

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MECÁNICA EN EQUIPOS
DE BAJO PERFIL PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL
AVANCE EN LABORES MINERAS DE LA COMPAÑÍA MINERA
CONDESTABLE - LIMA**

PRESENTADO POR:

Br. AXEL RODRIGO CARRILLO LOAYZA

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO DE MINAS**

ASESOR:

Dr. MAURO VALDIVIA JORDÁN

CUSCO – PERÚ

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

VICE RECTORADO DE INVESTIGACIÓN

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe asesor del trabajo de investigación titulado: **“EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MECÁNICA EN EQUIPOS DE BAJO PERFIL PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL AVANCE EN LABORES MINERAS DE LA COMPAÑÍA MINERA CONDESTABLE - LIMA”**

Presentado por **AXEL RODRIGO CARRILLO LOAYZA**, con DNI 72181609 código universitario Nro. **150219**, para optar al Título Profesional de: **INGENIERO DE MINAS**. Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 03 (Tres) veces, mediante el software antiplagio Turnitin, conforme al Artículo 6° del presente reglamento y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de: **10% (diez por ciento)**.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación, tesis, textos, libros, revistas, artículos científicos, material de enseñanza y otros (Art. 7, inc. 2 y 3)

Porcentaje	Evaluación y acciones.	Marque con una X
Del 1 al 10 %	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30%	Devolver al usuario para las correcciones.	-----
Mayores a 31 %	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a ley.	-----

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera hoja del reporte del software antiplagio.

Cusco, 22 de noviembre de 2024.

FIRMA

POST FIRMA: Dr. Ing. Mauro Valdivia Jordán
DNI Nro.: 23833142

ORCID ID: 0000-0002-7880-4637

Se adjunta:

1. Reporte Generado por el sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: **oid: 27259:408297966**

AXEL RODRIGO CARRILLO LOAYZA

EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MECÁNICA EN EQUIPOS DE BAJO PERFIL PARA MEJORAR LA PRODUCTIVI...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:408297966

Fecha de entrega

22 nov 2024, 8:29 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

22 nov 2024, 8:48 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MECÁNICA EN EQUIPOS DE BAJO PERFIL PARA MEJORAR LApdf

Tamaño de archivo

6.1 MB

144 Páginas

26,055 Palabras

137,885 Caracteres

10% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 20 palabras)
- ▶ Trabajos entregados

Exclusiones

- ▶ N.º de fuentes excluidas

Fuentes principales

- 10%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
1974 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

Con mucho amor y cariño para mi madre Bery y mi hermana Ximena, por su incansable apoyo en cada paso de este camino y fuente de inspiración constante. Asimismo para mis queridos y adorables abuelos Bery y Felipe por sus sabias enseñanzas y el ejemplo de fortaleza que siempre me han guiado.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, le agradezco a Dios por haberme acompañado y orientado durante mi trayectoria profesional, por ser mi pilar en los instantes de vulnerabilidad y por proporcionarme una vida repleta de aprendizajes y vivencias.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, a la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas por brindar mi formación personal y profesional, agradezco a mis docentes de mi Escuela Profesional, quienes con su dedicación y pasión, han enriquecido mi formación y me han guiado en este proceso, en particular a mi asesor, el Ingeniero Mauro Valdivia Jordán, quien me brindó constante apoyo y aliento en el transcurso de la preparación de este estudio de investigación.

También, mi reconocimiento a la Compañía Minera Condestable por ofrecerme la oportunidad de aplicar lo aprendido en un entorno real y por enriquecer mi experiencia académica. También quiero agradecer a mis compañeros de trabajo, por su colaboración y apoyo durante este proceso.

Por último, a mi familia, por su amor incondicional y por depositar su confianza en mí en cada instante. Agradezco su paciencia y su constante presencia en los momentos más complicados. Este logro es tanto suyo como mío.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, en la industria minera, ya sea subterránea o a cielo abierto, las labores de carguío y acarreo de mineral/desmante son vitales para cumplir con las metas operativas y son esenciales para asegurar la continuidad de la compañía y así lograr el máximo beneficio en la extracción del mineral. Por lo tanto, los equipos deben asegurar un alto nivel de optimización para lograr la producción prevista diariamente en una Empresa Minera.

La presente investigación se ha realizado con el objetivo de evaluar la disponibilidad mecánica de equipos de bajo perfil (scoop y volquetes), para contribuir a la mejora de la productividad de los equipos en el proceso de carguío y acarreo del tajo Tj-6125, Tj-6590 al echadero de mineral ubicadas en el nv-490 y nv-520 de la zona baja de la Unidad Raúl – Compañía Minera Condestable S.A., cuyo desarrollo consta de cuatro capítulos que lo sintetizo brevemente a continuación:

El Capítulo I, expone aspectos generales enfocados en la problemática de la investigación, tomando en cuenta aspectos como: identificación y planteamiento del problema, formulación del problema, establecimiento de objetivos, justificación e importancia de la investigación, delimitación de la investigación, formulación de hipótesis e identificación de variables.

El Capítulo II, aborda el marco teórico considerando: antecedentes del problema, bases teóricas y definición de términos básicos.

El Capítulo III, detalla la metodología y técnicas de investigación comprendiendo: tipo y nivel de investigación, diseño de investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos.

El Capítulo IV, aborda la evaluación de la investigación teniendo los siguientes aspectos: Disponibilidad mecánica de equipos de bajo perfil, análisis de las fallas más comunes de los equipos, Utilización de equipos, análisis de los tiempos de operación de carguío y

acarreo, productividad, costo de operación, influencia de las actividades improductivas de los equipos de bajo perfil y el programa de mantenimiento de equipos.

El Capítulo V, aborda el análisis y discusión de resultados del trabajo de investigación.

Finalmente se complementa con las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y los respectivos anexos del presente trabajo de investigación.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la zona baja de la Unidad Minera Raúl de la Compañía Minera Condestable S.A. con el objetivo de evaluar la disponibilidad mecánica de equipos de bajo perfil (scoop y volquetes), para contribuir a la mejora de la productividad de los equipos en el proceso de carguío y acarreo del tajo Tj-6125, Tj-6590 al echadero de mineral ubicadas en el nv-490 y nv-520, donde se presentaron algunas deficiencias como la baja disponibilidad mecánica promedio de equipos del 80%, siendo lo óptimo mayor o igual a 85%, así mismo una baja productividad que se refleja en el incumplimiento de producción diaria cuya meta es 1500 ton/día, llegando a producir el 70% de lo programado diariamente. Como opción de solución se ha propuesto la evaluación de la disponibilidad mecánica de los equipos de carguío y acarreo, análisis de las fallas más comunes de los equipos, análisis de tiempos del ciclo de carguío y acarreo, productividad de los equipos, cálculo del rendimiento de los equipos, análisis de tiempos improductivos con el uso del diagrama de Pareto, el cálculo del FA para hallar la flota óptima de acarreo y el programa de mantenimiento preventivo de equipos. Con el estudio de la investigación se logró determinar las fallas con mayor incidencia las cuales fueron, fugas de aceite en el equipo, ruptura de pernos en crucetas, batería del equipo en mal estado, cuchara del equipo en mal estado, entre otros. Se logró obtener el tiempo de ciclo de carguío fue de 7.3 min/ciclo con 8.3 viajes/hr y un rendimiento de 85 Ton/hr, para el ciclo de acarreo se logró obtener el tiempo de ciclo de 33.2 min/ciclo con 1.9 viajes/hr y un rendimiento de 40.2 Ton/hr. Se identificó las actividades improductivas mediante el diagrama de Pareto, siendo las de mayor incidencia la cola de volquetes, espera del scoop y las reparaciones mecánicas no programadas. Se determinó que la flota óptima es de 5 volquetes para ambos frentes de trabajo lo que resulta en un mayor beneficio para la Compañía.

Palabras Clave: Disponibilidad mecánica, carguío y acarreo, labores, mantenimiento, productividad.

ABSTRACT

This research work was carried out in the lower area of the Raúl Mining Unit of the Condestable Mining Company S.A. with the objective of evaluating the mechanical availability of low profile equipment (scoop and dump trucks), to contribute to the improvement of the productivity of the equipment in the loading and hauling process of the Tj-6125, Tj-6590 pit to the ore dump located in nv-490 and nv-520, where some deficiencies were presented such as the low average mechanical availability of equipment of 80%, the optimum being greater than or equal to 85%, as well as low productivity that is reflected in the non-compliance of daily production whose goal is 1500 ton / day, reaching to produce 70% of what is scheduled daily. As a solution option, the evaluation of the mechanical availability of the loading and hauling equipment, analysis of the most common equipment failures, analysis of loading and hauling cycle times, equipment productivity, calculation of equipment performance, analysis of unproductive times using the Pareto chart, calculation of the FA to find the optimal hauling fleet and the preventive equipment maintenance program have been proposed. With the research study, it was possible to determine the most frequent failures, which were: oil leaks in the equipment, broken bolts in crossheads, equipment battery in poor condition, equipment bucket in poor condition, among others. It was possible to obtain the loading cycle time of 7.3 min/cycle with 8.3 trips/hr and a performance of 85 Ton/hr, for the hauling cycle it was possible to obtain the cycle time of 33.2 min/cycle with 1.9 trips/hr and a performance of 40.2 Ton/hr. Unproductive activities were identified using the Pareto chart, with the most frequent being the queue of dump trucks, waiting for the scoop, and unscheduled mechanical repairs. It was determined that the optimal fleet is 5 dump trucks for both work fronts, which results in a greater benefit for the Company.

Keywords: Mechanical availability, loading and hauling, tasks, maintenance, productivity.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
INTRODUCCIÓN	IV
RESUMEN.....	VI
ABSTRACT.....	VII
ÍNDICE	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XV
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVI
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	XVIII
CAPITULO I.....	17
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	17
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.2.1. <i>PROBLEMA GENERAL</i>	18
1.2.2. <i>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</i>	18
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.3.1. <i>OBJETIVO GENERAL</i>	19
1.3.2. <i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	19
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	19
1.5. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.5.1.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL	20
1.5.1.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL.....	20
1.6. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	20

1.6.1. HIPÓTESIS GENERAL	20
1.6.2. HIPÓTESIS ESPECIFICAS.....	20
1.7. VARIABLES E INDICADORES	21
1.7.1. VARIABLE INDEPENDIENTE	21
1.7.2. VARIABLE DEPENDIENTE	21
1.7.3. MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN.....	21
CAPITULO II	22
MARCO TEÓRICO	22
2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	22
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	22
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	23
2.2. BASES TEÓRICAS	25
2.2.1. HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN DE PROCESOS.....	25
2.2.1.1 CICLO PDCA(Plan, Do, Check and Act)	25
2.2.1.2 DIAGRAMA DE PARETO.....	26
2.2.1.3 ANÁLISIS CAUSA-EFECTO	26
2.2.2. EQUIPOS DE BAJO PERFIL	27
2.2.2.1 EQUIPOS DE CARGUÍO (LHD – SCOOPS)	27
2.2.2.2 EQUIPOS DE ACARREO (VOLQUETES).....	28
2.2.3. MANTENIMIENTO PREVENTIVO, CORRECTIVO, PREDICTIVO	30
2.2.3.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO	30
2.2.3.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO	30
2.2.3.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	30
2.2.4. TIEMPOS DE OPERACIÓN MINERA.....	31
2.2.5. INDICADORES DE GESTIÓN DE TIEMPOS.....	32

2.2.5.1 DISPONIBILIDAD MECÁNICA (DM).....	32
2.2.5.2 DISPONIBILIDAD FÍSICA (DF).....	33
2.2.5.3 UTILIZACIÓN/ USO DE LA DISPONIBILIDAD (UA).....	33
2.2.5.4 TIEMPO MEDIO ENTRE FALLA (MEAN TIME BETWEEN FAILURES)	34
2.2.5.5 TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN (MTTR).....	34
2.2.5.6 CONFIABILIDAD – R (RELIABILITY).....	35
2.2.6. PRODUCTIVIDAD DE EQUIPOS.....	35
2.2.7. ELEMENTOS EN EL CÁLCULO DEL COSTO HORARIO	36
2.2.8. REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL EN MINERÍA....	37
2.2.9. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	38
CAPITULO III.....	43
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	43
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	43
3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	43
3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	44
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA	44
3.4.1. POBLACIÓN.....	44
3.4.2. MUESTRA.....	44
3.4.2.1 TIPO DE MUESTRA	44
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	44
3.5.1. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	44
3.5.2. INSTRUMENTOS	45
3.6. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS	45
CAPITULO IV	46

EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MECÁNICA EN EQUIPOS DE BAJO PERFIL PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN LABORES MINERAS DE LA COMPAÑÍA MINERA CONDESTABLE S.A.46

4.1. DESARROLLO DE LA MINA.....	46
4.2. LABORES MINERAS EN EJECUCIÓN UNIDAD RAÚL.....	48
4.2.1. LABORES DE DESARROLLO	48
4.2.2. LABORES DE PREPARACIÓN.....	49
4.2.3. LABORES DE EXPLOTACIÓN.....	50
4.3. DESCRIPCIÓN DE OPERACIONES DE CARGUÍO Y ACARREO	51
4.3.1. OPERACIÓN DE CARGUÍO	51
4.3.2. OPERACIÓN DE ACARREO	52
4.4. IDENTIFICACIÓN DE LA ZONA DE TRABAJO EN ESTUDIO	54
4.5. EQUIPOS DE BAJO PERFIL DE CARGUÍO Y ACARREO UTILIZADOS	56
4.5.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS EQUIPOS DE CARGUÍO.....	57
4.5.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS EQUIPOS DE ACARREO.....	58
4.5.3. OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS DE CARGUÍO	58
4.5.3.1 DISPONIBILIDAD MECÁNICA DE LOS EQUIPOS DE CARGUÍO.....	58
4.5.3.2 UTILIZACIÓN DE EQUIPOS DE CARGUÍO	64
4.5.3.3 RENDIMIENTOS DE EQUIPOS DE CARGUÍO.....	66
4.5.4. OPERACIÓN DE EQUIPOS DE ACARREO	74
4.5.4.1 DISPONIBILIDAD MECÁNICA DE EQUIPOS DE ACARREO	74
4.5.4.2 UTILIZACIÓN DE LOS EQUIPOS DE ACARREO.....	78
4.5.4.3 RENDIMIENTOS DE EQUIPOS DE ACARREO	80
4.5.5. ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS TIEMPOS IMPRODUCTIVOS DE EQUIPOS DE CARGUÍO Y ACARREO	85
4.5.6. FACTOR DE ACOPLAMIENTO (FA).....	89

4.5.7. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE EQUIPOS DE CARGUÍO Y ACARREO	91
4.5.7.1 KPI'S DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DE CARGUÍO Y ACARREO	93
CAPITULO V.....	95
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	95
5.1. DISPONIBILIDAD MECÁNICA	95
5.1.1. DISPONIBILIDAD MECÁNICA DE EQUIPOS DE CARGUÍO	95
5.1.2. DISPONIBILIDAD MECÁNICA DE EQUIPOS DE ACARREO	97
5.2. ANÁLISIS DE DATOS DE CONTROL DE TIEMPOS	99
5.3. INFLUENCIA DE LOS TIEMPOS IMPRODUCTIVOS DE EQUIPOS DE CARGUÍO Y ACARREO.....	102
5.4. FACTOR DE ACOPLAMIENTO (FA)	103
5.5. INFLUENCIA DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	104
5.5.1. KPI'S DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DE BAJO PERFIL.....	105
5.6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	106
CONCLUSIONES.....	110
RECOMENDACIONES	112
BIBLIOGRAFÍA.....	113
ANEXOS.....	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ciclo de mejora continua, Ciclo PDCA	25
Figura 2 Diagrama de Pareto	26
Figura 3 Análisis de Causa-Efecto.....	27
Figura 4 Equipo LHD-Scooptram.....	28
Figura 5 Equipo de transporte Volquete Volvo FMX	29
Figura 6 Distribución de tiempos de Operación Minera.....	31
Figura 7 Elementos considerados en la determinación del coto horario de equipos	37
Figura 8 Unidad Raúl y Condestable divididas en las Zonas A, B.....	47
Figura 9 Labor de desarrollo Rp 78	49
Figura 10 Blocks por método de explotación Sublevel stoping	50
Figura 11 Perforación positiva con equipo Simba.....	51
Figura 12 Operación de carguío con scoop de 6yd3 zona baja Unidad Raúl	52
Figura 13 Ciclo de acarreo con volquetes de 35 tn.....	53
Figura 14 Flota de Volquetes en la Compañía Minera Condestable	54
Figura 15 Modelamiento para Sublevel stoping TJ_6125 zona baja Unidad Raúl	55
Figura 16 Mineral post voladura, TJ_6125 zona baja Unidad Raúl	55
Figura 17 Mineral post voladura TJ_6590 zona baja Unidad Raúl	56
Figura 18 Scoop CAT R1600G de 6yd3.....	57
Figura 19 Volquete Volvo 8x4 de 35 Tn	57
Figura 20 Rendimiento de flota vs Factor de Acoplamiento	89
Figura 21 Ciclo de mantenimientoMP1, MP2, MP3, MP4	92
Figura 22 Formato del programa de mantenimiento preventivo de equipos de carguío	92
Figura 23 Formato del programa de mantenimiento preventivo de equipos de acarreo.....	93
Figura 24 Ubicación geográfica de la Compañía Minera Condestable	117

Figura 25	Mapa de accesibilidad de Lima a la Compañía Minera Condestable.....	118
Figura 26	Columna litoestratigráfica de la mina Raúl-Condestable.....	121
Figura 27	Perfil geológico de la mina Raúl y mina Condestable	124
Figura 28	Ubicación de las estructuras mineralizadas.....	128
Figura 29	Método de explotación Sublevel Stopping.....	131
Figura 30	Vista del block mineralizado explotado por “Cámaras y pilares”.....	132
Figura 31	Vista del block mineralizado explotado por “Shrinkage”	133
Figura 32	Scoop CAT R1600G	136
Figura 33	Diagrama de flujo planta de sulfuros	138

