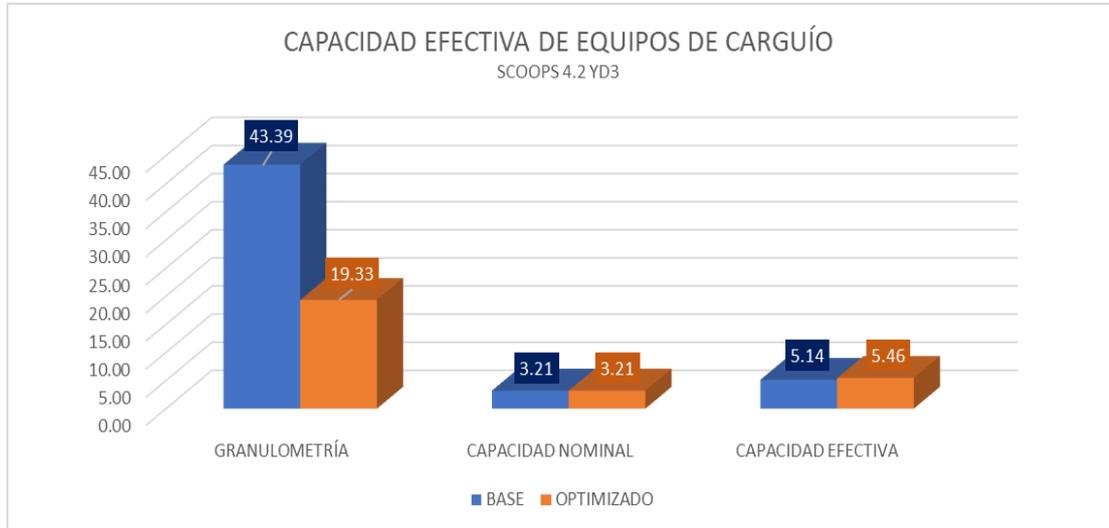


Figura 26. Capacidad efectiva de equipos de carguío (scoops 4.2 yd³)

El análisis de un scoop de 4.2 yd³ de capacidad nominal, con un factor de esponjamiento del 40% y una densidad de 2.89 en mineral durante el periodo base fue de 5.14 t, considerando un factor de llenado del 80 % y una granulometría calculada de 43.39 cm, así mismo, durante el periodo optimizado la capacidad efectiva considera una mejora en 5.46 t, considerando un factor de llenado del 85 % por la disminución de la granulometría en los periodos febrero y marzo de 19.33 cm.

Esta menor granulometría mejora el tonelaje acarreado durante los periodos base y optimizado considerando un tonelaje de acarreo de 24.80 y 25.18 t/viaje respectivamente.

Los resultados obtenidos en las variables operacionales, granulometría y capacidad efectiva, ayudarán a determinar la evaluación del *match factor* entre los scoops de 4.2 yd³ y los volquetes de 12 m³.

4.4 Análisis del *match factor*: scoops 4.2 yd³ y volquetes 12 m³

De acuerdo a los resultados obtenidos con el tonelaje cargado y acarreado durante los periodos base y optimizado, se analizará el número de pases asociado a ambos escenarios de evaluación para considerar la relación adecuada entre los equipos de carguío y acarreo.

a) Análisis del número de pases

El análisis de número de pases de acuerdo al tonelaje acarreado y capacidad efectiva de los scoops, considera los siguientes resultados:

Tabla 12. Match factor: scoops 4.2 yd³ – volquetes 12 m³

MATCH FACTOR: SCOOPS 4.2 YD3 - VOLQUETES 12 M3							
SCOOPS 4.2 yd3							
PERIODO	PERIODO	GRANULOMETRÍA (P80 - cm)	CAPACIDAD EFECTIVA SCOOP (ton)	TONELAJE ACARREADO (ton)	NÚMERO PASES (N°)	NÚMERO PASES PROGRAMADO	MATCH FACTOR
ENERO	BASE	43.39	5.14	24.80	4.8	4.0	-0.8
FEBRERO - MARZO	OPTIMIZADO	19.33	5.46	25.18	2.8	4.0	1.2

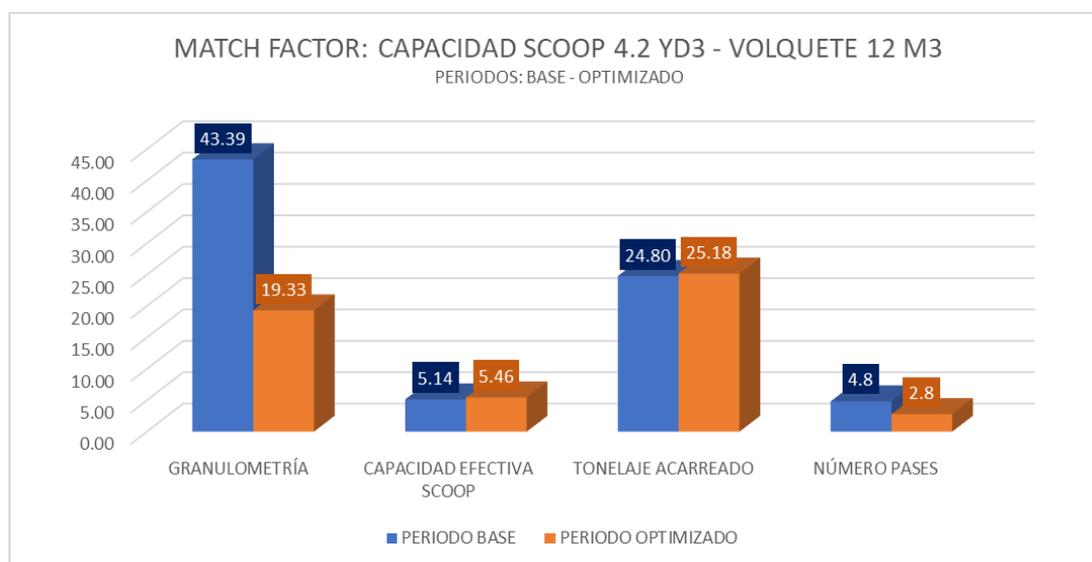


Figura 27. Match factor: scoops 4.2 yd³ – volquetes 12 m³

El análisis del *match factor* entre los scoops de 4.2 yd³ y volquetes de 12 m³, considera valores de -0.8 y 1.2 en los escenarios base y optimizado respectivamente.