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Disponibilidad mecánica de equipos de carguío de (Enero a Marzo)	61
Gráfico 2 Horas acumuladas de mantenimiento de los equipos de carguío.....	61
Gráfico 3 Diagrama de Pareto de las fallas más comunes en los equipos de carguío	63
Gráfico 4 Valores de la Utilización de (Enero a Marzo) de los equipos de carguío.....	65
Gráfico 5 Tiempos promedio de carguío por lampón del scoop al volquete	71
Gráfico 6 Valores de disponibilidad mecánica en equipos de acarreo	76
Gráfico 7 Tiempos de mantenimiento de la flota de equipos de acarreo	77
Gráfico 8 Diagrama de Pareto de la fallas más comunes de lo equipos de acarreo.....	78
Gráfico 9 Resumen de los valores de utilización de los equipos de acarreo	80
Gráfico 10 Diagrama de Pareto de tiempos de actividades no productivas de equipos de carguío	86
Gráfico 11 Diagrama de Pareto de tiempos de actividades no productivas de equipos de acarreo	88
Gráfico 12 Disponibilidad mecánica de equipos de carguío de (Enero a Marzo)	96
Gráfico 13 Diagrama de Pareto de las fallas más comunes en los equipos de carguío	97
Gráfico 14 Valores de disponibilidad mecánica en equipos de acarreo	98
Gráfico 15 Diagrama de Pareto de la fallas más comunes de los equipos de acarreo	99
Gráfico 16 Rendimiento (ton/hr) equipos de carguío medido vs estándar mina	100
Gráfico 17 Rendimiento de equipos de acarreo medido vs estándar mina	101
Gráfico 18 Diagrama de Pareto de tiempos de actividades no productivas de equipos de carguío	102
Gráfico 19 Diagrama de Pareto de tiempos de actividades no productivas de equipos de acarreo	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Matriz de Operacionalización de Variables	21
Tabla 2 Metas físicas de Avance mensual en Labores de Desarrollo	48
Tabla 3 Metas Físicas de Avance en Labores de Preparación	49
Tabla 4 Equipos de bajo perfil de carguío y acarreo utilizados	56
Tabla 5 Caracterización del equipo de carguío	57
Tabla 6 Caracterización de l.....	58
Tabla 7 Parámetros de los indicadores de rendimiento de equipos de carguío en la Unidad Raúl	59
Tabla 8 Horas mensuales registradas de los equipos de carguío	59
Tabla 9 Valores de la Disponibilidad mecánica de los equipos de carguío	60
Tabla 10 Fallas más comunes de los equipos de carguío.....	62
Tabla 11 Valores de la Utilización de los equipos de carguío	65
Tabla 12 Parámetros operacionales de equipos de carguío Unidad Raúl	66
Tabla 13 Velocidad promedio de traslado del equipo de carguío.....	67
Tabla 14 Distancia desde los tajos(draw point) a la cámara de carguío	68
Tabla 15 Tiempo del ciclo de carguío del TJ_6125 a cámara de carguío nv-490	69
Tabla 16 Tiempo del ciclo de carguío del TJ_6590 a cámara de carguío nv-520	70
Tabla 17 Resumen de tiempos promedio de carguío desde los tajos en explotación a las cámaras de carguío.....	71
Tabla 18 Costo de operación de equipos de carguío.....	73
Tabla 19 Horas mensuales registradas de los equipos de acarreo.....	74
Tabla 20 Resumen de los valores de Disponibilidad mecánica en equipos de acarreo	75
Tabla 21 Fallas más comunes de los equipos de acarreo	77
Tabla 22 Resumen de los valores de utilización de los equipos de acarreo.....	79

Tabla 23 Resumen de los tiempos de ida con carga de los equipos de acarreo	81
Tabla 24 Resumen de los tiempos de retorno vacío de los equipos de acarreo	82
Tabla 25 Tiempos de maniobras de los equipos de acarreo.....	83
Tabla 26 Costo de operación de equipos de acarreo	85
Tabla 27 Tiempos de actividades no productivas de equipos de carguío	86
Tabla 28 Tiempos de actividad no productivas de equipos de acarreo.....	87
Tabla 29 MTBF y MTTR de equipos de acarreo.....	94
Tabla 30 Valores de la Disponibilidad mecánica de los equipos de carguío	95
Tabla 31 Resumen de los valores de Disponibilidad mecánica en equipos de acarreo	98
Tabla 32 Rendimiento Scooptram 6 yd3 medido y estándar mina	100
Tabla 33 Rendimiento de volquetes medido y estándar mina	101
Tabla 34 MTBF Y MTTR de equipos de bajo perfil	106
Tabla 35 Ruta de acceso a la Compañía Minera Condestable	118
Tabla 36 Leyes promedio (Ley de corte)	126
Tabla 37 Datos de mineral extraído, mineral de cabeza y porcentaje de recuperación	129
Tabla 38 Reservas de mineral de la Compañía Minera Condestable.....	129
Tabla 39 Recursos de mineral de la Compañía Minera Condestable	130
Tabla 40 Resultado post-voladura.....	135

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

DM	Disponibilidad Mecánica
UA	Utilización
R	Confiabilidad
MTBF	Mean Time Between Failures (Tiempo medio entre fallas)
MTTR	Mean Time To Repair (Tiempo medio para reparar)
FA	Factor de acoplamiento
LHD	Load-Haul-Dump (Carga, acarreo y descarga)
\$/t	Dólares por tonelada.
gr/t	Gramos por tonelada.
Mt	Millones de toneladas métricas.
TPA	Toneladas métricas por año.
TPD	Toneladas métricas por día.
TM/Hr	Toneladas métricas por hora.
TM/m ³	Toneladas métricas por metro cúbico.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Compañía Minera Condestable S.A. es una empresa dedicada al procesamiento y venta de concentrados de cobre con contenidos de oro y plata, que se obtiene a través de la explotación de sus yacimientos de dos minas contiguas, Condestable y Raúl, las cuales alimentan una planta de flotación de sulfuros de 7,000 TPD, el método de explotación empleado en su mayoría, es el método sublevel stoping, para el sistema de carguío se emplea equipos scoop de 4 a 6 yd³ y para el acarreo volquetes de 35 ton. La eficiencia de la maquinaria utilizada es crucial para garantizar la productividad y rentabilidad del proceso extractivo, los equipos de bajo perfil, empleados en la carguío y acarreo de material, representan una parte esencial en este tipo de operaciones. Sin embargo, uno de los mayores desafíos que enfrenta la empresa minera es asegurar una alta disponibilidad mecánica y productividad de estos equipos, ya que cualquier fallo o ineficiencia en su operación puede generar pérdidas significativas en tiempo y recursos.

En el proceso de carguío y acarreo desde los tajos en explotación Tj-6125 y Tj-6590 al echadero de mineral ubicado en el nv-490 de la zona baja de la Unidad Raúl, se presentaron algunas deficiencias como la baja disponibilidad mecánica promedio de equipos del 80%, siendo lo óptimo mayor o igual a 85%, así mismo la baja productividad que se refleja en el incumplimiento de producción diaria cuya meta es 1500 ton/día, llegando a producir el 70% de

lo programado diariamente. La relación entre la disponibilidad mecánica y la productividad de estos equipos es de carácter directo, equipos que no están disponibles para operar debido a fallos o tiempos de inactividad innecesarios no pueden contribuir a la productividad de la operación minera. Además, una productividad baja implica una menor cantidad de material transportado en un periodo de tiempo, lo que afecta negativamente los resultados operativos y financieros de la mina.

El planteamiento del problema radica en identificar las causas subyacentes de la baja disponibilidad mecánica y productividad de los equipos Scoop y Volquete, para implementar estrategias de mantenimiento, optimización de los procesos operativos y otros factores que puedan maximizar tanto la disponibilidad mecánica como la productividad, asegurando una operación minera más eficiente, rentable y sostenible.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

- ¿Cómo mejorar la productividad en labores mineras mediante la evaluación de la disponibilidad mecánica en equipos de bajo perfil en la Compañía Minera Condestable?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cómo influye el estudio de tiempos de los equipos de bajo perfil en el proceso de carguío y acarreo para la mejora de la productividad en la Compañía Minera Condestable S.A.?
- ¿Cómo influye el uso del diagrama de Pareto para identificar los tiempos improductivos de los equipos de bajo perfil en la Compañía Minera Condestable S.A.?
- ¿Qué impacto tiene el programa de mantenimiento en la disponibilidad y productividad de los equipos de bajo perfil en la Compañía Minera Condestable S.A.?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Mejorar la productividad en labores mineras mediante la evaluación de la disponibilidad mecánica en equipos de bajo perfil en la Compañía Minera Condestable S.A.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un estudio de tiempos de los equipos de bajo perfil en el proceso de carguío y acarreo para la mejora de la productividad en la Compañía Minera Condestable S.A.
- Identificar los tiempos improductivos de los equipos de bajo perfil mediante el uso del diagrama de Pareto en la Compañía Minera Condestable S.A.
- Analizar el efecto del programa de mantenimiento en la disponibilidad y productividad de los equipos de bajo perfil en la Compañía Minera Condestable S.A.

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El presente estudio se justifica debido a la necesidad de mejorar la productividad y disponibilidad de los equipos de bajo perfil en las operaciones mineras de la Compañía Minera Condestable. Estos equipos son esenciales para el carguío y acarreo de mineral, y su buen desempeño influye directamente en la eficiencia y rentabilidad de la operación minera. La falta de disponibilidad y la baja productividad de los equipos no solo afectan los resultados de producción diaria, sino que también generan costos adicionales asociados con tiempos de inactividad, reparaciones imprevistas y una planificación deficiente.

El estudio es relevante porque permitirá identificar las causas principales que afectan la disponibilidad mecánica de los equipos, a través de herramientas analíticas como el Diagrama de Pareto, el estudio de tiempos y un enfoque en el mantenimiento preventivo. Además, con un diagnóstico claro, se podrán maximizar el tiempo de funcionamiento de los equipos de bajo perfil. A largo plazo, esto conducirá a una mayor competitividad de la empresa

minera, un aumento en la productividad y la optimización de los recursos humanos y materiales, lo que impactará positivamente en los resultados operativos y financieros.

1.5. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL

La investigación fue realizada en las operaciones de la Compañía Minera Condestable, específicamente en el proceso de carguío y acarreo de los tajos de explotación TJ_6125, TJ_6590, ubicadas en la zona baja de la Unidad Raúl.

1.5.1.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL

El periodo del presente trabajo de investigación está comprendido entre los meses de enero a noviembre del año 2024.

1.6. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. HIPÓTESIS GENERAL

- La evaluación de la disponibilidad mecánica en equipos de bajo perfil permite mejorar la productividad en labores mineras en la Compañía Minera Condestable S.A.

1.6.2. HIPÓTESIS ESPECIFICAS

- El estudio de tiempos de los equipos de bajo perfil, permite mejorar la productividad en la Compañía Minera Condestable S.A.
- El uso del diagrama de Pareto, permite identificar los tiempos improductivos de los equipos de bajo perfil en la Compañía Minera Condestable S.A.
- El programa de mantenimiento, permite la mejora de la disponibilidad y productividad de los equipos de bajo perfil en la Compañía Minera Condestable S.A.

1.7. VARIABLES E INDICADORES

1.7.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

- Disponibilidad mecánica en equipos de bajo perfil

1.7.2. VARIABLE DEPENDIENTE

- Productividad en labores mineras de la Compañía Minera Condestable S.A.

1.7.3. MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN

Tabla 1

Matriz de Operacionalización de Variables

TIPO DE VARIABLES	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
INDEPENDIENTE	Disponibilidad mecánica en equipos de bajo perfil	- Disponibilidad Mecánica	%
		- Utilización	%
		- Tiempo promedio entre falla MTBF	Hr/falla
		- Tiempo promedio para reparar MTTR	Hr/falla
DEPENDIENTE	Productividad en labores mineras de la Compañía Minera Condestable S.A.	- Producción horaria	TM/Hr
		- Tiempo del ciclo de carguío y acarreo	Hr.
		- Flota óptima de scoop y volquete	%

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

A. (Tapia Soto, 2018) “IMPACTO DE LA DISPONIBILIDAD EN EQUIPOS MINEROS DE CARGUÍO Y TRANSPORTE LIGADO A SUS MOTIVOS DE DETENCIÓN”

Tesis de Pregrado presentado en la Universidad de Concepción - Chile.

El objetivo general de este trabajo fue ilustrar el impacto que tiene la cantidad de horas que los equipos de carguío y transporte no están funcionando por diversos motivos. Para poder cuantificar estos impactos se estudió el efecto de la disponibilidad de la flota en: la producción, y la cantidad equivalente de equipos que no están siendo utilizados.

Concluyendo que al realizar el análisis se determinó que las dos razones que aportan más horas a los tiempos inactivos de los equipos son, las mantenciones no planificadas y los equipos sin operadores. Por lo que se planteó medidas, y se estudió el efecto de reducir estos tiempos. Se logró probar que al disminuir en un 25% las horas que los equipos pasan en mantenciones no planificadas y sin operadores, se mejora la disponibilidad de las flotas, lo que en efecto mejorara la producción de los camiones hasta un 20%, y la de las palas en un 44%, al lograr estas mejoras además la producción se produce además una mejora el match pala-camión, entre otros beneficios.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

A. (Cárdenas Bullón, 2017) “*PROPUESTA DE MEJORA PARA LA DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS DE TRANSPORTE DE MINERAL EN UNA EMPRESA MINERA*” Tesis de Pregrado presentado en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

Este trabajo de investigación tuvo como finalidad es la implementación de un programa de mantenimiento el cual podrá disminuir y eliminar los mantenimientos por paradas correctivas en los equipos presentes de la actividad de acarreo, así como disminuir los tiempos de ejecución para las reparaciones ocasionadas por las diferentes fallas ubicadas en los sistemas aislados de la unidad de acarreo mediante la metodología RCM adaptada para cada una de las causas identificadas.

Concluye que la aplicación de la metodología de RCM permitirá aumentar la disponibilidad (disponibilidad actual $D = 86.13 \%$) de horas en los equipos de acarreo, a partir de la ejecución de tareas de mantenimiento del tipo preventivo, acompañado de capacitaciones para las distintas áreas involucradas en la actividad, esta solución establece prolongar la vida útil y el estado de la maquinaria de manera que puedan desempeñar su labor de manera eficaz. También podemos concluir que la implementación de esta metodología ha logrado diseñar nuevos procedimientos, indicadores de gestión y adecuación de áreas de trabajo para un mejor desenvolvimiento y desarrollo de las tareas cotidianas en el área de mantenimiento.

B. (Alvarez Chavez, 2020) “*ANÁLISIS DEL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN LAS OPERACIONES DE TRANSPORTE Y ACARREO EN LA VETA RAMAL TECHO - NIVEL 12, PARA LA REDUCCIÓN DE COSTOS - UNIDAD MINERA TICLIO*” Tesis de Pregrado presentado en la Universidad Continental – Huancayo.

La presente tesis tiene por objetivo evaluar analíticamente las variables de disponibilidad mecánica y utilización en el sistema de gestión de transporte y acarreo de mineral y desmonte, de la veta Ramal Techo, Nivel 12 de la unidad minera Ticlio, de minera

Volcan S. A. C. En cuanto al procedimiento para poder recolectar la información, se utilizó la revisión documental, acopiar y procesar lo correspondiente de unidad Minera en una base de datos.

Concluyendo que el análisis de los indicadores operacionales como utilización y disponibilidad en la veta Ramal Techo influyeron positivamente en el incremento de la productividad promedio anual de los equipos de transporte de mineral y desmonte con una disponibilidad en 81 % y utilización de 59 %.

Las actividades que representan menor incidencia en la gestión de transporte de material son: salida de personal, esperando frente trabajo (limpieza), otras demoras operativas, esperando orden, reparto de guardia, refrigerio, chequeo de máquina, abastecimiento de combustible, falla neumático y lavado de equipo, los cuales representan entre 1 % y 7 % de incidencia.

C. (Pizarro Sanchez, 2019)“*CARGUÍO Y ACARREO DE MINERAL MEDIANTE EL USO DE INDICADORES CLAVES DE DESEMPEÑO (KPIs) EN CIA MINERA LOS QUENUALES S.A., YAULIYACU, LIMA -2018*” Tesis de Pregrado presentado en la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.

Esta tesis tiene como objetivo mejorar el carguío y acarreo de mineral con el uso de indicadores de desempeño (KPIs) en la Cía. Minera Los Quenuales S.A., así como determinar la dependencia de la productividad en el carguío y acarreo a partir de la gestión de los indicadores de desempeño (KPIs).

Concluye que los equipos de carguío y acarreo incrementaron su utilización efectiva bajas de 65% moderada a > 80% que representa ideal en la mejora de la operación, así mismo concluye que la dependencia de la productividad influye en el mejor control de los tiempos realizados para el acarreo del material, se ha logrado determinar los tiempos óptimos tales como: tiempo de limpieza en los tajos como tales Tj-943, Tj-270,Tj-285,frente 975 y en la

cámara acumulación 22, se ha reducido el tiempo de ida con carga de 2.5 a 2.3 minutos, el tiempo de retorno con carga se ha optimizado de 3.5 a 2.7 minutos, determinándose como resultado el incremento de más viajes de carga según las utilizaciones incrementando un total de 1050 toneladas.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN DE PROCESOS

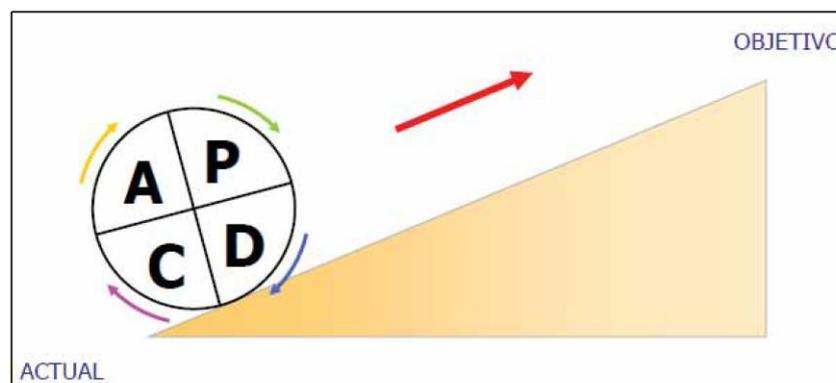
2.2.1.1 CICLO PDCA(Plan, Do, Check and Act)

El ciclo PDCA propuesto por Deming, es un ciclo dinámico que puede desarrollarse dentro de cada proceso de la organización y en el sistema de procesos como un todo. Está estrechamente vinculado a la planificación, implementación, control y mejora continua.

El ciclo Deming o PDCA dinamiza la relación entre el hombre y los procesos, persiguiendo el control con base a su establecimiento, mantenimiento y mejora de estándares. El control se refiere a todas las acciones requeridas para lograr de manera eficaz y económica todas las metas a largo plazo (Cuti Tancayllo, 2019).

Figura 1

Ciclo de mejora continua, Ciclo PDCA



Fuente: (Cuti Tancayllo, 2019)

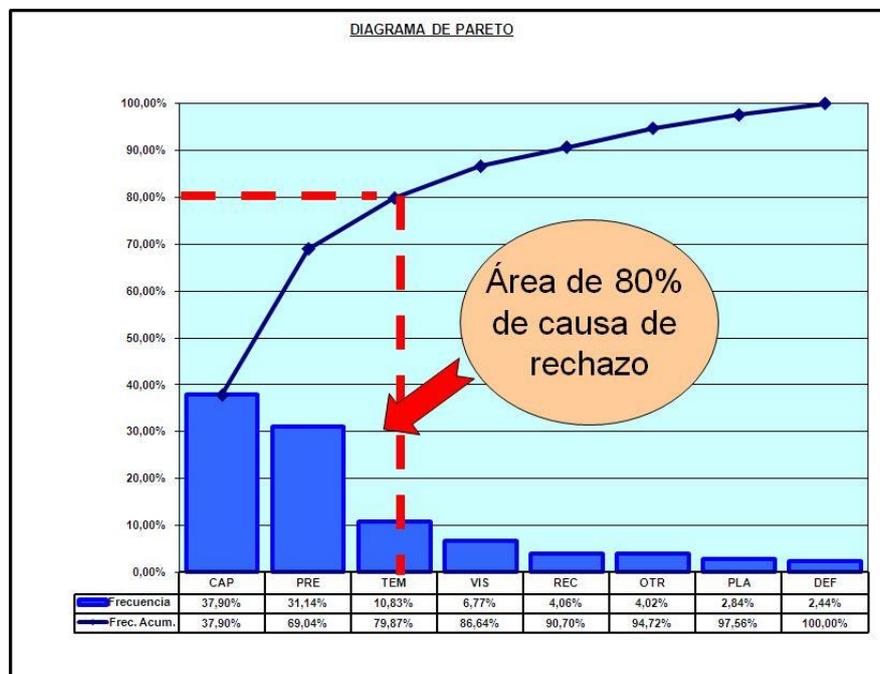
2.2.1.2 DIAGRAMA DE PARETO

Es una herramienta empleada para dar prioridad a los problemas o a las razones que los originan. Este principio se aplica a la calidad orientándose lo que hoy se conoce como la regla 80 / 20.

De acuerdo con este concepto, si existe un problema con múltiples causas, podemos afirmar que el 20% de las causas solucionan el 80% del problema y el 80% de las causas únicamente solucionan el 20% del problema. (Salas Hurtado, 2013)

Figura 2

Diagrama de Pareto



Fuente: (Salas Hurtado, 2013)

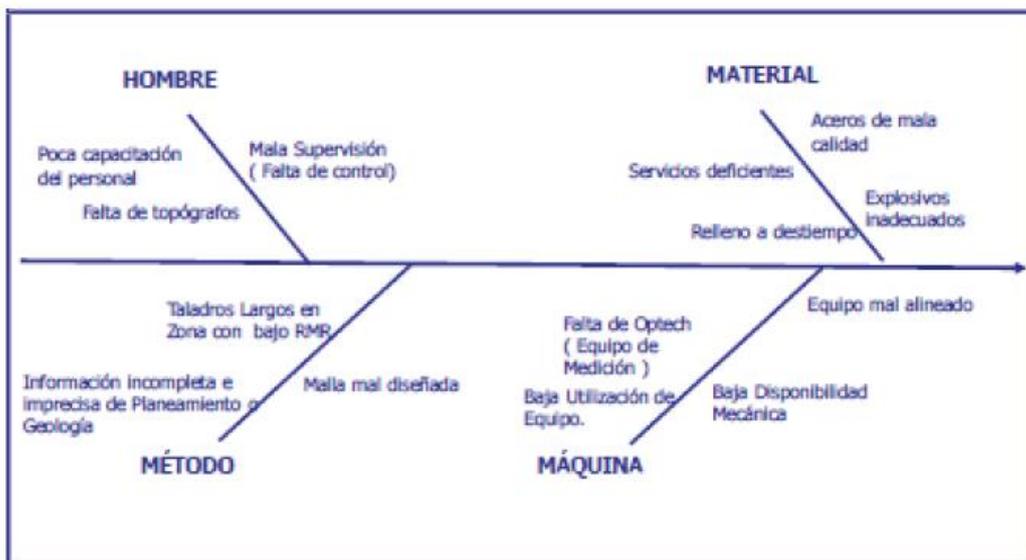
2.2.1.3 ANÁLISIS CAUSA-EFECTO

El diagrama Causa - Efecto es una representación gráfica que muestra la relación cualitativa e hipotética de los diversos factores que pueden contribuir a un efecto o fenómeno determinado se conoce también como diagrama de Ishikawa (por su creador, el Dr. Kaoru Ishikawa, 1943), o diagrama de espina de pescado y se utiliza en las fases de diagnóstico y solución de la causa.

Su concepción conceptual al concebir su diagrama Causa - Efecto (espina de pescado de Ishikawa) se puede resumir en que cuando se realiza el análisis de un problema de cualquier índole, tienen diversas causas de distinta importancia, trascendencia o proporción. (Cuti Tancayllo, 2019)

Figura 3

Análisis de Causa-Efecto



Fuente: (Cuti Tancayllo, 2019)

2.2.2. EQUIPOS DE BAJO PERFIL

2.2.2.1 EQUIPOS DE CARGUÍO (LHD – SCOOPS)

Los equipos de carguío en minería subterránea, también llamados scoop o LHD, son los primeros componentes del sistema de manejo de minerales. Estos cargadores de bajo perfil tienen la tarea de extraer el mineral de los frentes y tajeos de explotación, después el mineral es descargado directamente en un echadero o acumulado en una cámara, para su posterior transporte hacia otro punto de extracción o superficie. (Valentin Gamarra, 2018)

Figura 4

Equipo LHD-Scooptram



Fuente: (Caterpillar, 2022)

Un LHD puede ser de tipo diésel o eléctrico, las unidades diésel son versátiles y pueden ser trasladadas con facilidad de un lugar a otro. Las unidades eléctricas utilizan un tambor de cable y poseen niveles reducidos de ruido y emisiones cero, y son muy productivas en las minas donde el mineral es llevado a través de varios puntos de extracción a un lugar fijo. En la mayoría de las minas subterráneas, los LHD automáticos o manuales se emplean para la carga y traslado del material durante esta etapa, gracias a su efectividad en el traslado de material para distancias cortas. (Valentin Gamarra, 2018)

2.2.2.2 EQUIPOS DE ACARREO (VOLQUETES)

Son máquinas construidas para el acarreo de materiales rocosos en las operaciones mineras, el diseño de estos equipos es compacto dotándoles de características propias a cada modelo como, su buen tamaño, potencia y robustez. El empleo de los volquetes se realiza por las siguientes ventajas que presentan:

1. Requieren de una menor sección de galería para desplazarse, lo que disminuye los costos de desarrollo de la mina.
2. Capacidad de adaptación a todo tipo de materiales a transportar: rocas, suelo, minerales, etc.
3. Facilidad para variar el ritmo de producción, aumentando la flota de camiones o el grado de utilización de esta.
4. Necesidad de una infraestructura relativamente sencilla y poco costosa.
5. Existencia de una variedad de modelos que permiten adaptarse bien a las condiciones en que debe desarrollarse la operación.
6. Sistema muy conocido y por tanto relativamente fácil de supervisar y controlar.
7. Vida útil que llega a las 25,000 o 30,000 horas de operación

Figura 5

Equipo de transporte Volquete Volvo FMX



Fuente: (Volvo Trucks, 2017)

Se necesitan camiones para el acarreo mineral y/o desmonte a través de las aperturas de desarrollo (galerías y rampas). Las rampas, también conocidas como accesos entre niveles para camiones, se construyen según sus dimensiones y especificaciones técnicas. Por otro lado, los camiones deben tener la capacidad de desplazarse en gradientes de hasta el 12%. Las

medidas de los descensos proyectados, como su anchura y curvatura, deben tener en cuenta el rendimiento del vehículo. Las curvas largas reducen la velocidad del vehículo, lo que conduce a un tiempo de ciclo más extenso y consecuentemente reduce la productividad. (Valentin Gamarra, 2018)

2.2.3. MANTENIMIENTO PREVENTIVO, CORRECTIVO, PREDICTIVO

2.2.3.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo es una estrategia que sirve para reducir daños futuros a cualquier activo. Este tipo de mantenimiento ayuda a prolongar la vida útil de máquinas, a la vez aumenta su productividad y reduce de forma exponencial gastos en mantenimiento, en pocas palabras, es un mantenimiento que se realiza cada ciclo de tiempo en forma regular con el objetivo de la reducción de fallos futuros en el activo. El mantenimiento preventivo va requerir de una persona con un alta grado de organización, pero sobre todo que sea eficiente a la hora de programar actividades. (Santiago Santos, 2021)

2.2.3.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

El mantenimiento correctivo es un conjunto de tareas destinadas a corregir una falla en un equipo, las cuales necesiten una reparación de forma urgente. Este tipo de mantenimiento va corregir errores presentes en el equipo con la finalidad de volver a su función inicial. Además, el mantenimiento correctivo no va depender de un plan de mantenimiento puesto que es un mantenimiento que se da de forma imprevista y por consiguiente la posibilidad que no haya el repuesto necesario es muy alta. Entonces, esto conlleva a grandes gastos financieros por parte de la empresa, ya que suele suceder que, al no tener el repuesto necesario, entre otros factores, el equipo estará inoperativo por largos intervalos. (Santiago Santos, 2021)

2.2.3.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Este tipo de mantenimiento va permitir detectar una falla antes que esta suceda. Estos tipos de controles se pueden llevar de forma constantes o de forma periódica, todo dependerá

del tipo de equipo que se encontrará en evaluación. Para poder detectar las posibles fallas del equipo antes que ocurran se usan algunos tipos de herramientas o instrumentos de diagnóstico, como análisis de vibraciones, análisis de lubricantes, análisis de infrarrojos, análisis de líquidos penetrantes, etc., además de realizar un seguimiento constante del equipo mientras este se encuentra en labor (Santiago Santos, 2021).

2.2.4. TIEMPOS DE OPERACIÓN MINERA

Los términos empleados en nuestras definiciones y las mediciones de tiempo deben basarse en el calendario, tal como se muestra en la tabla siguiente: (Salas Hurtado, 2013)

Figura 6

Distribución de tiempos de Operación Minera

<i>Tiempo Total Programado (TTP)</i>				
<i>Tiempo Disponible (TD)</i>			<i>Tiempo de Mantenimiento (TM)</i>	
<i>Tiempo de Operación (TO)</i>		<i>Tiempo en Espera de Operación (TEO)</i>	<i>Mantenimiento Programado (MP)</i>	<i>Mantenimiento No Programado (MNP)</i>
<i>Tiempo Neto de Operación (TNO)</i>	<i>Demora en Operación (DO)</i>			

Fuente: Área de planeamiento Compañía Minera Condestable S.A.

- **Tiempo Total Programado (TTP)**, Se define como el Tiempo Total al tiempo de horas en el período, es decir 12 horas por guardia y 24 horas por día.
- **Tiempo Disponible (TD)**, Es el total de horas en que el equipo está disponible para ser usado.
 - **Tiempo en Espera de Operación (TEO)**, Es el total de horas en que el equipo está disponible para ser usado, pero no está siendo usado.

- **Tiempo de Operación (TO)**, Es el total de horas en que el equipo tiene un operador asignado y estar operando productivamente o no; se considera el funcionamiento del motor (Horómetro inicial y Horómetro final).
 - **Tiempo Neto de Operación (TNO)**, Es el total de horas en que el equipo está operando productivamente.
 - **Demoras Operativas (DO)**, Es el total de horas en que el equipo tiene un operador asignado, pero no está operando productivamente.
- **Tiempo de Mantenimiento (TM)**, Es el total de horas en el que el equipo No está disponible para ser usado; por averías o por paradas programadas.
 - **Inspección y engrase (IE)**, Es el total de horas empleadas en el engrase de las principales juntas del equipo antes de iniciar la operación diaria.
 - **Mantenimiento Programado (MP)**, Es el total de horas en que el equipo no está disponible debido a tiempos improductivos programados para su mantenimiento, (Mantenimiento Preventivo).
 - **Mantenimiento no Programado (MNP)**, Es el total de horas en que el equipo ha sido programado para ser usado, pero no está disponible debido a una avería (Mantenimiento Correctivo).

2.2.5. INDICADORES DE GESTIÓN DE TIEMPOS

En minería estos indicadores miden la efectividad de los procesos, en otras palabras, identifican el estado del sistema y permiten comparar el diseño de la operación, optimizar procesos y determinar la flota de equipos.

2.2.5.1 DISPONIBILIDAD MECÁNICA (DM)

La disponibilidad mecánica va ser una relación entre horas trabajadas y las horas de reparación para un periodo determinado de tiempo. Se va calcular dividiendo el número de

horas trabajadas entre la suma de horas trabajadas y las horas usadas en la reparación del equipo. (Santiago Santos, 2021)

$$DM = \frac{\text{Horas trabajadas (TO)}}{\text{Horas trabajadas (TO)} + \text{Horas de reparación (TM)}} (\%)$$

En la actividad minera es conveniente analizar la disponibilidad mecánica con los indicadores MTBF y MTTR, además se recomienda que estos valores estén alrededor del 85%.

2.2.5.2 DISPONIBILIDAD FÍSICA (DF)

Mide la disponibilidad del equipo exceptuando todas las pérdidas de tiempo, incluyendo las mecánicas. (Cuti Tancayllo, 2019)

$$DF = \frac{TNO * 100}{TPP} (\%)$$

Donde:

DF: Porcentaje de tiempo de real operación durante las horas programadas por el estado físico del equipo. Los datos de sus componentes se obtienen en el reporte del operador. (%)

TNO: Tiempo netas de operación. (Hrs)

2.2.5.3 UTILIZACIÓN/ USO DE LA DISPONIBILIDAD (UA)

Es un indicador que mide el porcentaje de utilización de máquina con respecto al tiempo programado o de disponibilidad para el trabajo de la máquina. Proporciona información sobre el buen uso del tiempo de los activos de la empresa. Un alto valor de este indicador muestra que la máquina está siendo utilizada todo el tiempo disponible en labores de producción. Un valor bajo de la utilización de máquina indica que existe un mal planeamiento del uso de los equipos en obra. (Santiago Santos, 2021)

$$\text{Utilización (UA)} = \frac{\text{Horas utilizadas(TO)}}{\text{Tiempo Total Programado(TPP)}} (\%)$$

2.2.5.4 TIEMPO MEDIO ENTRE FALLA (MEAN TIME BETWEEN FAILURES)

El MTBF es indicador que va mostrar el tiempo promedio que la máquina no tuvo ninguna falla. Se va expresar matemáticamente de la siguiente manera.

$$MTBF = \frac{\text{Horas trabajadas (TO)}}{\text{Número de Fallas presentadas (NF)}} \left(\frac{\text{Hrs}}{\text{falla}} \right)$$

El indicador de MTBF va depender de distintas áreas de la empresa, puesto que una falla se puede presentar debido a un mal manejo del equipo por parte del operador, reparaciones ineficientes hechas por los mecánicos, compra de repuestos defectuosos, etc. (Santiago Santos, 2021)

2.2.5.5 TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN (MTTR)

El MTTR es el indicador que va mostrar cuanto tiempo promedio demoran en la reparación de una falla en el equipo, es decir, es el tiempo que la máquina se encuentra en inoperatividad mientras reparan la falla. Proporciona información valiosa, no solo del área de gestión de mantenimiento, también el área logística, taller y otras áreas de la empresa involucradas en la atención de los recursos necesarios para dar operatividad al equipo en cuestión.

El MTTR se determina del cálculo de las horas totales de reparación en determinado periodo dividido entre la cantidad de paradas que tuvo el equipo por motivos mecánicos en dicho periodo. (Santiago Santos, 2021)

$$MTRR = \frac{\text{Tiempo de Mantenimiento no Programado (MNP)}}{\text{Número de Fallas presentadas (NF)}} \left(\frac{\text{Hrs}}{\text{falla}} \right)$$

Si el valor del MTTR es alto, esto indicará que se están invirtiendo muchas horas en reparar el equipo, esto debido en alguna deficiencia en la gestión realizada. Si el valor del MTTR es bajo, esto indicará que se están realizando las labores de mantenimiento como deberían realizarse.

2.2.5.6 CONFIABILIDAD – R (RELIABILITY)

En mantenimiento de equipos, se entiende la confiabilidad como la probabilidad de no falla del mismo o de alguno de sus componentes en un determinado tiempo.

La distribución estadística más usada para calcular la confiabilidad es la distribución de Weibull, ya que esta se adapta a las diferentes formas de distribución de densidad de falla que se puedan presentar.

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

$\lambda =$ Tasa de fallos; $t =$ Tiempo

$$\lambda(t) = \frac{1}{MTBF}$$

2.2.6. PRODUCTIVIDAD DE EQUIPOS

Según (Saldaña Tumbay, 2013) define la productividad a la relación entre la producción obtenida por un sistema productivo y los recursos utilizados para obtener dicha producción o también definida como la relación entre los resultados y el tiempo utilizado para obtenerlos: cuanto menor sea el tiempo que lleve obtener el resultado deseado, más productivo es el sistema. En realidad, la productividad debe ser definida como el indicador de eficiencia que relaciona la cantidad de producto utilizado con la cantidad de producción obtenida.

- **Productividad Teórica:** La teoría de la producción estará determinada como el volumen o peso producido por unidad de operación, rigiéndose con los siguientes aspectos:

$$Productividad\ Teórica\ \left(\frac{Tm}{h}\right) = \frac{Q}{Ciclo} * \frac{Ciclo}{Hora}$$

Donde:

Q: Capacidad nominal del equipo (Tm).

Ciclo: Tiempo de ciclo de carguío o acarreo.

➤ **Factores que afectan la productividad del equipo:** Los factores más importantes que afectan la productividad son los siguientes:

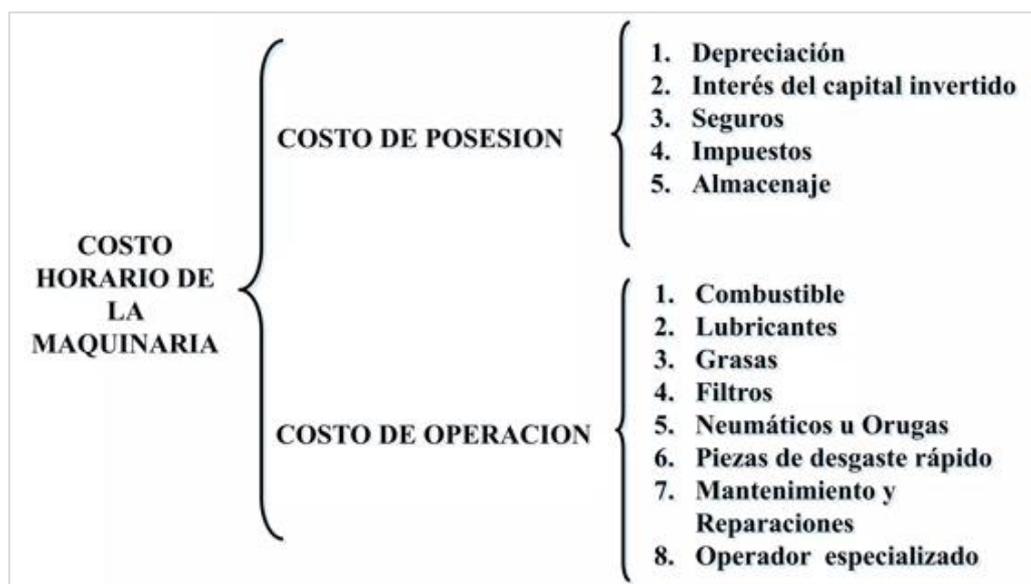
- Iluminación.
- Granulometría del material a cargar (colpas muy grandes disminuyen factor de llenado).
- Vías de tránsito y tráfico.
- Áreas de carga y descarga.
- Ventilación (polvo y falta de oxígeno).
- Interferencias con otras operaciones mineras, tales como voladura secundaria.
- La distancia de acarreo de desmonte y mineral, a mayor distancia de acarreo se reduce la productividad.
- La disponibilidad mecánica de equipos.