Estos resultados están directamente relacionados al número de pases en los periodos evaluados, siendo 4.8 pases para el periodo base y de 2.8 pases para el periodo optimizado.

Los resultados obtenidos en el periodo base considera un menor tonelaje transportado de 24.80 t/viaje producto de una mayor granulometría en 43.39 cm. Para el periodo optimizado considera un incremento del tonelaje procesado en 25.18 t/viaje producto de una disminución de la granulometría con 19.33 cm.

La menor granulometría entre las etapas base y optimizado fueron de 43.39 cm y 19.33 cm, respectivamente, lo que influye directamente en un mayor tonelaje acarreado de 24.80 t/viaje y 25.18 t/viaje en los periodos analizados.

El *match factor* asociado a la etapa base con un valor de -0.8 considera un promedio de 4.8 pases, el cual sobre pasa al programado de 4 pases afectando directamente en el desgaste prematuro de los componentes mecánicos y eléctricos de los equipos evaluados.

4.5 Validación de la hipótesis

El desarrollo del presente trabajo de investigación permitió el análisis de las diferentes variables operacionales en los procesos de carguío y acarreo, determinando el tonelaje promedio acarreado por viaje, así mismo, se identificó la granulometría en los escenarios evaluados para relacionar con la capacidad efectiva de los equipos de carguío y acarreo, definiendo el número de pases entre los scoops de 4.2 yd³ y volquetes de 12 m³, definiendo el *match factor* para la mejora del rendimiento operacional (tonelaje) de los diferentes *draw points* de los tajos Tj 535 y Tj 402 del Nv 4480.

a) Parámetros operacionales

Los resultados obtenidos de los parámetros operacionales entre las etapas base y optimizada analizadas considera los siguientes valores.

Tabla 13. Variables operacionales de carguío y acarreo

VALIDACIÓN HIPÓTESIS - VARIABLES OPERACIONALES: SCOOPS (4.2 YD3) - VOLQUETES (12 M3)							
MES MARZO							
MES	SCOOP - 4.2 YD3						VOLQUETE - 12 M3
	HORAS	N° CUCHARAS DIA	N° CUCHARAS POR VIAJE-DISEÑO	TONELAJE POR CUCHARA - PROGR	TONELAJE POR CUCHARA - REAL	DIFERENCIA (ton)	TONEL. ACARREO PROMEDIO
ENERO	1.39	28.59	4.00	6.20	5.14	1.06	24.80
FEBRERO - MARZO	1.95	34.62	4.00	6.29	5.46	0.84	25.18
MEJORA	0.56	6.03	4.00	0.10	0.32	-0.23	0.38

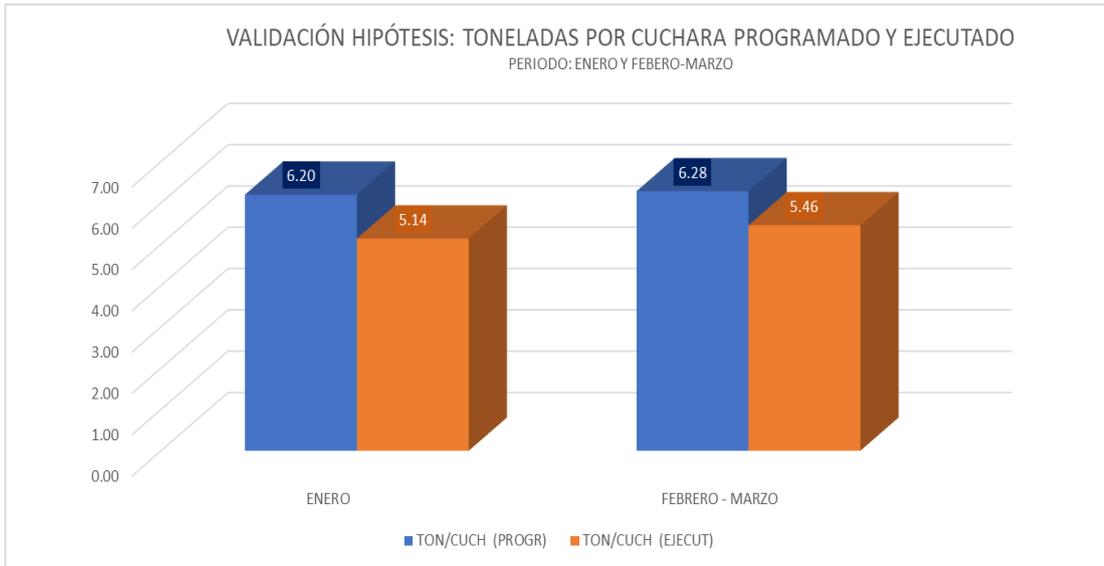


Figura 28. Validación hipótesis: toneladas por cuchara programado y ejecutado

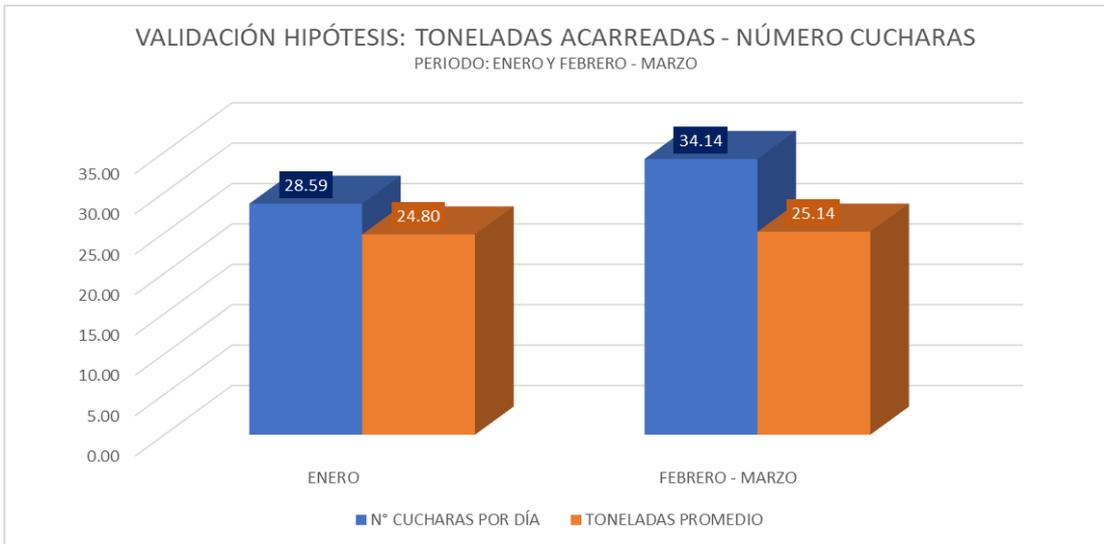


Figura 29. Validación hipótesis: N° cucharas/día y toneladas promedio

El análisis de las variables operacionales analizadas durante las etapas base y optimizada consideran el incremento de números de cucharas de 28.59 y 34.62 diarias, incrementando en 6.03 cucharas/día. El incremento del número de cucharas, en los periodos analizados consideran un mayor tonelaje acarreado de 24.80 t/viaje a 25.18 t/viaje, con un incremento de 0.38 ton/viaje, producto del control de la granulometría.