2.2.7. ELEMENTOS EN EL CÁLCULO DEL COSTO HORARIO

Un equipo debido a su uso tiene un desgaste natural; y va perdiendo su valor a través del tiempo, por lo que su propietario deberá de preparar sistemáticamente un fondo que permita restituir oportunamente dicho equipo por uno nuevo o repotenciar dicho equipo. (Cuti Tancayllo, 2019)

Figura 7

Elementos considerados en la determinación del coto horario de equipos



Fuente: Norma Técnica-(Resolución Directoral N°035-2010/Vivienda/VMCS-DNC, 2010)

2.2.8. REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL EN MINERÍA

❖ CAPÍTULO VII TRANSPORTE, CARGA, ACARREO Y DESCARGA

ART. 232.- Los equipos de perforación, carguío, acarreo y transporte, tales como jumbos, scooptrams, dumpers, entre otros deberán ser operados sólo por trabajadores capacitados y autorizados y deberán contar con licencia de conducir mínimo A-I, otorgada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

ART. 292.- Para carga, acarreo y descarga subterránea, el titular de actividad minera cumplirá lo siguiente:

- a) Establecerá los estándares de acarreo subterráneo, así como las funciones de los operadores, autorizaciones y manuales de manejo.
- b) En las galerías o socavones de acarreo en donde existan cruces y desvíos de vías, se colocará avisos luminosos o semáforos en ambos extremos.

- c) Los pozos o chimeneas que concurren en las galerías de acarreo deberán ser abiertas fuera del eje de las galerías y estar protegidos para evitar la caída de personas o materiales.
- d) Los accesos de las galerías a los inclinados deberán estar protegidos igual que las estaciones de pique con su respectiva iluminación y señalización para evitar accidentes debido a caídas de personas, materiales o maquinaria minera.
- e) La abertura de los elementos de la parrilla en los echaderos convencionales de mineral y desmonte estarán colocados con una separación no mayor de veinte (20) centímetros. Para caso de echaderos donde se usa equipos de carga de bajo perfil, las parrillas deberán ser ubicadas con una separación no mayor de cincuenta (50) centímetros.

2.2.9. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **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.
- **PRODUCCIÓN.** Volumen o peso total de material que debe manejarse en una operación específica. Puede referirse tanto al mineral con valor económico que se extrae, como al estéril que debe ser removido para acceder al primero. A menudo, la producción de mineral se define en unidades de peso, mientras que el movimiento de estéril se expresa en volumen.
- **PRODUCTIVIDAD.** La productividad es la capacidad de producir más con menos recursos. Esto redundará en un costo bajo mediante la cantidad adecuada de equipos ya sea de carguío como de transporte que permita presupuestos menores.
- **CARGUÍO.** Corresponde a una operación de carga de mineral y/o desmonte a los camiones volquetes, para que sean trasladados hacia a la planta concentradora o hacia una cancha de

acumulación de mineral. En esta operación se incluyen tareas de remoción y acopio del material fragmentado.

- **ACARREO.** Se denomina acarreo al traslado corto de material roto en la mina, es decir que el transporte tiene limitaciones, o tiene un determinado radio de acción y estarán ubicados en los frentes de operación, efectuados por los equipos Scooptram.
- **TRANSPORTE.** Efectuada la voladura del mineral, este es extraído de la mina hacia el exterior, para ello, se acumula y se carga a los diferentes medios de transporte de los que se disponen.
- **ORE PASS, WASTE PASS.** Es una labor minera de desarrollo ejecutado de forma vertical o semi vertical que sirve como medio de transporte del mineral o desmonte de un nivel a otro.
- **CAPACIDAD DE CARGA.** Se refiere al volumen de material que una unidad de carguío o transporte puede contener en un momento dado (por ejemplo, el volumen del balde de una pala o de la tolva de un camión). La capacidad se puede expresar de dos maneras:
 - **Capacidad al ras:** El volumen de material en una unidad de carguío o transporte cuando es llenado hasta el tope, pero sin material sobre los lados o llevado en algún accesorio externo como los dientes del balde.
 - **Capacidad colmada:** Máximo volumen de material que una unidad de carguío o transporte puede manejar cuando el material es acumulado sobre los lados del contenedor. Mientras que la capacidad rasa es una constante para un equipo dado, la capacidad colmada depende del material transportado y de sus propiedades (tamaño de granos, ángulo de reposo, etc.)
- **CAPACIDAD DE CARGA NOMINAL.** Es la capacidad de fábrica de un determinado equipo, en términos del peso máximo que puede manejar. La mayoría de los equipos están diseñados para movilizar un determinado peso, en lugar de un volumen máximo. Por lo

tanto, el volumen de material manejado dependerá de la densidad del material, y variará con la densidad para un mismo equipo, mientras que el peso máximo es constante y es una función de la resistencia de los componentes del equipo.

- **LABORES MINERAS.** Antes de empezar a explotar un yacimiento minero es necesario investigar a fondo el depósito minero que contiene el mineral económicamente útil y determinar sus características geológicas, mineralógicas, geomecánicas y otras propiedades: contenido metálico (ley del mineral), potencia, extensión, reservas, forma, afluencia del agua, elección del método de explotación, producción, etc., todo esto se conoce a través de las labores mineras.
 - **Labores de Exploración:** Son labores que tiene por finalidad de evidenciar nuevas zonas mineralizadas o probar la continuidad y riqueza de los depósitos ya conocidos. Generalmente se realizan con herramientas elementales, cuando se trata de cateos y con procedimientos científicos (Métodos geofísicos y Geoquímicos).
 - **Labores de Desarrollo:** Son labores que se realizan después que se ha verificado la existencia e importancia de un depósito mineral con el objeto de delimitarlo y prepararlo para la explotación por ellos se conoce la forma, posición, volumen, leyes, naturaleza del mineral y de las cajas, etc. Se diferencian labores de desarrollo productivo cuando su avance es extrayendo mineral y labores de desarrollo improductivo cuando su avance ese realiza en material estéril. Estas labores pueden ser Rampas, Cruceros o Galerías.
 - **Labores de Preparación,** Son labores que sirven para dividir el yacimiento mineral con vistas a su explotación y por lo tanto constituyen el primer punto de ataque, estas labores pueden ser By pass, Chimeneas o Galerías sobre veta.
 - **Labores de Explotación,** Son labores de donde se extrae el mineral, independientemente de los métodos de explotación empleados, denominados comúnmente como tajos en producción.

- **SCOOPTRAM.** Un Scooptram es un equipo de bajo perfil diseñado sobre todo para realizar trabajos en minería subterránea o en zonas confinadas. Los Scooptram son principalmente necesarios en labores de subsuelo, debido al tamaño limitado de las labores, puede viajar en marcha adelante, así como en marcha reversa. El Scooptram se diseña para levantar cargas pesadas.
 - **Cargar:** Cargar una cantidad grande de material
 - **Transportar:** Transportar el material a un área específica.
 - **Descargar:** Descargar la carga en un camión o en un área específica
- **CAMIÓN DE BAJO PERFIL.** Son Equipo pesado cuyo principal objetivo es la extracción de mineral. Su alta relación potencia/peso asegura la subida veloz en rampas empinadas. Es un volquete articulado que está diseñado para minado de vetas angostas y ofrece alta maniobrabilidad en lugares confinados.
- **FACTOR DE ESPONJAMIENTO.** El incremento fracciona del volumen del material que ocurre cuando está fragmentado y ha sido sacado de su estado natural (volumen insitu) y depositado en un sitio no confinado (volumen no confinado). Puede expresarse como una fracción decimal o como un porcentaje. (Cuti Tancayllo, 2019)
- **FACTOR DE LLENADO.** Un ajuste de la capacidad de llenado del cazo o tolva de equipos de carguío y transporte. Se expresa generalmente como una fracción decimal y corrige la capacidad del caso y tolva al volumen que realmente puede mover, dependiendo de las características del material y su ángulo de reposo, y la habilidad del operador del equipo para efectuar la maniobra de llenado. (Cuti Tancayllo, 2019)
- **FACTOR DE ACOPLAMIENTO.** Es la cantidad de volquetes necesarios que deben ser asignados por cada unidad de carguío. (Cuti Tancayllo, 2019)

$$FA = \frac{N^{\circ} \text{ Volquetes} * \text{Ciclo de carguío}}{\text{Ciclo de transporte}}$$

Para la evaluación se cuenta con los siguientes criterios:

FA < 1 cuando hay exceso de scoop; la eficiencia del acarreo es 100%

FA > 1 cuando hay exceso de volquetes; la eficiencia del transporte es 100%

FA = 1 cuando el acoplamiento es perfecto.

- **TIEMPO.** Es una magnitud física con la que medimos la duración o separación de acontecimientos, sujetos a cambio, de los sistemas sujetos a observación. El tiempo permite ordenar los sucesos en secuencias, estableciendo un pasado, un futuro y un tercer conjunto de eventos ni pasados ni futuros respecto a otro.
- **TIEMPO DE CICLO.** El tiempo de ciclo corresponde al tiempo que el equipo de carguío demora en ir al lugar de extracción de mineral o estéril y transportarlo al sitio de descarga incluye además el tiempo ocupado en maniobras realizadas en esta operación. El tiempo de ciclo está compuesto por los tiempos fijos y los tiempos variables. Los primeros dependen de las condiciones bajo las cuales opera el equipo. Los tiempos variables además de depender de las condiciones de trabajo, varían según la longitud de los tramos a recorrer y la velocidad que en éstos se desarrolle.
- **YACIMIENTO.** Depósito natural de rocas o mineral rentable, donde generalmente se abre una mina.
- **MINERAL.** Se refiere al material con valor económico que es enviado a la planta de procesamiento. Se diferencia de material de baja ley que no es enviado a la planta, pero podría algún día ser enviado; lastre o estéril, material que no tiene valor económico. La calidad del mineral es expresada según su concentración del metal de interés.

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación es del tipo Básica y Cuantitativa, ya que la investigación a realizar utiliza datos medibles para la evaluación y análisis de la disponibilidad y productividad de los equipos en el proceso de carguío y acarreo en las operaciones de la Compañía Minera Condestable.

Según Hernández Sampieri (2014) “La investigación tiene el enfoque cuantitativo cuando utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis mediante estadística, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar sus teorías”.

3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación es Descriptiva ya que busca describir el estado actual de la disponibilidad y productividad de los equipos, incluyendo las variables como los tiempos de funcionamiento, tiempos de inactividad, fallas recurrentes y Correlacional, ya que tiene el propósito de medir el grado de relación que exista entre los conceptos y variables (disponibilidad y la productividad de los equipos de bajo perfil en las operaciones de la Compañía Minera Condestable.

3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño del presente trabajo de investigación es no experimental, debido a que se enfoca en observar y analizar los fenómenos tal como ocurren en el entorno natural, sin realizar ninguna manipulación o control de las variables implicadas.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. POBLACIÓN

Está constituido por toda la flota de equipos de bajo perfil, tales como scoop y volquetes que se utilizan en las labores de exploración, desarrollo, preparación y explotación de la Compañía Minera Condestable S.A.

3.4.2. MUESTRA

Constituido por la flota de 02 equipos scoop de 6yd3 y 08 volquetes de 35 ton, que forman parte del proceso de carguío y acarreo de los tajos de explotación Tj6125, Tj6590 al echadero de mineral, ubicados en el nv-490 y nv-520 de la zona baja en la Unidad Raúl de la Compañía Minera Condestable S.A.

3.4.2.1 TIPO DE MUESTRA

La muestra que se utiliza es no probabilística, por conveniencia, ya que los elementos seleccionados para la investigación se han generado a criterio del investigador, según la recopilación de los datos e instrumentos utilizados.

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Las técnicas usadas en la recolección de datos se basaron en la observación directa de los ciclos de carguío y acarreo de mineral de los frentes de trabajo en estudio, así como la medición de la distancia de los diferentes tramos de carguío y acarreo.

Por otra parte, se recolectaron datos por la observación indirecta de informes, estándares mineras y reportes de rendimiento de equipos de carguío y acarreo disponibles en la base de datos.

3.5.2. INSTRUMENTOS

Los principales instrumentos de recolección de datos en la presente estudio son:

- Ficha técnica de campo
- Formato de reporte diario de trabajo
- Reporte de mantenimiento
- Cámara digital
- Cronómetro
- Laptop
- Datos bibliográficos

3.6. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS

La información recopilada fue evaluada y examinada con el propósito de detectar los periodos improductivos en la operación, para lo que se utilizó:

Software aplicados:

- Microsoft Excel.- Para la organización de los Datos y formulación de indicadores.
- Procesador de texto – Microsoft Word.

Graficados:

- AutoCAD.

CAPITULO IV

**EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MECÁNICA EN
EQUIPOS DE BAJO PERFIL PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD
EN LABORES MINERAS DE LA COMPAÑÍA MINERA
CONDESTABLE S.A.**

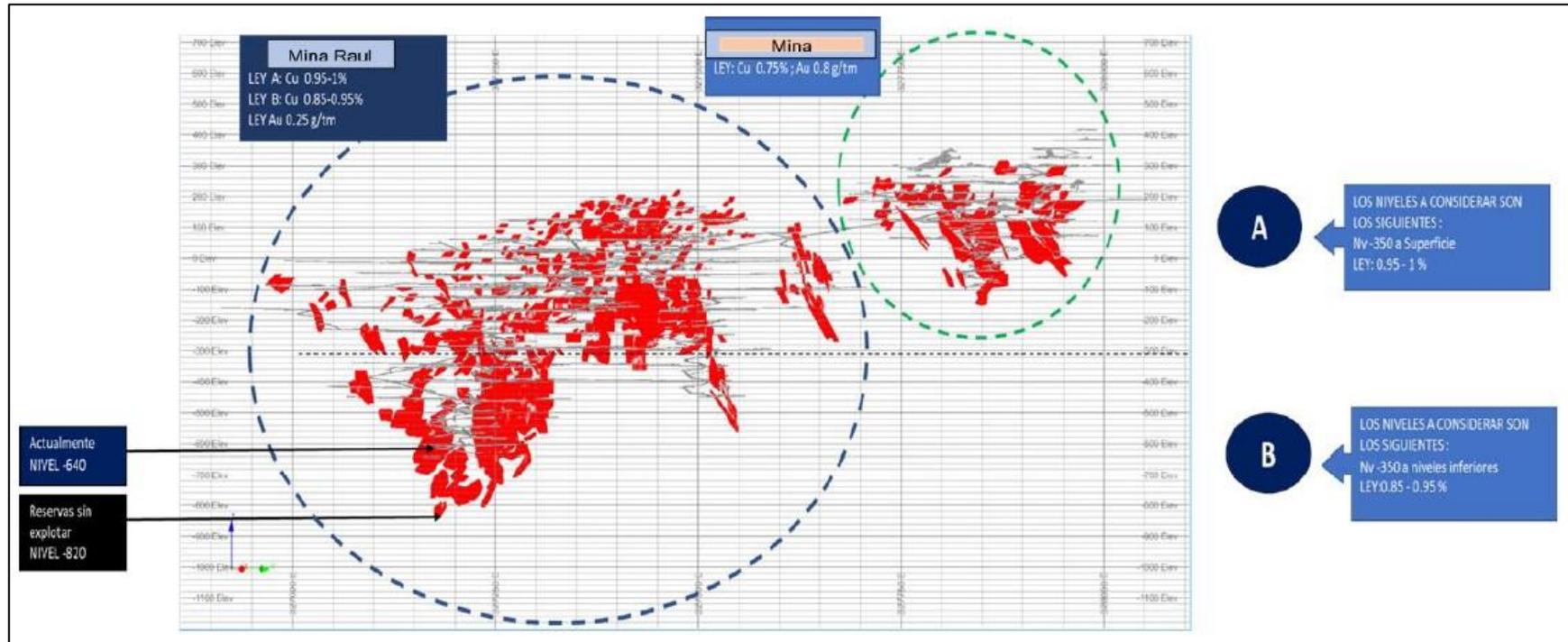
4.1. DESARROLLO DE LA MINA

La Compañía Minera Condestable, es una empresa dedicada al tratamiento y comercialización de concentrados de cobre con contenidos de oro y plata. Estos concentrados se obtienen mediante la extracción de sus recursos de dos minas contiguas, Condestable y Raúl. Estas dos minas alimentan una planta convencional de flotación de sulfuros de 7,000 TPD, generando 20.000 toneladas de cobre pagadero anualmente.

La producción total proviene de las dos unidades, el 70% de la producción proviene de la Unidad Raúl y el 30% de la Unidad Condestable. Se distinguen dos áreas específicas, la A o zona alta presenta una ley promedio de Cu 0.95-1%, considerada desde el Nv-350 a superficie; mientras que la B o zona baja presenta una ley promedio de Cu 0.85-0.95%, considerada desde el Nv-350 a niveles más bajos.

Figura 8

Unidad Raúl y Condestable divididas en las Zonas A, B



Fuente: Compañía Minera Condestable- Área de planeamiento

4.2. LABORES MINERAS EN EJECUCIÓN UNIDAD RAÚL

4.2.1. LABORES DE DESARROLLO

Las labores de desarrollo están conformadas por rampas y galerías de secciones de 4.0 m x 4.0 m, las rampas tiene una pendiente de 12 % a más (positiva o negativa según los requerimientos), y las galerías tienen una pendiente de 6/1000. Estas labores cuentan con una cuneta de 0.5 m x 0.5 m de sección excavada en roca; las tuberías, manga de ventilación y cable de energía eléctrica se instalan sobre alcayatas distanciadas a 3.0 m entre sí y ubicadas según el estándar para instalación de servicios auxiliares.

La perforación de labores de desarrollo como rampas y cruceros se ejecutan por lo regular con el equipo Jumbo Electro Hidráulico Boomer H-281 de un brazo, con una longitud de barra de 14 pies y un diámetro de broca de 45mm. Para la voladura se utiliza como agente de voladura Superfamdos, que es iniciado por un cebo preparado con Emulnor 5000 y Fanel de periodo corto y largo que es distribuido en el frente. Para la limpieza se utiliza equipos Scoop Diesel de 4.1 Yd3 y de 6.3 Yd3 que se encarga de llevar material a la cámara de carguío para ser transportado con volquetes hacia la cancha de desmonte en superficie.