b) Granulometría

La mejora del rendimiento de tonelaje acarreado es influenciada directamente por el control de la granulometría durante los periodos evaluados, en los tajos Tj 535 y Tj 402.

Tabla 14. Análisis de la granulometría, Tj 535 y Tj 402

VALIDACIÓN HIPÓTESIS: ANÁLISIS DE LA GRANULOMETRÍA: Tj 535 - Tj 402

PERIODO: BASE - OPTIMIZADO

PERIODO	ESCENARIO	GRANULOMETRÍA (P80 - cm)	TAMAÑO PASANTE (cm)	PORCENTAJE PASANTE (%)	FACTOR LLENADO (%)
ENERO	BASE	43.39	30.00	57.51	80.00
FEBRERO - MARZO	OPTIMIZADO	19.33	21.00	86.90	85.00
MEJORA		-24.07	-9.00	29.39	5.00

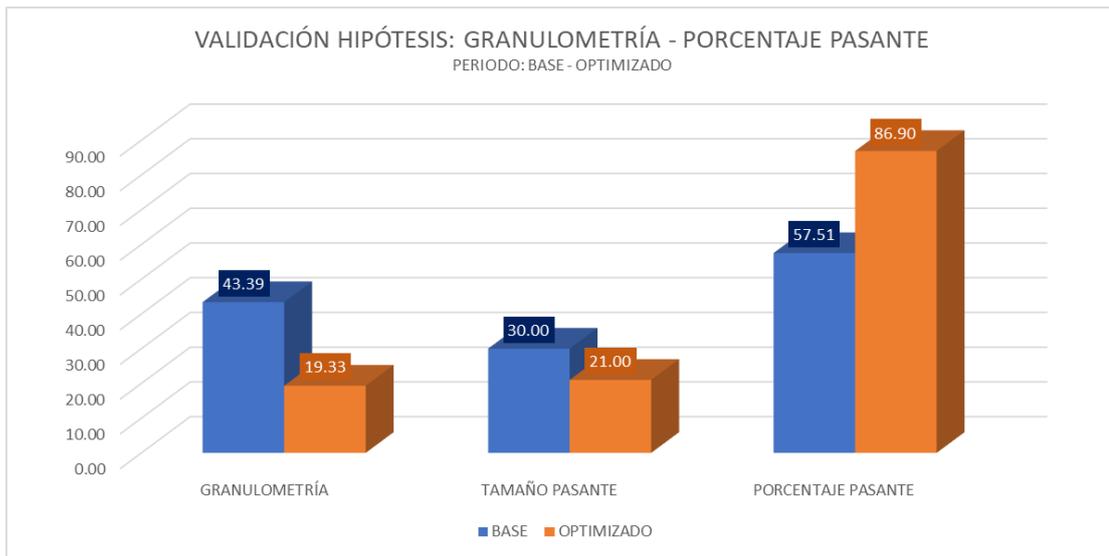


Figura 30. Validación hipótesis: granulometría y porcentaje pasante

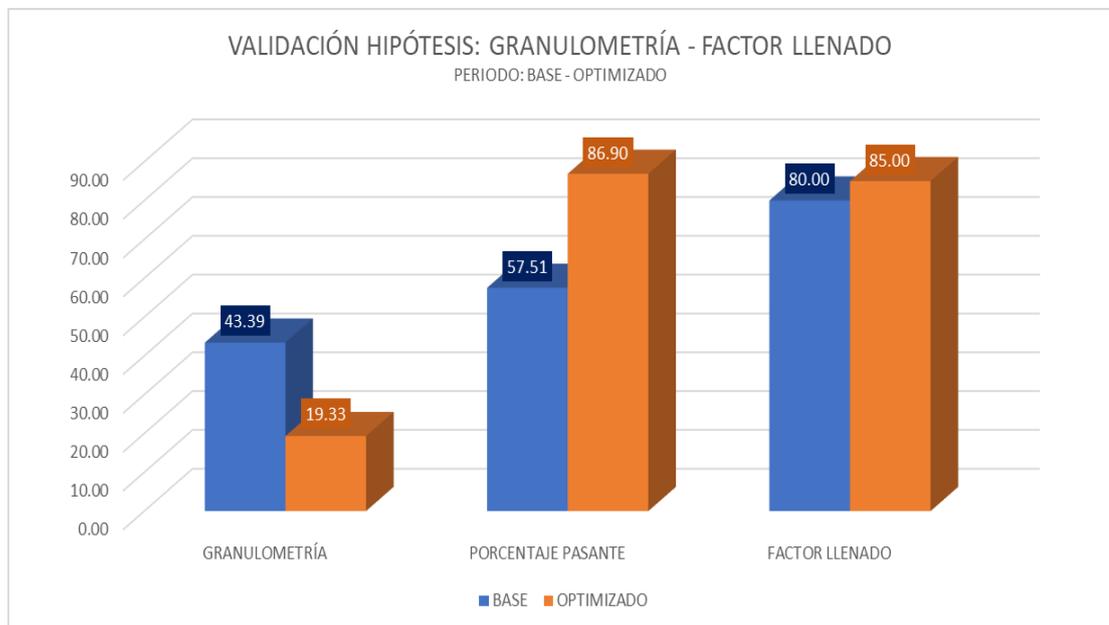


Figura 31. Validación hipótesis: granulometría y factor de llenado

El análisis de la granulometría en los *draw points* (cámaras) de los Tj 535 y Tj 402 durante los periodos base y optimizado indica una disminución de la granulometría de 43.39 a 19.33 cm., el que originó un incremento del porcentaje pasante de 57.51 % a 86.90 %, mejorando el

tonelaje acarreado y procesado. Así mismo, la disminución de la granulometría en 24.07 cm, durante los periodos analizados, permitió el incremento del factor de llenado de 80 % a 85 %, mejorando la capacidad efectiva de los equipos de carguío (scoops 4.2 yd³) y acarreo /volquetes 12 m³). El control de la granulometría en los periodos base y optimizado incide directamente en la capacidad efectiva de los equipos de carguío incrementando de 5.14 a 5.46 t/cuchara y en los equipos de acarreo de 24.80 a 25.18 t/viaje durante los periodos evaluados.

c) *Match factor*: scoops 4.2 yd³ y volquetes 12 m³

De acuerdo a los parámetros operacionales evaluados, la granulometría asociada, la capacidad efectiva, se determina el *match factor* asociado entre los equipos de carguío y acarreo considerando el número de pases en los periodos base y optimizado.

Tabla 15. Validación match factor: scoops 4.2 yd³ – volquetes 12 m³

VALIDACIÓN MATCH FACTOR: SCOOPS 4.2 YD3 - VOLQUETES 12 M3							
SCOOPS 4.2 yd3							
PERIODO	PERIODO	GRANULOMETRÍA (P80 - cm)	CAPACIDAD EFECTIVA SCOOP (ton)	TONELAJE ACARREADO (ton)	NÚMERO PASES EJECUTADO	NÚMERO PASES PROGRAMADO	MATCH FACTOR
ENERO	BASE	43.39	5.14	24.80	5	4.0	-0.8
FEBRERO - MARZO	OPTIMIZADO	19.33	5.46	25.18	3	4.0	1.2
MEJORA		-24.06	0.32	0.38	-2	4.00	0.4

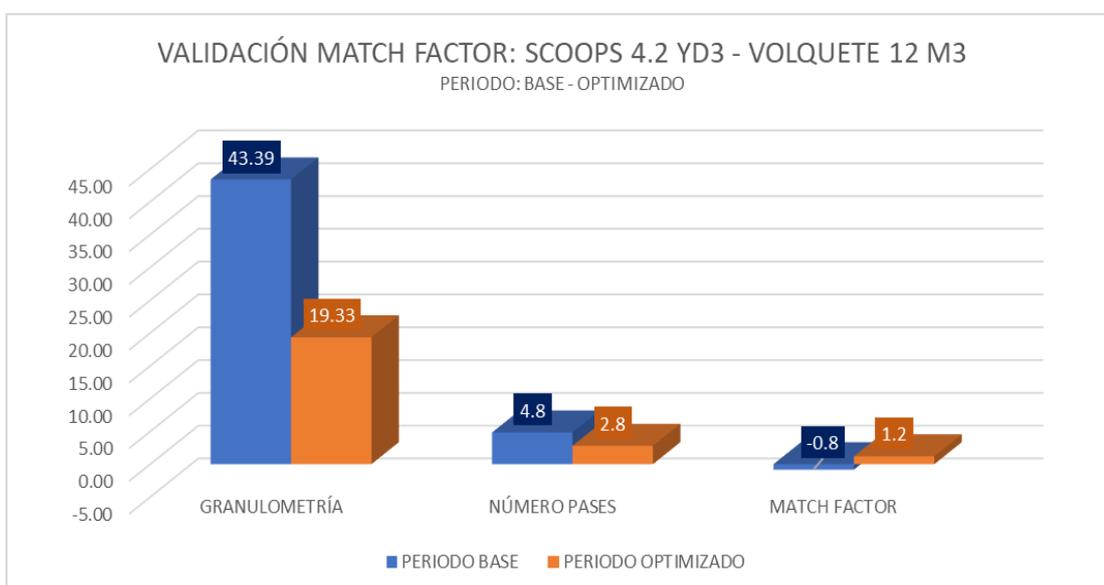


Figura 32. Validación match factor: scoops 4.2 yd³ y volquetes 12 m³

El *match factor* o factor de acoplamiento de los equipos de carguío y equipos de acarreo considera un número de pases ejecutado de 5 en el periodo base y de 3 pases en el periodo optimizado, estos resultados han sido comparados con el número de pases programado de 4 pases. El control o disminución de la granulometría en 24.06 cm, la mejora de la capacidad efectiva del scoop en 0.32 e incremento del tonelaje acarreado en 0.38 t/viaje mejora el rendimiento operacional (tonelaje acarreado) en los *draw points* (cámaras) en el Tj 402.

Finalmente, el análisis del *match factor* entre los scoops de 4.2 yd³ y volquetes de 12 m³, para el periodo base (enero) considera 5 pases, lo que incide directamente en la sobrecarga del material transportado afectando en el desgaste prematuro de los componentes mecánicos y eléctricos de los equipos de acarreo, así como el incremento de la disponibilidad, disminuyendo la utilización y afectando las horas efectivas operacionales. La mejora del *match factor* durante el periodo optimizado (febrero y marzo) considera un número de pases de 3, siendo el óptimo entre los rangos de 3 y 4, lo que indica una mejora en el rendimiento operacional controlando los parámetros analizados.