En la zona baja de la mina Raúl se seguirá profundizando con las Rampas 78 y 80 que son las infraestructuras más grandes que se tiene en interior mina, teniendo como metas físicas lo siguiente.

Tabla 2

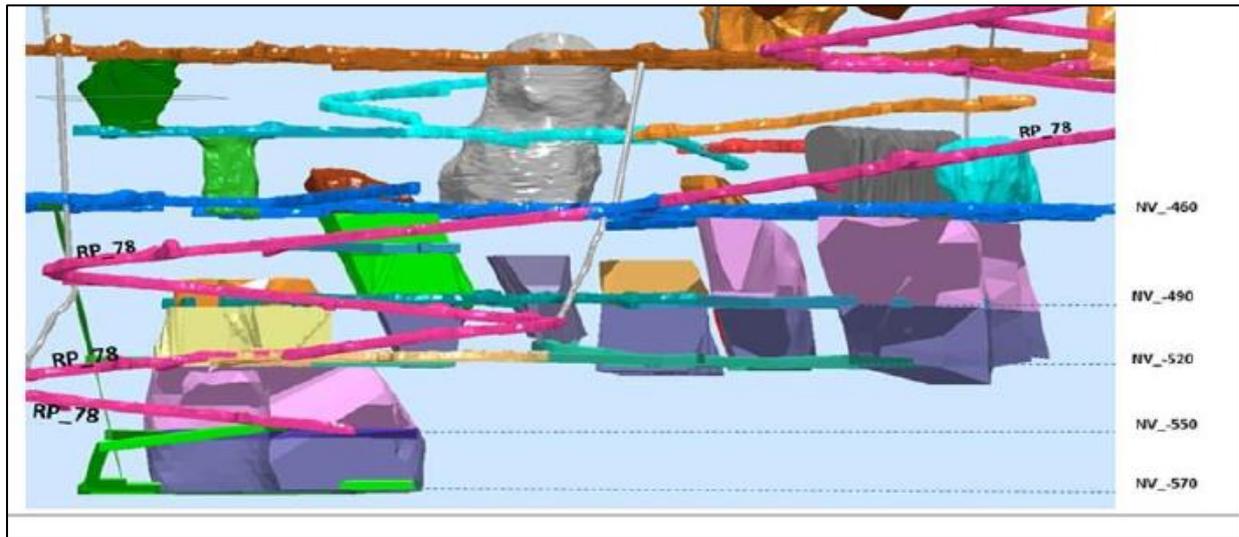
Metas físicas de Avance mensual en Labores de Desarrollo

	OPERACIONES	UM	7000 TMD
DESARROLLO	RAÚL		
	XC-GL(principales)	m	600
	Rampa	m	300

Fuente: Compañía Minera Condestable - Planeamiento

Figura 9

Labor de desarrollo Rp 78



Fuente: Compañía Minera Condestable - Planeamiento

4.2.2. LABORES DE PREPARACIÓN

Son labores que sirven para dividir el yacimiento mineral con vistas a su explotación y por lo tanto constituyen el primer punto de ataque, estas labores de preparación se consideran a las Chimeneas.; se tienen chimeneas de sección 3.0 m x 1.5 m y ventanas de acceso (draw point) de 3.5 m x 3.5 m.

Tabla 3

Metas Físicas de Avance en Labores de Preparación

	OPERACIONES	UM	7000 TMD
PREPARACIÓN	RAÚL		
	Chimenea	m	150

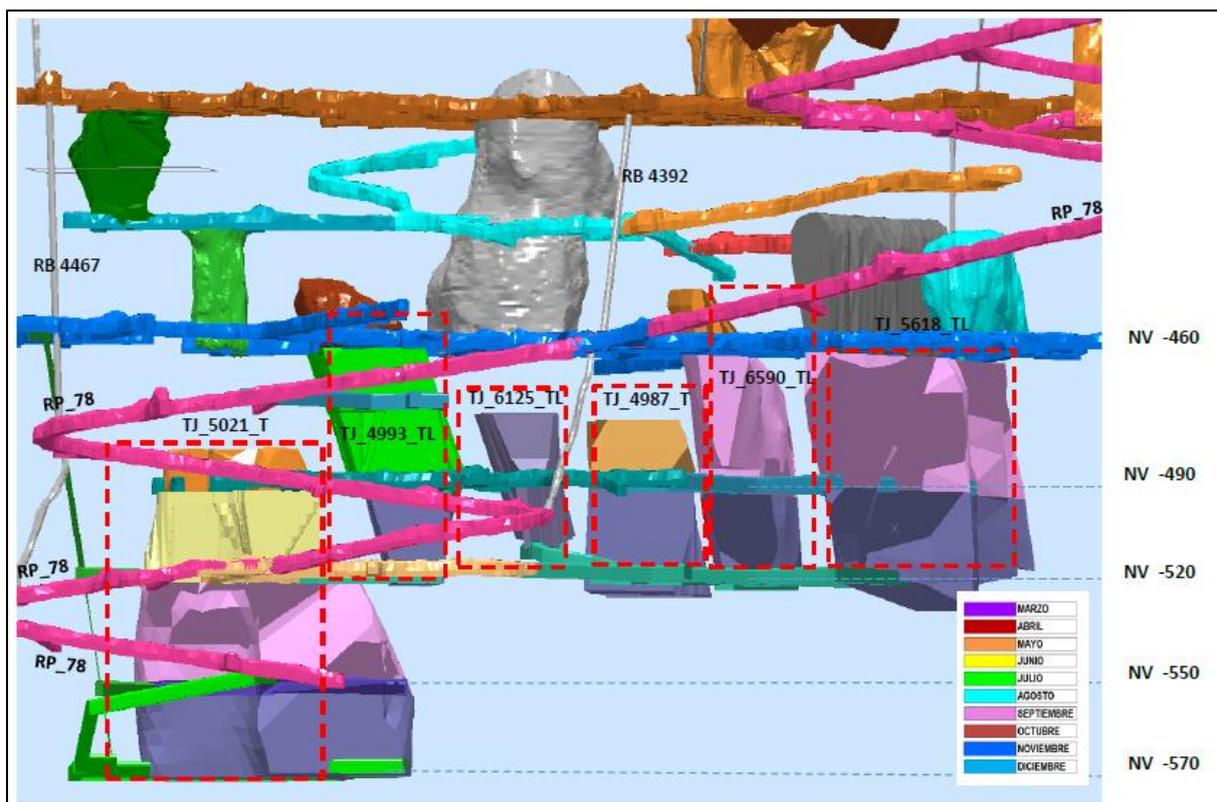
Fuente: Compañía Minera Condestable – Planeamiento

4.2.3. LABORES DE EXPLOTACIÓN

Completada la preparación del Block de mineral se llevan a cabo las labores de explotación propiamente dichas, donde se extrae el mineral denominados comúnmente como tajos en producción, para la zona baja se maximizará las el uso del método de Sublevel stoping para cuerpos de volúmenes de 10,000 ton ascendentemente por el proceso, de tiempo y costo.

Figura 10

Blocks por método de explotación Sublevel stoping



Fuente: Compañía Minera Condestable – Planeamiento

Este método se aplica en los cuerpos mineralizados, con longitudes de tajos hasta 100 m., con potencias de 5 a 18 m y alturas de 25 a 40 m. La perforación se realiza en abanico, o vertical hacia arriba o hacia abajo, con diámetro de taladros de 2.5” y longitudes de 20 m. La malla de perforación es cuadrada con espaciamiento de taladros de 1.70 a 1.75 m. La limpieza del mineral se efectúa con scoops de 6 yd³ a través de ventanas (drawpoints) . Este método contribuye con el 93 % de producción.

Figura 11

Perforación positiva con equipo Simba



Fuente: Compañía Minera Condestable – Área de Perforación y Voladura

4.3. DESCRIPCIÓN DE OPERACIONES DE CARGUÍO Y ACARREO

4.3.1. OPERACIÓN DE CARGUÍO

Para las operaciones de carguío se realizan con equipos LHD de 6 yd³ de capacidad marca Caterpillar, que son altamente maniobrables y posibilitan lograr una productividad excelente. Además, entre sus particularidades, poseen motores diésel potentes de bajo consumo de combustible, fuerzas de arranque elevadas y controles ergonómicos.

Compañía Minera Condestable posee 08 unidades LHD, 2 unidades 4 yd³ y 6 unidades de 6 yd³, distribuidos de la siguiente manera, los equipos de 4 yd³ utilizados para las zonas que serán explotadas por corte y relleno, y los equipos de 6yd³ para las zonas que serán explotadas por tajeo por subniveles.

La extracción de mineral se realiza de los tajeos que se encuentran en producción a través de ventanas (draw point), este mineral es acarreado por equipos scooptram hasta las cámaras de carguío, seguido del carguío del volquete para su posterior traslado a superficie.

Por otra parte, la extracción de desmonte se realiza de los frentes de avance tales como pie de chimeneas, cruceros, ventanas, rampas de secciones de 4.0 m x 4.0 m, hacia las cámaras de carguío y transportado mediante volquetes hacia el punto de acumulación designado.

Figura 12

Operación de carguío con scoop de 6yd3 zona baja Unidad Raúl



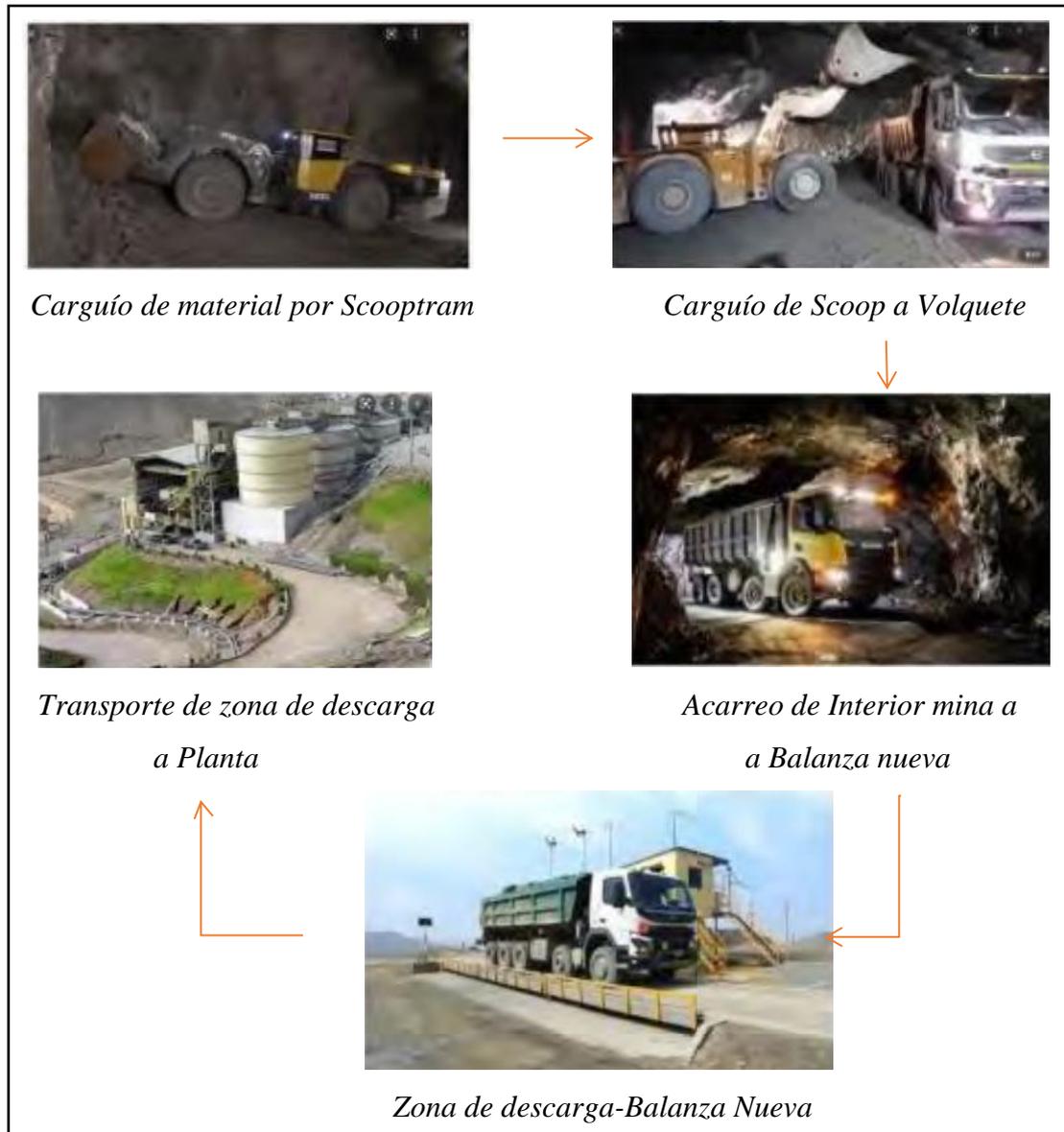
Fuente: Autor de tesis

4.3.2. OPERACIÓN DE ACARREO

Para el acarreo de mineral y desmonte se utilizan camiones volquetes diésel por su mayor movilidad y flexibilidad, permitiendo una fácil adaptación a las condiciones de trabajo de explotación. Para el traslado de mineral que proviene de tajos explotados por Sublevel Stopping son utilizados volquetes Volvo de 35 tn.

Figura 13

Ciclo de acarreo con volquetes de 35 tn



Nota: Elaboración propia

El servicio de acarreo de desmonte y mineral en la Compañía Minera Condestable, se encuentra tercerizado correspondiente a 4 empresas contratistas, siendo la empresa CN SAC con un total de 20 unidades de modelos Volvo 8x4 (35 ton) y Scania 8x4 con capacidad de 20m³, seguidas por la empresa contratista ACOINSA con un total de 5 unidades y las empresas BJ GRUPO y OPERMIN con 4 unidades cada una.

Figura 14

Flota de Volquetes en la Compañía Minera Condestable



Fuente: Autor de tesis

4.4. IDENTIFICACIÓN DE LA ZONA DE TRABAJO EN ESTUDIO

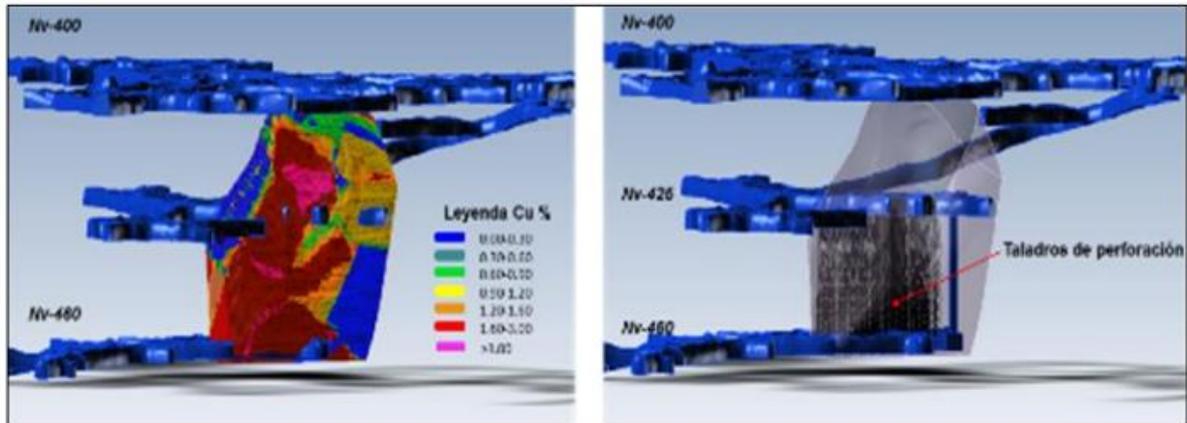
La zona de trabajo en estudio corresponde a las áreas de extracción y acarreo de mineral de la Unidad Raúl en la compañía minera Condestable, específicamente en los tajos en explotación Tj_6125 y Tj_6590, ubicados en las zona baja en los niveles Nv_490 y Nv-520, considerando la aplicabilidad del método de minado sublevel stoping. En estas áreas, se utilizan equipos de bajo perfil, como scoops de 6 yd³ y volquetes de 35 tn.

El proceso comienza cuando el mineral es cargado por el equipo scoop de 6yd³ desde los tajos (draw point o ventanas de extracción) hacia las cámaras de carguío donde se carga a los volquetes de 35 ton de capacidad, para luego ser trasladado al echadero de mineral.

La productividad diaria en los tajos Tj_6125 y Tj_6590 está directamente influenciada por la eficiencia de los equipos de carguío y acarreo. Sin embargo, debido a los problemas de fallas mecánicas y la baja disponibilidad de equipos, la productividad no logra cumplir con los estándares requeridos. Las interrupciones en las operaciones debido a los tiempos de inactividad de los equipos resultan en una menor cantidad de mineral transportado y, por lo tanto, en una menor producción diaria.

Figura 15

Modelamiento para Sublevel stoping TJ_6125 zona baja Unidad Raúl



Fuente: Área de Planeamiento CMC

Figura 16

Mineral post voladura, TJ_6125 zona baja Unidad Raúl



Fuente: Autor de la tesis

La siguiente figura corresponde al tajo en explotación TJ_6590 ubicado en la zona baja en el nv-520.

Figura 17

Mineral post voladura TJ_6590 zona baja Unidad Raúl



Fuente: Autor de la tesis

4.5. EQUIPOS DE BAJO PERFIL DE CARGUÍO Y ACARREO UTILIZADOS

Los equipos de bajo utilizados en el proceso de carguío y acarreo de los tajos en explotación TJ_6125 y TJ_6590 en la zona baja de la Unidad Raúl, se describe a continuación.

Tabla 4

Equipos de bajo perfil de carguío y acarreo utilizados

Máquina y/o equipo	Cantidad	Capacidad
Scooptram Caterpillar	02	6 yd ³
Volquete Volvo 8x4	10	35 toneladas

Fuente: Elaboración propia

Figura 18

Scoop CAT R1600G de 6yd³



Fuente: (Caterpillar, 2011)

Figura 19

Volquete Volvo 8x4 de 35 Tn



Fuente: Autor de la tesis

4.5.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS EQUIPOS DE CARGUÍO

En la siguiente tabla se describe las características del equipo de carguío utilizado, la ficha técnica de este equipo se muestra en el Anexo 12.