CONCLUSIONES

1. El presente estudio relacionó el *match factor* entre equipos de carguío y acarreo utilizados en la unidad minera, los cuales son relacionados con variables operacionales como tonelaje acarreado, número de cucharas de los equipos de carguío, granulometría, capacidad efectiva, etc., durante los periodos base y optimizado.
2. El número de cucharas o pases promedio diario durante los periodos de enero, febrero y marzo fueron de 28.59, 34.14 y 35.10 cucharas /día respectivamente, considerando el tonelaje por cuchara en el mismo periodo de 5.14, 5.46 y 5.46 t/cucharas, esto generó un incremento en el tonelaje acarreado de 24.80, 25.14 y 25.22 t/viaje en los mismos periodos de estudio. Esta mejora fue producto de un mejor control de la granulometría en los tajos evaluados, mejorando la capacidad efectiva de los equipos de acarreo (volvos de 12 m³).
3. El análisis de las variables operacionales analizadas durante las etapas base y optimizada consideran el incremento de números de cucharas de 28.59 y 34.62 diarias, incrementando en 6.03 cucharas/día, este mayor tonelaje en el scoop se incrementa el tonelaje acarreado en los periodos base y optimizado de 24.80 t/viaje a 25.18 t/viaje, con un incremento de 0.38 t/viaje, producto del control de la granulometría.
4. El análisis de la granulometría realizado durante el escenario base (enero) considera un P80 de 43.39 cm y un porcentaje pasante de 57.51 % considerando un tamaño de 30 cm. Para el periodo de febrero, considera un P80 de 17.71 cm y un porcentaje pasante de 88.90 % considerando un tamaño de 20 cm y para el mes de marzo considera un P80 de 20.94 cm y un porcentaje pasante de 84.89 % considerando un tamaño de 22 cm.
5. Los resultados del análisis de la granulometría demuestran que hubo una reducción de la granulometría entre el periodo base y optimizado de 43.39 a 17.71 cm, disminuyendo el tamaño pasante de 30 a 20 cm y mejorando el porcentaje pasante de 57.71 % a 88.90 %, incrementando el factor de llenado del 80 % al 85 %, mejorando la capacidad efectiva de los equipos de carguío e incrementando el tonelaje acarreado.
6. La capacidad efectiva de los scoops se incrementó durante los escenarios base y optimizado producto de una mejora del control o reducción del P80. Durante el escenario base y considerando un factor de llenado del 80 %, la capacidad efectiva de los scoops de 4.2 yd³ fue de 5.14 t/cuchara. Para el escenario optimizado (febrero y marzo), considera un factor de llenado del 85 %, se incrementa la capacidad efectiva del scoop en 5.46 t/cuchara. Este

mayor incremento de la capacidad influyó directamente en el tonelaje acarreado de 24.80 t/viaje a 25.18 t/viaje en los periodos evaluados.

7. El análisis del *match factor* entre los scoops de 4.2 yd³ y volquetes de 12 m³, considera valores de -0.8 y 1.2 en los escenarios base y optimizado respectivamente. Estos resultados están directamente relacionados al número de pases en los periodos evaluados, siendo 5 pases para el periodo base y de 3 pases para el periodo optimizado.
8. Los resultados obtenidos en el periodo base considera un menor tonelaje transportado de 24.80 t/viaje producto de una mayor granulometría en 43.39 cm. Para el periodo optimizado considera un incremento del tonelaje procesado en 25.18 t/viaje producto de una disminución de la granulometría con 19.33 cm, estos resultados es producto de la mejora del *match factor* en los equipos de carguío y acarreo.
9. Finalmente, el análisis del *match factor* entre los scoops de 4.2 yd³ y volquetes de 12 m³ para el periodo base (enero) considera 5 pases, lo que incide directamente en la sobrecarga del material transportado afectando en el desgaste prematuro de los componentes mecánicos y eléctricos de los equipos de acarreo, así como el incremento de la disponibilidad, disminuyendo la utilización y afectando las horas efectivas operacionales. La mejora del *match factor* durante el periodo optimizado (febrero y marzo) considera un número de pases de 3, siendo el óptimo entre los rangos de 3 y 4, lo que indica una mejora en el rendimiento operacional controlando los parámetros analizados.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda seguir realizando estudios similares en equipos de carguío y acarreo de la empresa MCEISA, en otras operaciones mineras.
2. Se recomienda realizar estudios de perforación y voladura en diferentes tajos y estructuras mineralizadas y ver la influencia de la granulometría posvoladura y el efecto en el rendimiento de equipos de carguío y acarreo.
3. Se recomienda incrementar más variables al presente estudio como distancia, utilización y disponibilidad para enriquecer los resultados obtenidos en el match factor.
4. Se recomienda analizar las diferentes actividades asociadas a los procesos unitarios de carguío y acarreo para determinar la pérdida de tiempo operacional y relacionar con el tonelaje cargado y acarreado.
5. Se recomienda realizar la evaluación económica entre el tonelaje producido y el tonelaje procesado, incidiendo en el *match factor* calculado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MOLINA, Sandra. Modelo de optimización de un sistema pala camión en una mina de carbón a cielo abierto. Tesis (Magister en Recurso Minerales). Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2021, 120 pp.
2. GONZÁLEZ, Héctor. Selección y asignación óptima de equipos de carguío para el cumplimiento de un plan de producción en minería a cielo abierto. Memoria (Título de Ingeniero Civil en Minas). Santiago: Universidad de Chile, 2017, 80 pp.
3. NEYRA, Abel. Estudio del cálculo de flota de camiones para una operación minera a cielo abierto. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Cerro de Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2020, 122 pp.
4. SOBERANES, Bryan. Análisis de los factores operacionales y su influencia en la productividad del proceso de transporte de mineral y desmonte en el NV 4025 de la Compañía Minera Argentum, UEA Codiciada 2019. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo: Universidad Continental, 2020, 108 pp.
5. RONDAN, Edwin. Producción real vs. producción potencial de equipos de carguío y acarreo y aplicación del match factor para determinar el número óptimo de volquetes mina Arasi. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2014, 112 pp.
6. MCEISA, data de equipos de carguío y acarreo, en la unidad minera, año 2024.

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1. *Tabla de matriz de operacionalización de variables*

Variables	Definición Conceptual	Definición operacional		
		Dimensiones	Sub-Dimensiones	Indicadores
VI: Mejora del rendimiento operacional de los <i>draw points</i> en taladros largos.	La mejora del rendimiento operacional de los <i>draw points</i> en taladros largos, involucra el cumplimiento de los planes de producción programados en la unidad minera.	<ul style="list-style-type: none"> • Departamento de geología • Departamento de geomecánica • Departamento de operaciones 	<ul style="list-style-type: none"> de Parámetros geológicos de Parámetros geomecánicos de Parámetros operacionales 	<ul style="list-style-type: none"> Yacimiento, alteraciones, leyes, etc. Propiedades macizo rocoso, densidad, etc. Plan de producción, leyes, rendimiento, etc.
VD: Análisis del match factor entre scoops y volquetes en cámaras de carguío.	El análisis del match factor, involucra el adecuado dimensionamiento de los equipos de carguío con los equipos de acarreo, para medir y controlar el rendimiento de los equipos.	<ul style="list-style-type: none"> • Parámetros de match factor. • Parámetros de rendimiento de equipos. 	<ul style="list-style-type: none"> de Operativos Técnicos 	<ul style="list-style-type: none"> Tonelaje, número pases, densidad, etc. Grado de fragmentación, factor de llenado, capacidad efectiva, etc.

ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOSTRATIGRAFICA	POT.	LITOLOGIA	DESCRIPCION
CENOZOICO	CUATERNARIO	Holoceno	Depósitos Aluviales			... Clastos redondeados de tamaños variables de matriz areno-limosa.
		Pleistoceno	Depósitos Fluvioglaciales			... Limoarcillitas y gravas débilmente compactadas.
	NEOGENO	Mioceno	GRUPO HUACHOCOLPA Fm. Caudalosa & Apacheta			
			Complejo Manchaylla	180 m.		... Lavas andesíticas, hasta riódacíticas, tobas soldadas gris verdosas, brechas de naturaleza andesítica, con diques de hipobisales de naturaleza latítica, latita cuarcífera.
			Complejo Tinquí	300 m.		... Lavas andesíticas, intercaladas con bancos de latita cuarcífera, brechas andesíticas, atravesadas por hipoabisales recientes de tipo latítico.
			Complejo Chosecc			... Lavas andesíticas, intercaladas con bancos de latitas, atravesadas por hipoabisales de naturaleza latítica.

Figura 2. Estratigrafía de la unidad minera
Tomada del Área Geología

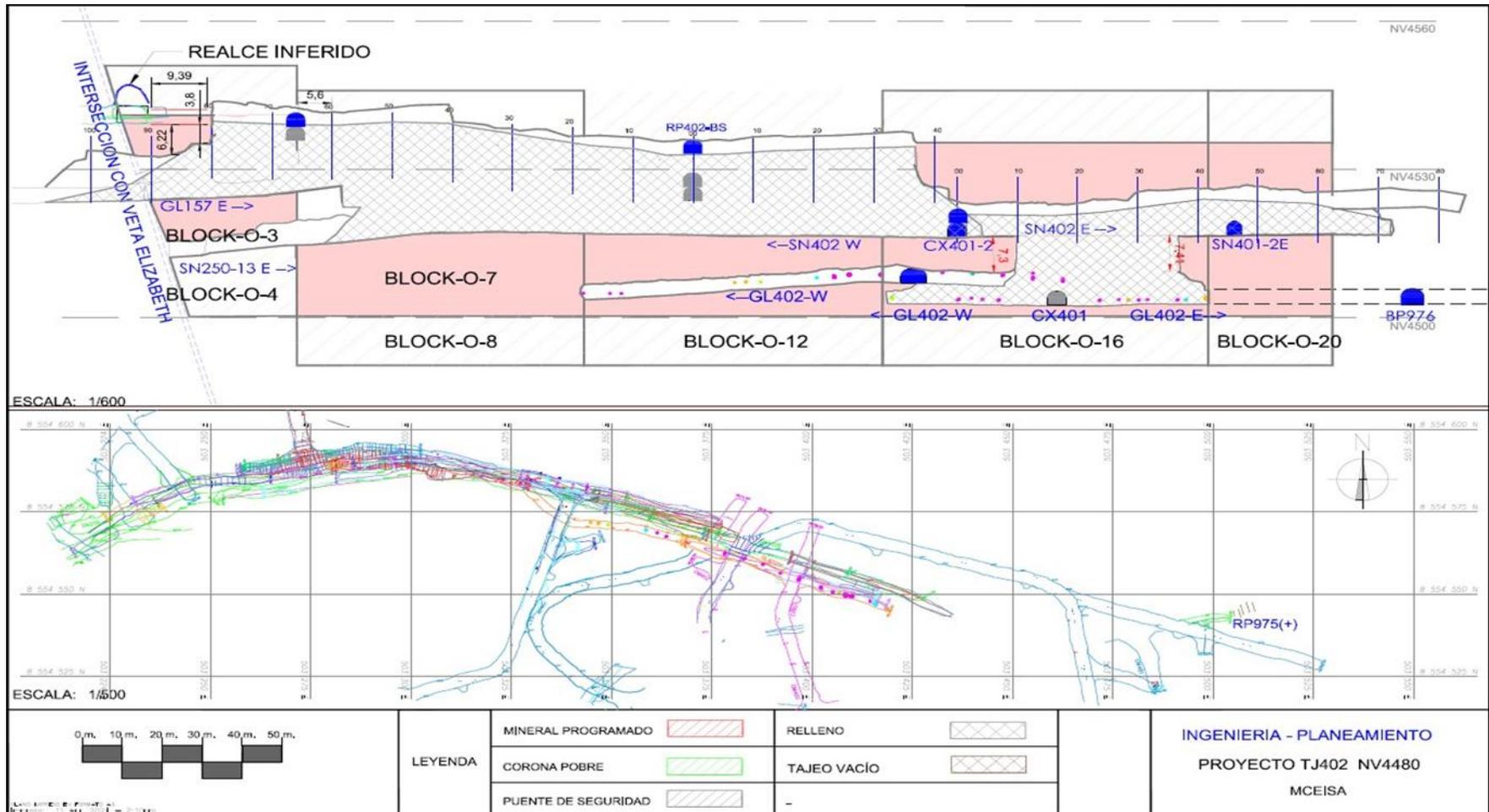


Figura 12. Área de estudio, Tj 402, Nv 4480

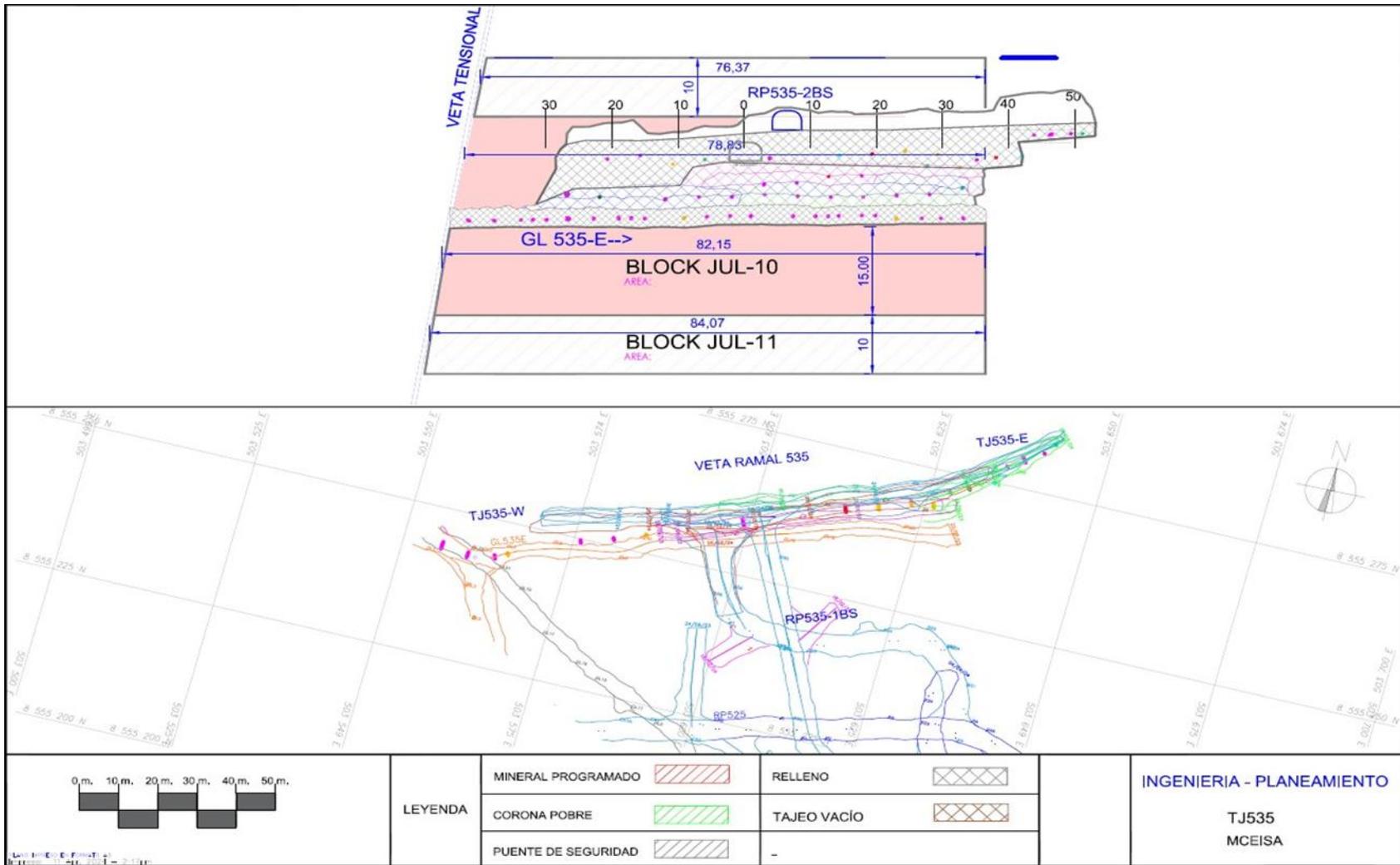
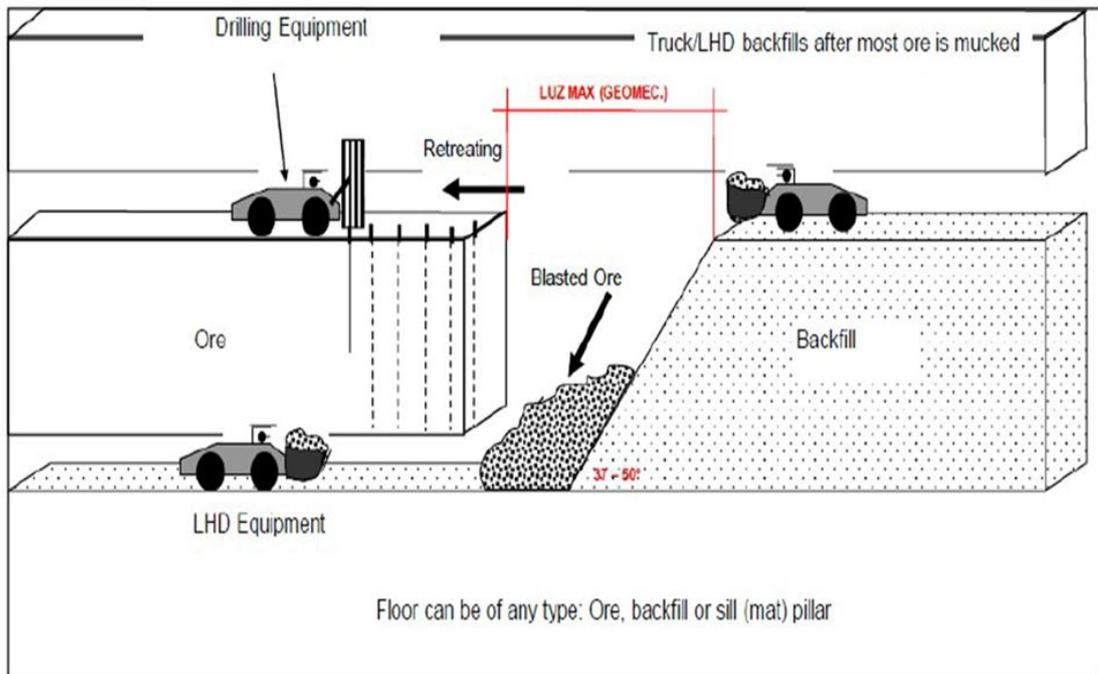


Figura 13. Área de estudio, Tj 535, Nv 4480



**Figura 5. Método de minado bench and fill
Tomada del Área Geomecánica**

Anexo 3

Fotos – Grado de fragmentación



Figura 10. Material de 23.10 cm., post voladura, Nv 4480



Figura 11. Material de 30.10 cm., post voladura, Nv 4480



Figura 16. Granulometría post voladura Tj 535, Nv 4480 escenario base (enero)