Tabla 5

Caracterización del equipo de carguío

SCOOPTRAM DE 6Yd³	
Modelo	R1600G
Tipo	CATERPILAR
Motor (Modelo)	Cat® 3176C EUI
Potencia Bruta	200 kW/268 hp
Capacidad de Cucharón	4.8 m ³
Capacidad de Carga útil nominal	10.200 kg/22.487 lb

Peso bruto en orden de trabajo	29.800 kg/65.698 lb
Cilindrada	10,3 L/629.4 pulg3
Tiempo de ciclo hidráulico	
Subida	7.6 segundos
Descarga	1.6 segundos
Bajada, vacío, libre	2 segundos
Tiempo del ciclo total	11,2 segundos

Fuente: Compañía Minera Condestable – Área de Planeamiento

4.5.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS EQUIPOS DE ACARREO

En la siguiente tabla se describe las características como la capacidad, modelo entre otros del equipo volquete utilizado, la ficha técnica de este equipo se muestra en el Anexo 13.

Tabla 6

Caracterización de l

VOLQUETE VOLVO DE 35 TN	
Tracción	8x4
Modelo	Volvo D13C
Potencia	1.400 a 1.900 rpm
Torques	1.000 a 1.400rpm
Capacidad técnica	32-37 ton
Límite legal	38 ton
Tanque de combustible	400 lts

Fuente: Compañía Minera Condestable – Área de Planeamiento

4.5.3. OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS DE CARGUÍO

4.5.3.1 DISPONIBILIDAD MECÁNICA DE LOS EQUIPOS DE CARGUÍO

La disponibilidad mecánica de los equipos de carguío hace referencia al tiempo en el que estos equipos están operativos y listos para trabajar, es decir, la proporción de tiempo en la que los equipos pueden realizar su trabajo en relación con el tiempo total disponible. La baja disponibilidad mecánica puede ser consecuencia de fallos técnicos, mantenimiento inadecuado o tiempos excesivos de parada no planificada, lo que afecta directamente la capacidad de los equipos para realizar las tareas de carguío y acarreo de manera eficiente.

En la Unidad Raúl zona baja se definen criterios mínimos de cumplimiento con los que se comparará el valor obtenido, con el fin de establecer si se cumple o no lo estipulado. Los

parámetros señalados por la unidad se fundamentan en los estándares que se presentan a continuación:

Tabla 7

Parámetros de los indicadores de rendimiento de equipos de carguío en la Unidad Raúl

Equipo	Horas de Oper. (Horas)	Horas mín. (Horas)	Horas de Mantto. (Horas)	Disponibilidad (%)	Utilización (%)
Scooptram	540	420	81	0.85	0.75

Fuente: Área de planeamiento mina

Para el cálculo de la disponibilidad mecánica de ambos equipos se utilizó la siguiente tabla de las horas mensuales registradas en el proceso de carguío de los tajos en explotación TJ_6125, TJ_6590 en los niveles nv-490 y nv-520 de la zona baja en la Unidad Raúl.

Tabla 8

Horas mensuales registradas de los equipos de carguío

MES	EQUIPO	HRS. MIN.	HRS. PROG.	HRM. INICIAL	HRM. FINAL	HRS. OPER.	INSP. ENGR.	MTTO. PREV.	MTTO. CORR.	HRS. FALLA
ENERO	SCOOP C606	420	540	2422.1	2811.9	389.8	8.6	21.1	36.2	13.1
	SCOOP C609	420	540	19080.5	19456.4	375.9	7.2	24.2	37.5	16.3
FEBRERO	SCOOP C606	420	540	2811.9	3196.5	384.6	8.4	18.3	38.8	13.5
	SCOOP C609	420	540	19456.4	19846.9	390.5	8.5	24.5	37.5	16.1
MARZO	SCOOP C606	420	540	3196.5	3584.8	388.3	8.8	21.2	38.6	15.9
	SCOOP C609	420	540	19846.9	20239.3	392.4	8.4	23.4	35.7	13.8

Nota: Elaboración propia

A continuación se procede a calcular la disponibilidad mecánica de los equipos de carguío.

➤ **Disponibilidad Mecánica (DM)**

$$DM = \frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{Hrs.Trabajadas} + \text{Hrs.en reparación}}$$

Para el mes de Enero:

$$DM \text{ Scoop C606} = \frac{389.8 \text{ hr}}{389.8 \text{ hr} + 79 \text{ hr}} = \mathbf{83.1 \%}$$

$$DM \text{ Scoop C606} = \frac{375.9 \text{ hr}}{375.9 \text{ hr} + 85.2 \text{ hr}} = \mathbf{81.5 \%}$$

Para el mes de Febrero:

$$DM \text{ Scoop C606} = \frac{384.6 \text{ hr}}{384.6 \text{ hr} + 79 \text{ hr}} = \mathbf{83.0 \%}$$

$$DM \text{ Scoop C606} = \frac{390.5 \text{ hr}}{390.5 \text{ hr} + 86.6} = \mathbf{81.8 \%}$$

Para el mes de Marzo:

$$DM \text{ Scoop C606} = \frac{388.3 \text{ hr}}{388.3 \text{ hr} + 84.5 \text{ hr}} = \mathbf{82.1 \%}$$

$$DM \text{ Scoop C606} = \frac{392.4 \text{ hr}}{392.4 \text{ hr} + 81.3 \text{ hr}} = \mathbf{82.8 \%}$$

En la siguiente tabla se muestra el resumen de los valores de la Disponibilidad mecánica de los equipos scoop de 6yd3 de Enero a Marzo.

Tabla 9

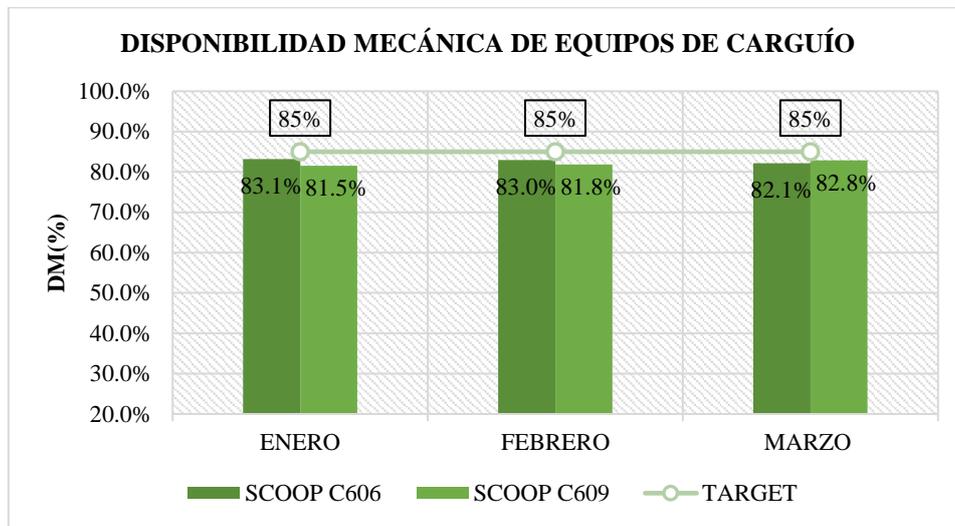
Valores de la Disponibilidad mecánica de los equipos de carguío

MES	EQUIPO	HRS. MIN.	HRS. PROG.	HRS. OPER.	HRS. MTTO	DM (%)	TARGET
ENERO	SCOOP C606	420	540	389.8	79.0	83.1 %	85 %
	SCOOP C609	420	540	375.9	85.2	81.5 %	85 %
FEBRERO	SCOOP C606	420	540	384.6	79.0	83.0 %	85 %
	SCOOP C609	420	540	390.5	86.6	81.8 %	85 %
MARZO	SCOOP C606	420	540	388.3	84.5	82.1 %	85 %
	SCOOP C609	420	540	392.4	81.3	82.1 %	85 %

Nota: Elaboración propia

Gráfico 1

Disponibilidad mecánica de equipos de carguío de (Enero a Marzo)

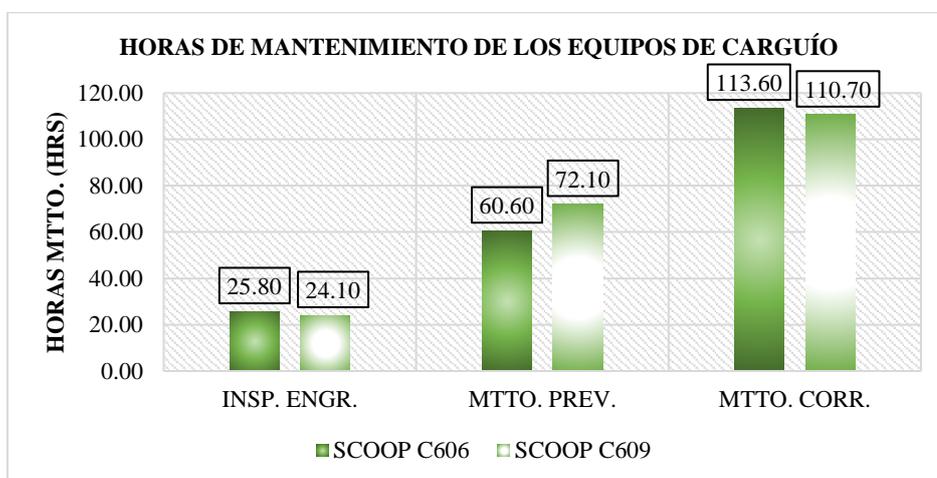


Nota: Elaboración propia

En el gráfico anterior se muestra los datos registrados de la disponibilidad mecánica de los equipos de carguío de Enero a Marzo, estos datos no logran superar el 85% establecido por la Unidad, y esto se refleja en una baja productividad de la operaciones. Al analizar donde se concentra la mayor cantidad de horas por mantenimiento, se puede observar que son por las horas de mantenimiento correctivo, como se muestra a continuación.

Gráfico 2

Horas acumuladas de mantenimiento de los equipos de carguío



Nota: Elaboración propia

Po esta razón se va a realizar un análisis de las fallas más comunes en los mantenimiento correctivos a través del diagrama de Pareto, para identificarlos y minimizarlos, de esa manera conseguir una disponibilidad óptima para los equipos de carguío.

Se puede evidenciar que entre las fallas más comunes en los equipo son por, la rotura de crucetas, fuga de aceite del equipo, rotura en pernos de cruceta, las baterías del equipo en mal estado, cuchara de equipos en mal estado o deteriorados, falta de engrase en equipos, mangueras de los equipos en mal estado, los cilindros de levante y volteo con deficiencias, falla del freno de parqueo, problemas con el arranque del equipo, entre otros.

Tabla 10

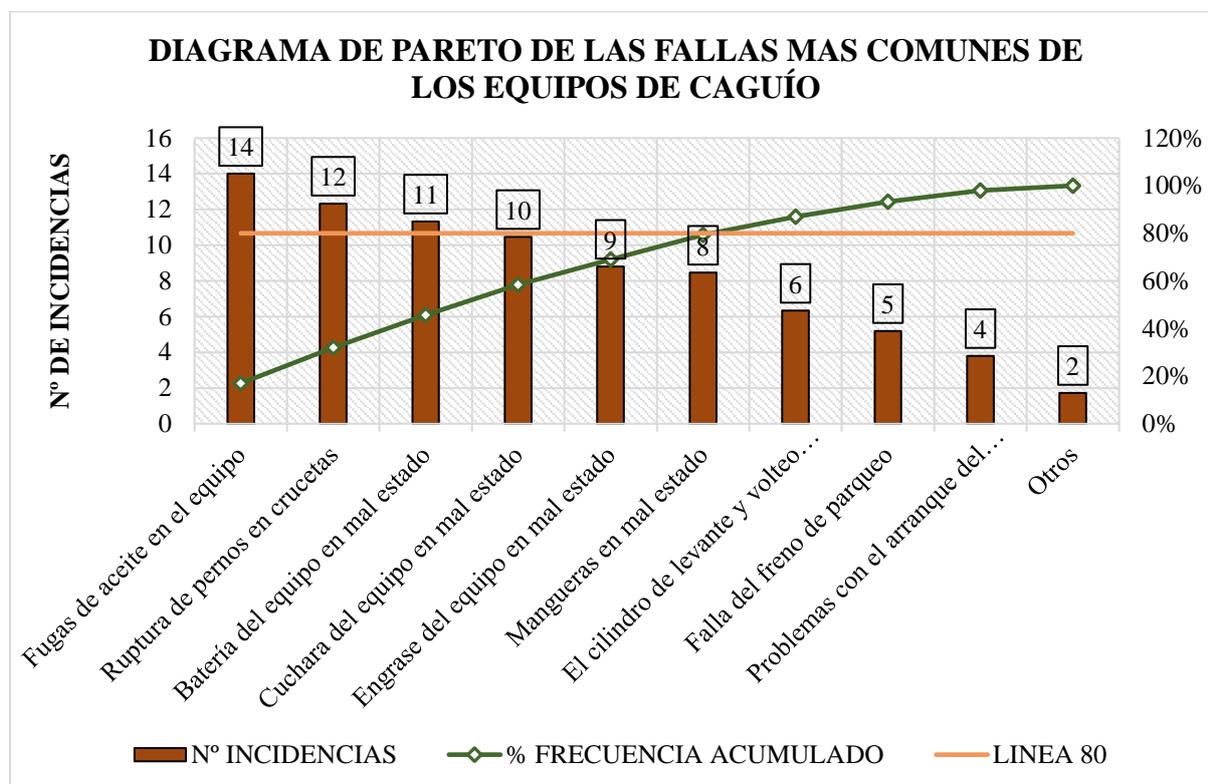
Fallas más comunes de los equipos de carguío

FALLAS	Nº INCIDENCIAS	% FRECUENCIA	% FRECUENCIA ACUMULADO	LÍNEA 80
Fugas de aceite en el equipo	14	17%	17%	80%
Ruptura de pernos en crucetas	12	15%	32%	80%
Batería del equipo en mal estado	11	14%	46%	80%
Cuchara del equipo en mal estado	10	13%	58%	80%
Engrase del equipo en mal estado	9	11%	69%	80%
Mangueras en mal estado	8	10%	79%	80%
El cilindro de levante	6	8%	87%	80%
Falla del freno de parqueo	5	6%	93%	80%
Problemas con el arranque del equipo	4	5%	98%	80%
Otros	2	2%	100%	80%

Nota: Elaboración propia

Gráfico 3

Diagrama de Pareto de las fallas más comunes en los equipos de carguío



Nota: Elaboración propia

El gráfico anterior no permite identificar y priorizar las fallas más frecuentes de los equipos de carguío que afectan la disponibilidad y productividad de estos equipos. Al representar las causas en orden de frecuencia o impacto, permite a los equipos identificar rápidamente los problemas más críticos que deben abordarse primero para lograr mejoras sustanciales y eficientes, las fallas con mayor incidencia fueron, fugas de aceite en el equipo, ruptura de pernos en crucetas, batería del equipo en mal estado, cuchara del equipo en mal estado y el engrase del equipo en mal estado.

De esta manera, el diagrama de Pareto ayuda a mejorar la eficiencia operativa, reducir los tiempos de inactividad y aumentar la disponibilidad de los equipos de carguío, contribuyendo a una mayor productividad en las operaciones mineras.

4.5.3.2 UTILIZACIÓN DE EQUIPOS DE CARGUÍO

Calcular la utilización de los equipos es fundamental para evaluar su eficiencia y el grado en que están siendo aprovechados en las operaciones. Este indicador nos ayuda a entender si los equipos están siendo utilizados de manera óptima o si existen ineficiencias que pueden estar afectando la productividad.

➤ **Utilización (UA)**

$$\text{Utilización (UA)} = \frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{Horas programadas}}$$

Para el mes de Enero:

$$UA \text{ Scoop C606} = \frac{389.8 \text{ hr}}{540 \text{ hr}} = 72.2 \%$$

$$UA \text{ Scoopt C609} = \frac{375,9 \text{ hr}}{540 \text{ hr}} = 69.6 \%$$

Para el mes de Febrero:

$$UA \text{ Scoop C606} = \frac{384.6 \text{ hr}}{540 \text{ hr}} = 71.2 \%$$

$$UA \text{ Scoop C609} = \frac{390.5 \text{ hr}}{540 \text{ hr}} = 72.3 \%$$

Para el mes de Marzo:

$$UA \text{ Scoop C606} = \frac{388.3 \text{ hr}}{540 \text{ hr}} = 71.9 \%$$

$$UA \text{ Scooptram C609} = \frac{392.4 \text{ hr}}{540 \text{ hr}} = 72.7 \%$$

En la siguiente tabla se resume los valores obtenidos de utilización de equipos de carguío del mes de Enero a Marzo.

Tabla 11

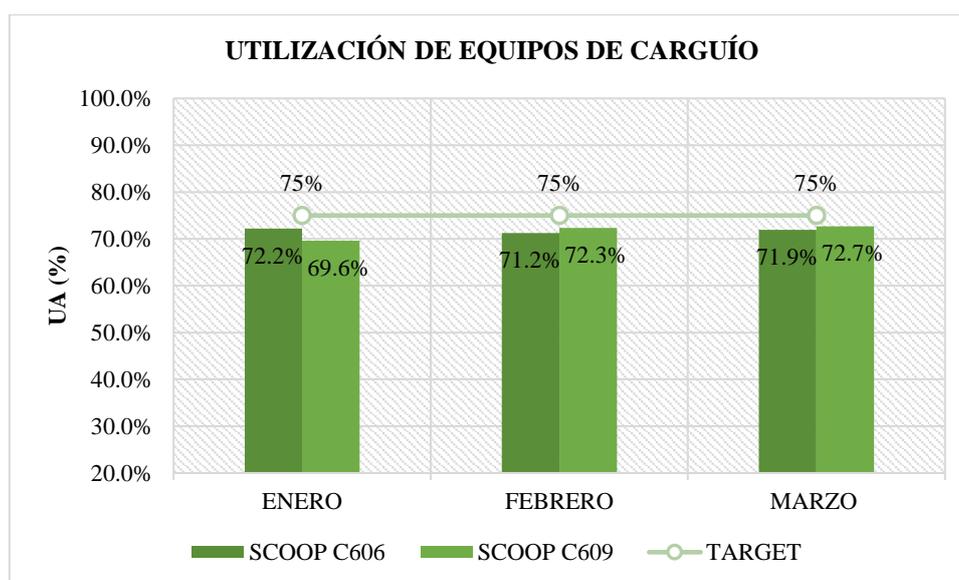
Valores de la Utilización de los equipos de carguío

MES	EQUIPO	HRS. MIN.	HRS. PROG.	HRS. OPER.	HRS. MTTO	UA (%)	TARGET
ENERO	SCOOP C606	420	540	389.8	79.0	72.2 %	75 %
	SCOOP C609	420	540	375.9	85.2	69.6 %	
FEBRERO	SCOOP C606	420	540	384.6	79.0	71.2 %	
	SCOOP C609	420	540	390.5	86.6	72.3 %	
MARZO	SCOOP C606	420	540	388.3	84.5	71.9 %	
	SCOOP C609	420	540	392.4	81.3	72.7 %	

Nota: Elaboración propia

Gráfico 4

Valores de la Utilización de (Enero a Marzo) de los equipos de carguío



Nota: Elaboración propia

Para los equipos de 6yd3 se ha llegado a obtener valores de utilización por debajo a lo establecido (>75%). Identificar la causa exacta de una baja utilización es crucial para tomar las medidas correctivas adecuadas, ya sea optimizando los procesos, mejorando el mantenimiento o ajustando la planificación y asignación de equipos.