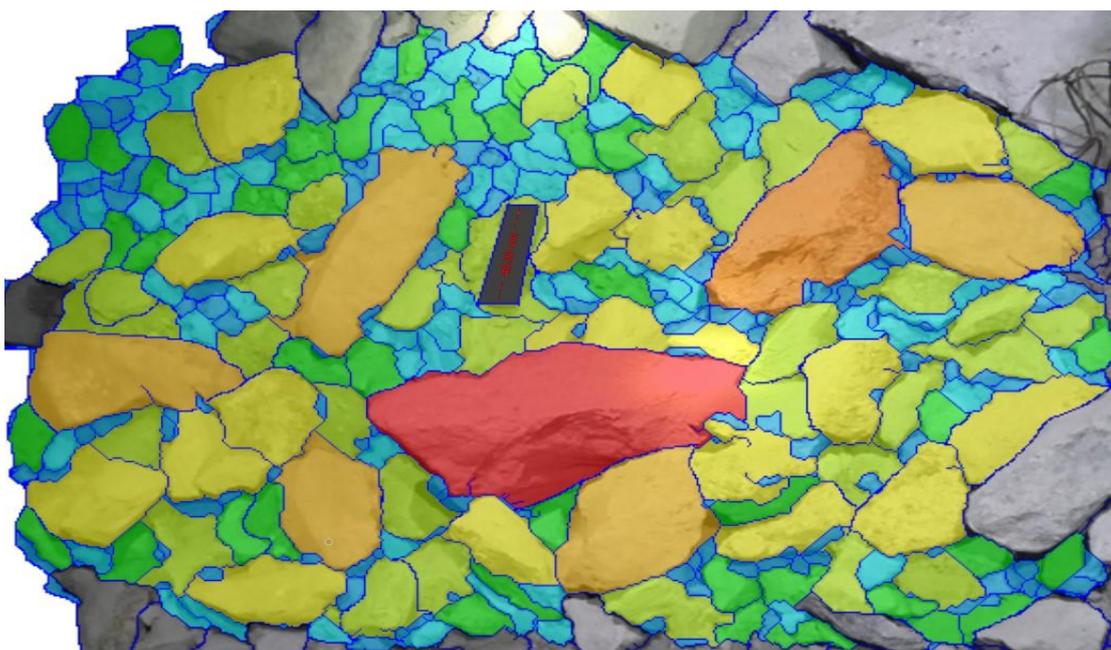


Figura 17. Análisis granulométrico Tj 535, Nv 4480 escenario base (enero)



Figura 19. Granulometría post voladura Tj 402, Nv 4480 escenario optimizado(febrero)

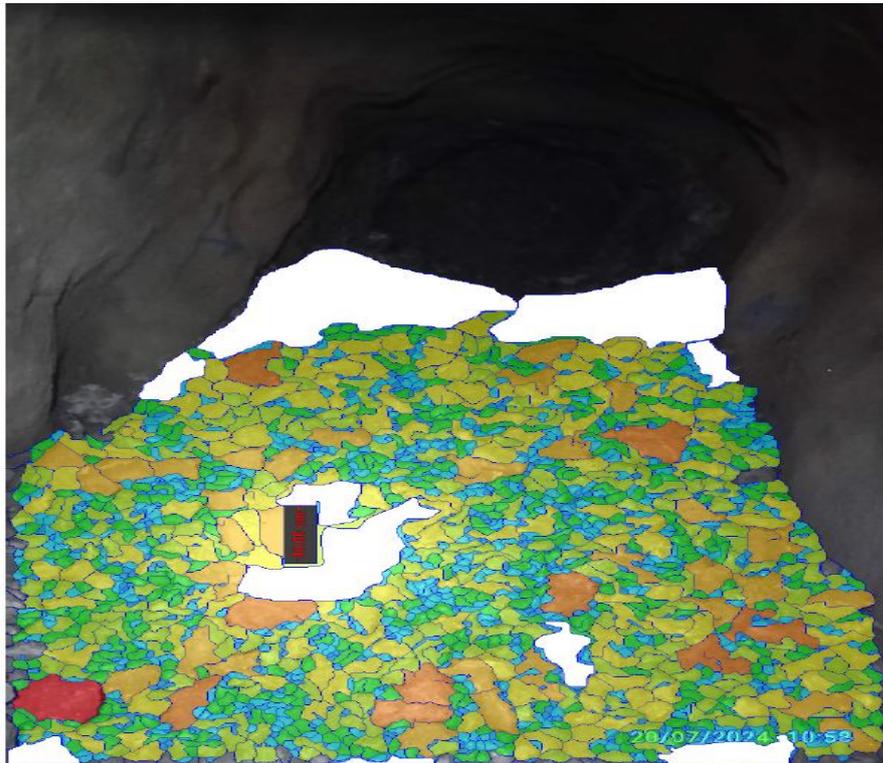


Figura 20. Análisis granulométrico Tj 402, Nv 4480 escenario optimizado (febrero)



Figura 22. Granulometría post voladura Tj 402, Nv 4480 escenario optimizado(marzo)

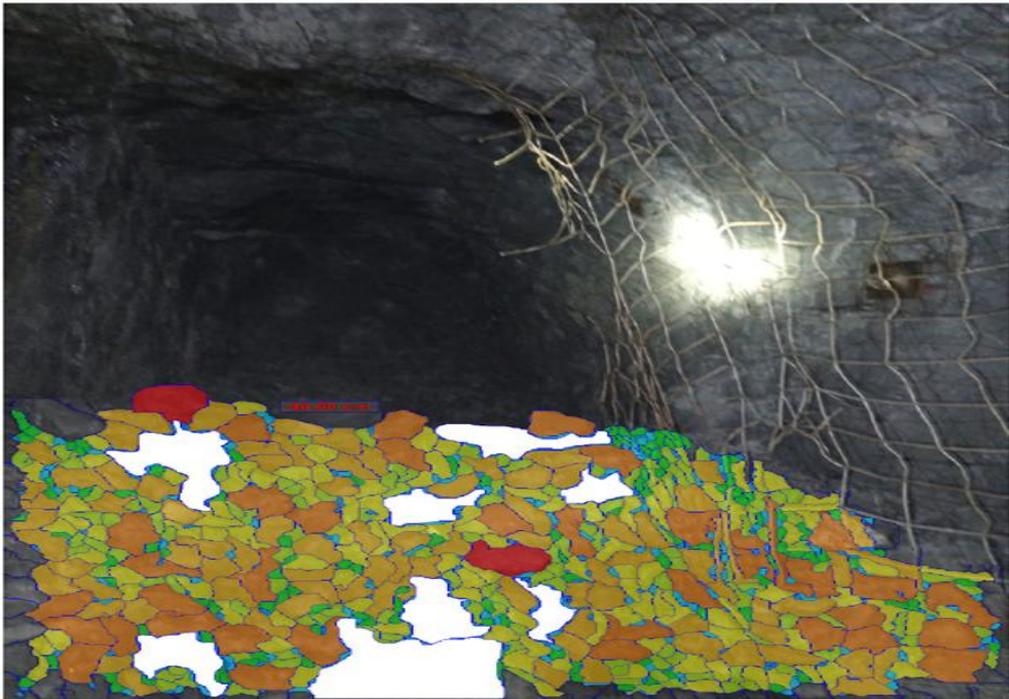


Figura 23. Análisis granulométrico Tj 402, Nv 4480 escenario optimizado (marzo)