4.5.3.3 RENDIMIENTOS DE EQUIPOS DE CARGUÍO

4.5.3.3.1. TIEMPOS DE OPERACIÓN

Para llevar a cabo el análisis de los tiempos de operación de carguío de los tajos en explotación TJ_6125, TJ_6590 a las cámaras de carguío, se debe considerar los siguientes parámetros de los equipos.

A. Parámetros para el rendimiento del scoop de 6 yd³

Para determinar el rendimiento horario de la flota de equipos de carguío, se tomarán en cuenta los parámetros operativos utilizados en la unidad. Las mismas se relacionan más con la capacidad de los equipos y las características del mineral que se va a cargar.

Tabla 12

Parámetros operacionales de equipos de carguío Unidad Raúl

Parámetros operacionales en carguío de mineral		
Parámetros	Ratio	Unidad
Capacidad de Cuchara	6	yd ³
Capacidad de Cuchara	4.59	m ³
Factor de conversión	0.765	f
Factor de llenado	0.90	Fc%
Densidad mineral	2.50	Ton/m ³

Fuente: Área mina de la Unidad Raúl

Para calcular el tiempo total de carguío del scoop en llenar al volquete, es necesario conocer el número total de lampones o pases que lleva a cabo el scoop para el carguío completo del volquete, el número de pases que hará el equipo de carguío se determinará por:

$$N^{\circ} = \frac{CRC\ VOLQ.}{CRC\ SCOOP}$$

Para nuestro caso, los datos son los siguientes:

- N°: Número de lampones o pases
- CRC Volq. :Capacidad real del equipo de acarreo

➤ CRC Scoop : Capacidad real del equipo Sccop

Donde:

$$\text{CRC Volq.} = 35 \text{ tn} / (2.50 \text{ tn/m}^3) = 14 \text{ m}^3 * 0.90 = 12.6 \text{ m}^3$$

$$\text{CRC Scoop} = 6 \text{ yd}^3 * 0.765 = 4.59 \text{ m}^3 * 0.90 = 4.13 \text{ m}^3$$

Reemplazando datos:

$$N^{\circ} \text{ de Pases} = \frac{12.6 \text{ m}^3}{4.13 \text{ m}^3}$$

$$N^{\circ} \text{ de Pases} = 3 \text{ pases}$$

Por lo que para poder llenar un volquete en su totalidad, el equipo de carguío de 6 yd3 requiere efectuar 3 ciclos completos.

B. Consideraciones para la toma de tiempos de carguío

- El equipo de carguío utilizado es un Scooptram de 6yd3.
- El material a cargar tiene una buena fragmentación, según las condiciones de voladura.
- Durante el proceso de carguío, se limitará el tránsito de vehículos y peatones a través de caballetes y vigías.
- La vía de recorrido entre la estación de carguío y el volquete permanecerá en óptimas condiciones, dado que estos accesos serán objeto de un mantenimiento periódico.
- La velocidad media de traslado del scoop en el ciclo se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 13

Velocidad promedio de traslado del equipo de carguío

VELOCIDAD PROMEDIO DEL SCOOPTRAM		
Equipo	Velocidad (km/hr)	
	Cargado	Vacío
SCOOPTRAM C606	4,6	6,1
SCOOPTRAM C609	4,5	6,0

Nota: Autor de tesis

- La distancia que recorre el scoop desde los tajos en explotación (draw point o ventanas de extracción) hasta las cámara de carguío son:

Tabla 14

Distancia desde los tajos(draw point) a la cámara de carguío

Descripción	Tj6125	Tj6590
Distancia desde los tajos(draw point) a cámara de carguío	50 m	65 m

Fuente: Autor de tesis

C. ESTUDIO DE TIEMPOS DE CARGUÍO DEL SCOOP AL VOLQUETE

En el momento en que los volquetes llegan a la cámara de carguío, para poder realizar el giro, primero deben de ingresar hacia las ventanas y luego girar hasta estar en posición de su salida, en ese momento el scoop de 6yd3 estará esperando con carga en su lampón, seguido de ello el volquete tendrá que avanzar hasta posicionar su tolva debajo del lampón del scoop, de esta manera el scoop pueda descargar. Una vez descargada sobre la tolva del volquete, seguido de ello el volquete tendrá que retroceder para que el equipo scoop vuelva a ingresar a la ventana de extracción (draw poitn) donde está acumulado el material para volver a cargar en el lampón, retroceder hasta la cámara de carguío y levantar el lampón para que el volquete se posicione debajo del lampón para su posterior descarga sobre la tolva del volquete, cada volquete se llena con 3 lamponadas del equipo scoop de 6yd3 de capacidad.

➤ Ciclo de carguío del TJ_6125 a cámara de carguío nv-490

En la siguiente tabla se muestra los tiempos obtenidos del tajo de explotación TJ_6125 a la cámara de carguío ubicado en el nv-490, se tomó datos durante el carguío de 5 volquetes, cada volquete fue cargado con 3 pases de mineral, dando como resultados los tiempos promedios de cada viaje y finalmente se obtuvo el promedio total de los 5 viajes para realizar su posterior análisis.

Tabla 15*Tiempo del ciclo de carguío del TJ_6125 a cámara de carguío nv-490*

Volq.	Pases	Tiempo cuchareo (h.mm:ss)	Tiempo trans. carga (h.mm:ss)	Tiempo posicion. Volq. (h.mm:ss)	Tiempo descarga (h.mm:ss)	Tiempo retiro volq. (h.mm:ss)	Tiempo trans. vacío (h.mm:ss)	Tiempo de ciclo (h.mm:ss)
1	1	00:00:13	00:00:54	00:00:11	00:00:11	00:00:11	00:00:34	00:02:14
	2	00:00:11	00:00:53	00:00:13	00:00:15	00:00:12	00:00:33	00:02:17
	3	00:00:12	00:00:52	00:00:16	00:00:11	00:00:13	00:00:34	00:02:18
Tiempo total en cargar un volquete								00:06:49
2	1	00:00:16	00:00:52	00:00:13	00:00:14	00:00:11	00:00:33	00:02:19
	2	00:00:11	00:00:53	00:00:11	00:00:12	00:00:13	00:00:34	00:02:14
	3	00:00:11	00:00:54	00:00:14	00:00:13	00:00:10	00:00:36	00:02:18
Tiempo total en cargar un volquete								00:06:51
3	1	00:00:12	00:00:52	00:00:11	00:00:14	00:00:12	00:00:35	00:02:16
	2	00:00:11	00:00:55	00:00:15	00:00:13	00:00:13	00:00:35	00:02:22
	3	00:00:10	00:00:54	00:00:11	00:00:11	00:00:16	00:00:36	00:02:18
Tiempo total en cargar un volquete								00:06:56
4	1	00:00:13	00:00:52	00:00:11	00:00:14	00:00:13	00:00:35	00:02:18
	2	00:00:12	00:00:51	00:00:13	00:00:15	00:00:11	00:00:37	00:02:19
	3	00:00:12	00:00:54	00:00:16	00:00:12	00:00:13	00:00:36	00:02:23
Tiempo total en cargar un volquete								00:07:00
5	1	00:00:14	00:00:46	00:00:12	00:00:12	00:00:13	00:00:35	00:02:12
	2	00:00:13	00:00:45	00:00:11	00:00:15	00:00:12	00:00:32	00:02:08
	3	00:00:12	00:00:48	00:00:15	00:00:14	00:00:11	00:00:33	00:02:13
Tiempo total en cargar un volquete								00:06:33
Promedio		00:00:12	00:00:52	00:00:13	00:00:13	00:00:12	00:00:35	00:02:17
Tiempo promedio que se demora en cargar un volquete								00:06:50
Total del ciclo de carguío de mineral a 5 volquetes								00:34:09

Nota: Elaboración Propia

➤ **Ciclo de carguío del TJ_6590 a cámara de carguío nv-520**

En la tabla siguiente se muestra los tiempos de carguío del tajo de explotación TJ_6590 a cámara de carguío ubicado en el nv-520, se tomó datos durante el carguío de 5 volquetes, cada volquete contó con 3 pases de mineral, obteniendo tiempos promedios por cada viaje y finalmente se obtuvo el promedio total de los 3 viajes para realizar el análisis correspondiente.

Tabla 16*Tiempo del ciclo de carguío del TJ_6590 a cámara de carguío nv-520*

Volq.	Pases	Tiempo cuchareo (h.mm:ss)	Tiempo trans. carga (h.mm:ss)	Tiempo posicion. Volq. (h.mm:ss)	Tiempo descarga (h.mm:ss)	Tiempo retiro volq. (h.mm:ss)	Tiempo trans. vacío (h.mm:ss)	Tiempo de ciclo (h.mm:ss)
1	1	00:00:17	00:00:55	00:00:17	00:00:23	00:00:16	00:00:37	00:02:45
	2	00:00:15	00:00:53	00:00:20	00:00:15	00:00:15	00:00:39	00:02:37
	3	00:00:16	00:00:52	00:00:20	00:00:15	00:00:20	00:00:36	00:02:39
Tiempo total en cargar un volquete								00:08:01
2	1	00:00:17	00:00:51	00:00:17	00:00:23	00:00:17	00:00:35	00:02:40
	2	00:00:16	00:00:50	00:00:20	00:00:15	00:00:20	00:00:36	00:02:37
	3	00:00:18	00:00:54	00:00:19	00:00:14	00:00:19	00:00:38	00:02:42
Tiempo total en cargar un volquete								00:07:59
3	1	00:00:15	00:00:55	00:00:17	00:00:23	00:00:21	00:00:37	00:02:48
	2	00:00:13	00:00:52	00:00:20	00:00:15	00:00:19	00:00:35	00:02:34
	3	00:00:15	00:00:49	00:00:15	00:00:14	00:00:15	00:00:38	00:02:26
Tiempo total en cargar un volquete								00:07:48
4	1	00:00:17	00:00:49	00:00:20	00:00:22	00:00:17	00:00:36	00:02:41
	2	00:00:27	00:00:52	00:00:15	00:00:14	00:00:16	00:00:34	00:02:38
	3	00:00:15	00:00:51	00:00:18	00:00:13	00:00:19	00:00:35	00:02:31
Tiempo total en cargar un volquete								00:07:50
5	1	00:00:10	00:00:51	00:00:14	00:00:18	00:00:14	00:00:34	00:02:21
	2	00:00:11	00:00:53	00:00:15	00:00:10	00:00:12	00:00:34	00:02:15
	3	00:00:12	00:00:49	00:00:11	00:00:10	00:00:16	00:00:38	00:02:16
Tiempo total en cargar un volquete								00:06:52
Promedio		00:00:16	00:00:52	00:00:17	00:00:16	00:00:17	00:00:36	00:02:34
Tiempo promedio que se demora en cargar un volquete								00:07:42
Total del ciclo de carguío de mineral a 5 volquetes								00:38:30

Nota: Elaboración propia

El estudio de tiempos de carguío del scoop al volquete desde los tajos en explotación TJ_6125 y TJ_6590 a las cámaras de carguío, es crucial para mejorar la eficiencia operativa en las actividades de carguío y acarreo en las operaciones de la unidad. Este estudio ayuda a identificar y optimizar los procesos involucrados en el carguío y acarreo de material, lo que tiene un impacto directo en la productividad y en la reducción de costos operativos.

A continuación se muestra en la tabla, el resumen de los tiempos promedio de carguío del scoop al volquete por lampón o pase desde los tajos en explotación (draw poitn o ventanas

de extracción) a las cámaras de carguío ubicados en los niveles nv-490 y nv-520 de la zona baja en la Unidad Raúl.

Tabla 17

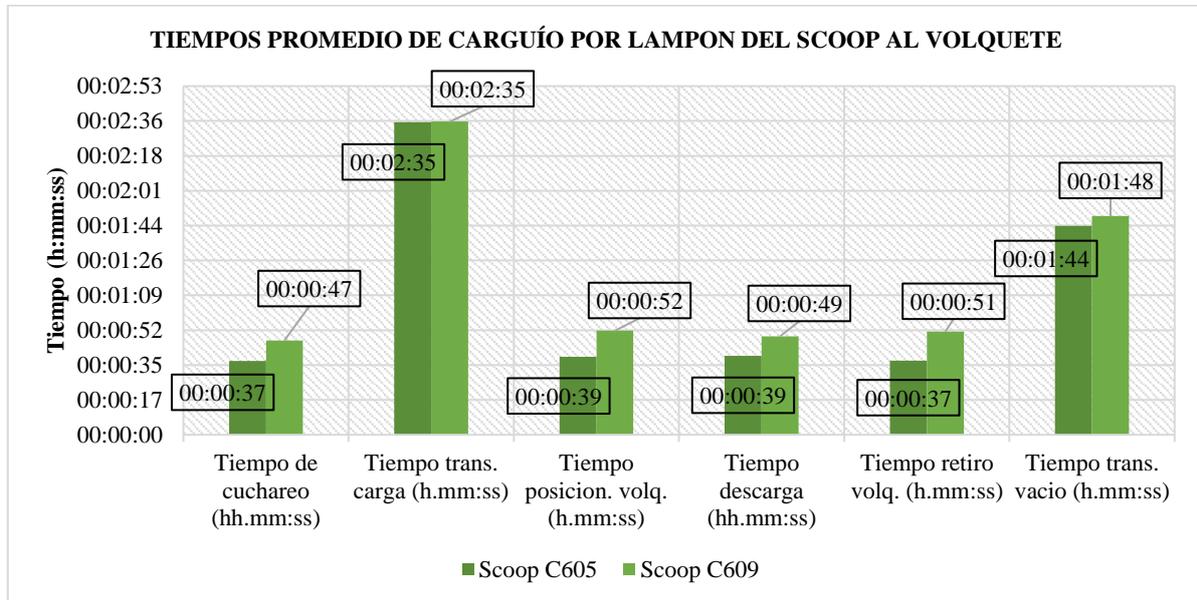
Resumen de tiempos promedio de carguío desde los tajos en explotación a las cámaras de carguío

Tiempo promedio de rendimiento de scooptram							
EQUIPO	Tiempo de cuchareo (h.mm:ss)	Tiempo trans. carga (h.mm:ss)	Tiempo posicion. volq. (h.mm:ss)	Tiempo descarga (h.mm:ss)	Tiempo retiro volq. (h.mm:ss)	Tiempo trans. vacío (h.mm:ss)	Tiempo de ciclo (h.mm:ss)
Scoop C605	00:00:37	00:02:35	00:00:39	00:00:39	00:00:37	00:01:44	00:06:50
Scoop C609	00:00:47	00:02:35	00:00:52	00:00:49	00:00:51	00:01:48	00:07:42
Promedio Resumen	00:00:42	00:02:35	00:00:45	00:00:44	00:00:44	00:01:46	00:07:16

Nota: Elaboración propia

Gráfico 5

Tiempos promedio de carguío por lampón del scoop al volquete



Nota: Elaboración propia

4.5.3.3.2. PRODUCTIVIDAD DE EQUIPOS DE CARGUÍO

A. Tiempo de ciclo de carguío

- Tiempo ciclo Scoop C606 (min) = 6.8 min
- Tiempo ciclo Scoop C609 (min) = 7.7 min

B. Cálculo de rendimiento del scoop

- Capacidad nominal de cuchara (yd³) : 6 yd³
- Capacidad efectiva cuchara (m³) : (6 yd³) * (0.765 m³) = 4.59 m³

$$(4.59 \text{ m}^3) * (0.90) = 4.13 \text{ m}^3$$

- Cálculo de toneladas por viaje : (Ton/viaje)

$$\text{Ton/viaje} = 4.13 \text{ m}^3 * 2.50 \text{ ton/m}^3$$

$$\text{Ton/viaje} = 10.3 \text{ ton}$$

C. Eficiencia

- Número de viajes por hora (Nº viajes/hr)

$$N^{\circ} \text{ viajes/hr} = \frac{1 \text{ hr (min)}}{T_c \text{ prom (min)}}$$

$$N^{\circ} \frac{\text{viajes}}{\text{hr}} \text{ Scoop C606} = \frac{60 \text{ min}}{6.8 \text{ min}} = 8.8 \text{ viajes/hr}$$

$$N^{\circ} \frac{\text{viajes}}{\text{hr}} \text{ Scoop C609} = \frac{60 \text{ min}}{7.7 \text{ min}} = 7.8 \text{ viajes/hr}$$

- Cálculo de eficiencia horaria (Ton/hora)

$$\text{Rend Efic.} \frac{\text{Ton}}{\text{hr}} = N^{\circ} \frac{\text{viajes}}{\text{hr}} * \frac{\text{Ton}}{\text{viaje}}$$

$$\text{Rend Efic.} \frac{\text{Ton}}{\text{hr}} \text{ Scoop C606} = 8.8 \frac{\text{viajes}}{\text{hr}} * 10.3 \frac{\text{Ton}}{\text{viaje}} = 90.6 \frac{\text{Ton}}{\text{hr}}$$

$$\text{Rend Efic.} \frac{\text{Ton}}{\text{hr}} \text{ Scoop C609} = 7.8 \frac{\text{viajes}}{\text{hr}} * 10.3 \frac{\text{Ton}}{\text{viaje}} = 80.3 \frac{\text{Ton}}{\text{hr}}$$

- **Cálculo de eficiencia horaria (m3/hora)**

$$\text{Rend Efic.} \frac{m^3}{hr} \text{ Scoop C606} = \frac{90.6 \frac{Ton}{hr}}{2,50 \frac{Ton}{m^3}} = 36.2 \frac{m^3}{hr}$$

$$\text{Rend Efic.} \frac{m^3}{hr} \text{ Scoop C609} = \frac{80.3 \frac{Ton}{hr}}{2,50 \frac{Ton}{m^3}} = 32.1 \frac{m^3}{hr}$$

4.5.3.3.3. COSTO DE OPERACIÓN

Calcular el costo de operación de los equipos es crucial para tomar decisiones informadas sobre el uso, mantenimiento, compra o venta de maquinaria. Esto ayuda a mejorar la rentabilidad, controlar costos, optimizar la operación y asegurar que los recursos se utilicen de manera eficiente y rentable.

El cálculo del costo horario del equipo se encuentra en el Anexo12, teniendo este valor procedemos a determinar el costo de operación de los equipos de carguío, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 18

Costo de operación de equipos de carguío

MES	EQUIPO	COSTO HORARIO (\$/HR)	HRS. OPER.	COSTO DE OPERACIÓN MENSUAL (\$)
ENERO	SCOOP C606	164.40	389.8	64,083.1
	SCOOP C609	164.40	375.9	61,798.0
FEBRERO	SCOOP C606	164.40	384.6	63,228.2
	SCOOP C609	164.40	390.5	64,198.2
MARZO	SCOOP C606	164.40	388.3	63,836.5
	SCOOP C609	164.40	392.4	64,510.6

Nota: Elaboración propia

4.5.4. OPERACIÓN DE EQUIPOS DE ACARREO

4.5.4.1 DISPONIBILIDAD MECÁNICA DE EQUIPOS DE ACARREO

El cálculo de la disponibilidad mecánica de los equipos de acarreo es fundamental para mejorar la productividad de las operaciones. Esta métrica proporciona una visión clara de qué tan efectivos son los equipos para operar cuando se necesitan, lo que impacta directamente en la eficiencia de todo el proceso productivo.

Para el cálculo de la disponibilidad mecánica de los equipos de acarreo se utilizó la siguiente tabla de las horas mensuales registradas de los equipos.

Tabla 19

Horas mensuales registradas de los equipos de acarreo

EQUIPO	HRS. MIN.	HRS. PROG.	HRM. INICIAL	HRM. FINAL	HRS. OPER.	INSP. ENGR.	MTTO. PREV.	MTTO. CORR.	HRS. FALLA
VOLQ-V01	420	540	4037.7	4416.3	378.6	6.7	24.9	33.4	15.5
VOLQ-V02	420	540	8494.1	8889.4	395.3	8.3	21.8	30.5	16.3
VOLQ-V03	420	540	9198.1	9567.3	369.2	5.6	22.5	35.6	14.1
VOLQ-V04	420	540	9393	9771.2	378.2	7.8	26.2	31.9	13.4
VOLQ-V05	420	540	6550.2	6914.6	364.4	5.9	20.3	21.5	12
VOLQ-V06	420	540	9100.8	9476.4	375.6	6.7	26.2	35.6	18.6
VOLQ-V07	420	540	8523.7	8905.6	381.9	5.4	19.3	20.9	11.6
VOLQ-V08	420	540	5470.3	5850.9	380.6	5.8	21.5	33.5	15.4

Nota: Elaboración propia

A continuación se procede a calcular la disponibilidad mecánica de los equipos de acarreo.

➤ Disponibilidad Mecánica (DM)

$$DM = \frac{\text{Horas Trabajadas}}{\text{Hrs. Trabajadas} + \text{Hrs. en Reparación}}$$

$$DM \text{ Volquete V01} = \frac{378.6 \text{ hr}}{378.6 \text{ hr} + 80.5 \text{ hr}} = 82.5 \%$$

$$DM \text{ Volquete V02} = \frac{395.3 \text{ hr}}{395.3 \text{ hr} + 76.9 \text{ hr}} = \mathbf{83.7 \%}$$

$$DM \text{ Volquete V03} = \frac{369.2 \text{ hr}}{369.2 \text{ hr} + 77.8 \text{ hr}} = \mathbf{82.6 \%}$$

$$DM \text{ Volquete V04} = \frac{378.2 \text{ hr}}{378.2 \text{ hr} + 79.3 \text{ hr}} = \mathbf{82.7 \%}$$

$$DM \text{ Volquete V05} = \frac{364.4 \text{ hr}}{364.4 \text{ hr} + 59.7 \text{ hr}} = \mathbf{85.9 \%}$$

$$DM \text{ Volquete V06} = \frac{375.6 \text{ hr}}{375.6 \text{ hr} + 87.1 \text{ hr}} = \mathbf{81.2 \%}$$

$$DM \text{ Volquete V07} = \frac{381.9 \text{ hr}}{381.9 \text{ hr} + 57.2 \text{ hr}} = \mathbf{87.0 \%}$$

$$DM \text{ Volquete V0} = \frac{380.6 \text{ hr}}{380.6 \text{ hr} + 76.2 \text{ hr}} = \mathbf{83.3 \%}$$

Se muestra en la siguiente tabla, el resumen de los valores de disponibilidad mecánica obtenidos de los equipos de acarreo.

Tabla 20

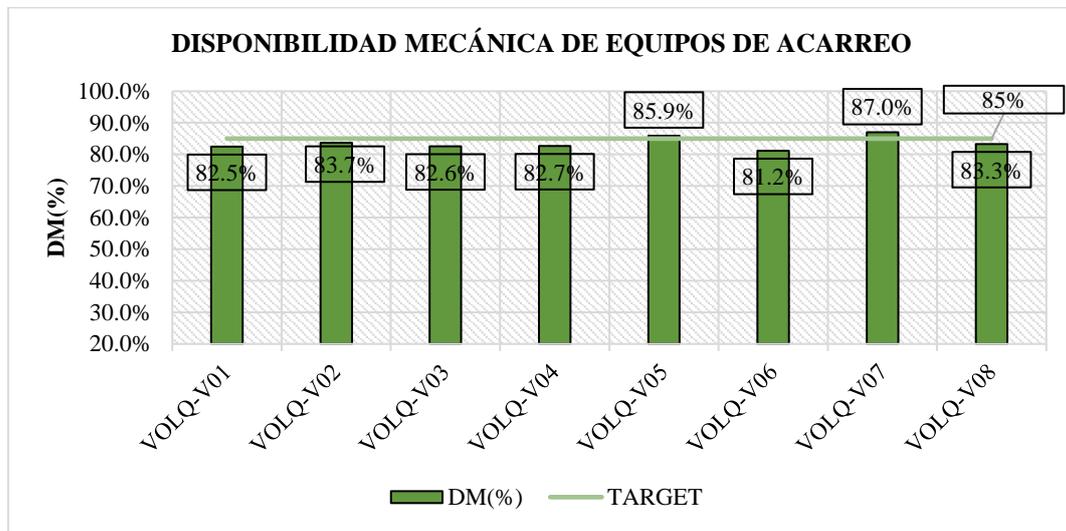
Resumen de los valores de Disponibilidad mecánica en equipos de acarreo

EQUIPO	HRS. PROG.	HRS. OPER.	HRS. MTTO.	DM(%)	TARGET(%)
VOLQ-V01	540	378.6	80.5	82.5%	85%
VOLQ-V02	540	395.3	76.9	83.7%	85%
VOLQ-V03	540	369.2	77.8	82.6%	85%
VOLQ-V04	540	378.2	79.3	82.7%	85%
VOLQ-V05	540	364.4	59.7	85.9%	85%
VOLQ-V06	540	375.6	87.1	81.2%	85%
VOLQ-V07	540	381.9	57.2	87.0%	85%
VOLQ-V08	540	380.6	76.2	83.3%	85%

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 6

Valores de disponibilidad mecánica en equipos de acarreo



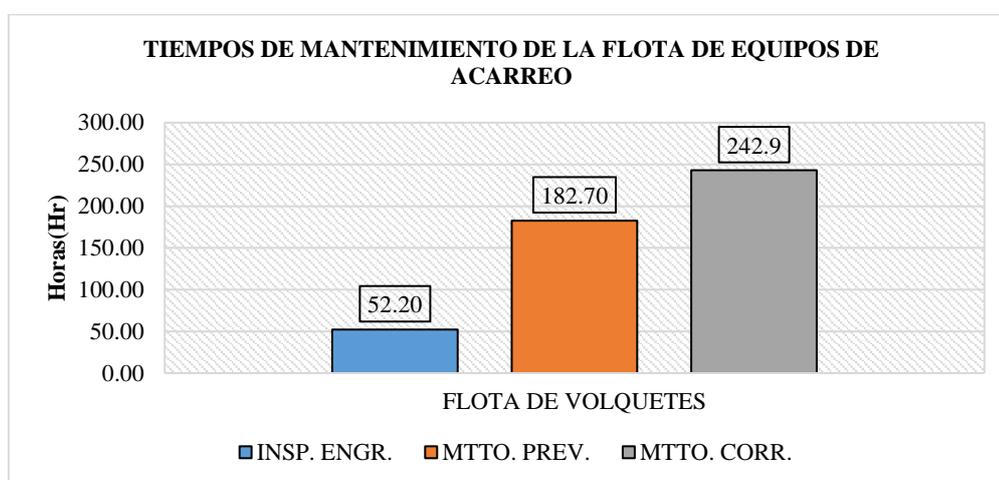
Fuente: Elaboración propia

Se observa en el anterior gráfico que la mayoría de los equipos de acarreo no llegan al porcentaje óptimo (>85%). Estos valores bajos indican que el equipo no está operando de manera óptima, lo que puede deberse a una serie de factores relacionados con el estado de los equipos, la gestión de mantenimiento, o las condiciones operativas.

Por otro lado, al analizar los tiempos de mantenimiento, se puede observar que las horas correctivas tienen mayor incidencia como se muestra en el siguiente gráfico, esto debido a las frecuentes fallas que presenta los equipos de acarreo.

Gráfico 7

Tiempos de mantenimiento de la flota de equipos de acarreo



Fuente: Elaboración propia

Las fallas más frecuentes de la flota de equipos de acarreo que se registraron fueron por falla en los rodamientos, falla de la caja de velocidades, piñones de caja de cambio, piñes de compuerta de tolva, fallas al arrancar, compresor de aire, fugas de aceite, fallas en el sistema eléctrico, falla en el cardán, entre otros. Por esta razón se realiza el siguiente análisis de fallas mediante el diagrama de Pareto, que a continuación se muestra.

Tabla 21

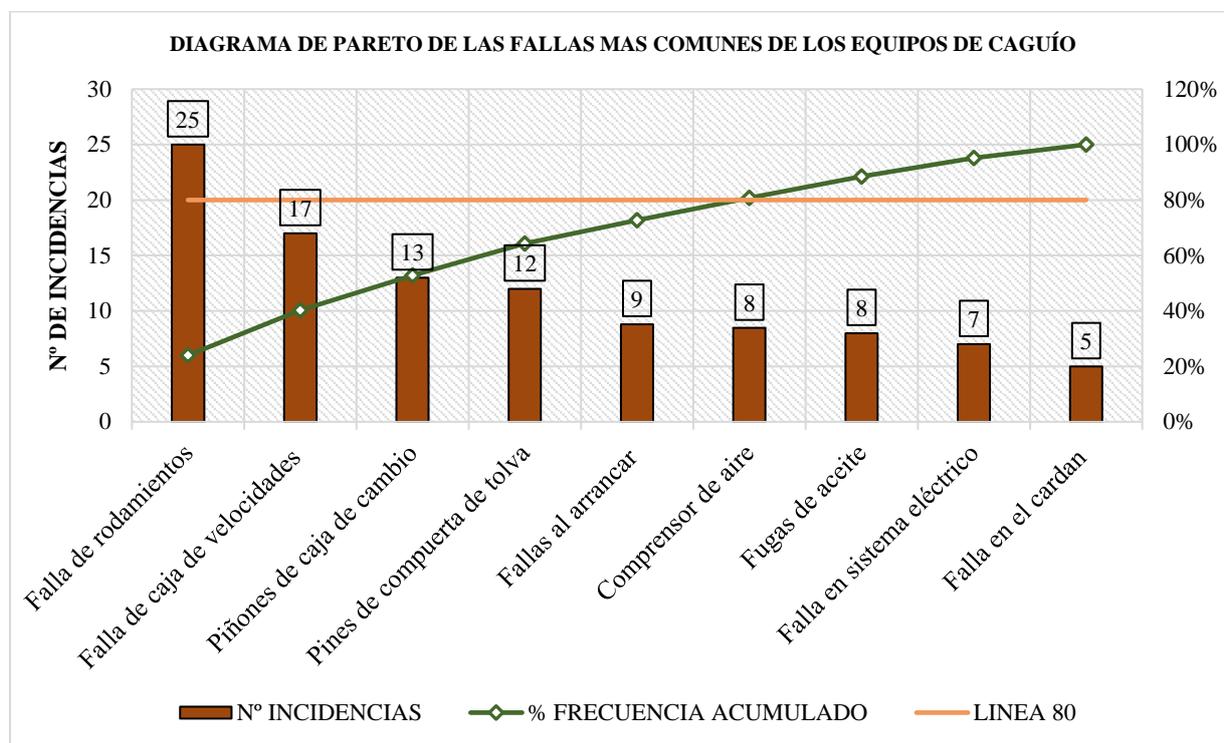
Fallas más comunes de los equipos de acarreo

FALLAS	Nº INCIDENCIAS	% FRECUENCIA	% FRECUENCIA ACUMULADO	LÍNEA 80
Falla de rodamientos	25	24%	24%	80%
Falla de caja de velocidades	17	16%	40%	80%
Piñones de caja de cambio	13	12%	53%	80%
Pines de compuerta de tolva	12	12%	64%	80%
Fallas al arrancar	9	8%	73%	80%
Compresor de aire	8	8%	81%	80%
Fugas de aceite	8	8%	88%	80%
Falla en sistema eléctrico	7	7%	95%	80%
Falla en el cardan	5	5%	100%	80%

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 8

Diagrama de Pareto de la fallas más comunes de los equipos de acarreo



Fuente: Elaboración propia

El uso del diagrama de Pareto permite concentrar los esfuerzos en las causas que tienen un mayor impacto en la operación de los equipos de acarreo. Al identificar y priorizar las fallas más comunes, se pueden tomar acciones correctivas y preventivas de manera más efectiva, lo que mejora la disponibilidad y productividad de los equipos, optimizando recursos y reduciendo costos. El principio de Pareto, o la regla del 80/20, sostiene que el 80% de los problemas provienen del 20% de las causas. En nuestro caso el 20% de las causas proviene de las fallas por rodamiento, falla de caja de velocidades, piñones de caja de cambio, pines de compuerta de tolva y fallas al arrancar, ocasionando el 80% de los problemas.

4.5.4.2 UTILIZACIÓN DE LOS EQUIPOS DE ACARREO

La utilización de los equipos de acarreo se refiere a la cantidad de tiempo que los equipos están operando efectivamente en comparación con su tiempo total programado. Este cálculo es fundamental por varias razones, ya que permite optimizar la productividad, reducir

costos, mejorar la planificación y asegurar que los recursos se usen de manera eficiente. A continuación se hace el cálculo de los valores de utilización de los equipos de acarreo.

➤ **Utilización (UA)**

$$\text{Utilización (UA)} = \frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{Horas programadas}}$$

$$UA\ VOLQ.V01 = \frac{378.6\ hr}{540\ hr} = 70.1\ \%$$

$$UA\ VOLQ.V02 = \frac{395.3\ hr}{540\ hr} = 73.2\ \%$$

$$UA\ VOLQ.V03 = \frac{369.2\ hr}{540\ hr} = 68.4\ \%$$

$$UA\ VOLQ.V04 = \frac{378.2\ hr}{540\ hr} = 70.0\ \%$$

$$UA\ VOLQ.V05 = \frac{364.5\ hr}{540\ hr} = 67.5\ \%$$

$$UA\ VOLQ.V06 = \frac{375.6\ hr}{540\ hr} = 69.6\ \%$$

$$UA\ VOLQ.V07 = \frac{381.9\ hr}{540\ hr} = 70.7\ \%$$

$$UA\ VOLQ.V08 = \frac{380.6\ hr}{540\ hr} = 70.5\ \%$$

Se muestra en la siguiente tabla el resumen de los valores de utilización de los equipos de acarreo calculados.

Tabla 22

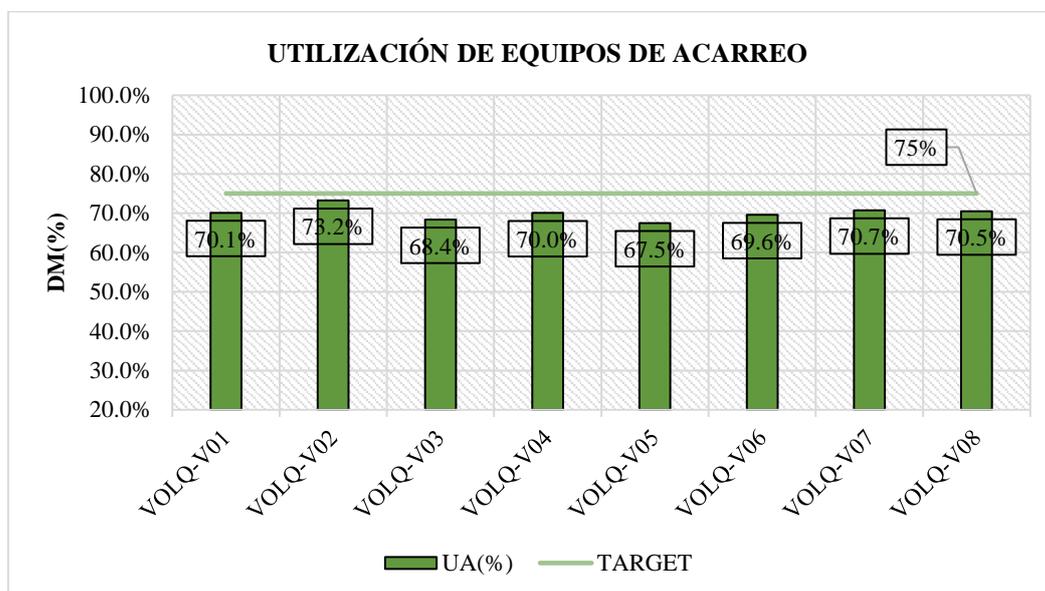
Resumen de los valores de utilización de los equipos de acarreo

EQUIPO	HRS. PROG.	HRS. OPER.	HRS. MTTO.	UA(%)	TARGET(%)
VOLQ-V01	540	378.6	80.5	70.1%	75%
VOLQ-V02	540	395.3	76.9	73.2%	75%
VOLQ-V03	540	369.2	77.8	68.4%	75%
VOLQ-V04	540	378.2	79.3	70.0%	75%
VOLQ-V05	540	364.4	59.7	67.5%	75%
VOLQ-V06	540	375.6	87.1	69.6%	75%
VOLQ-V07	540	381.9	57.2	70.7%	75%
VOLQ-V08	540	380.6	76.2	70.5%	75%

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 9

Resumen de los valores de utilización de los equipos de acarreo



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en el anterior gráfico los valores obtenidos de la utilización de los equipos, estos valores no son los óptimos ya que no cumplen con el estándar (>75%). La baja utilización de los equipos de acarreo tiene un impacto directo y significativo en la disponibilidad y productividad de las operaciones. Puede generar costos innecesarios, reducir el rendimiento general de los equipos, y afectar negativamente los plazos de producción.

4.5.4.3 RENDIMIENTOS DE EQUIPOS DE ACARREO

4.5.4.3.1. TIEMPOS DE OPERACIÓN

Los tiempos de operación de acarreo tienen una influencia directa en la eficiencia operativa, productividad y costos de la operación. Estos tiempos, que incluyen el tiempo de carga, traslado y descarga, son cruciales para la planificación y el rendimiento general de la flota de equipos de acarreo.

En este estudio se analizó los tiempos de operación de los equipos de acarreo recolectados desde las cámaras de carguío al echadero de mineral, provenientes de los tajos TJ_6125 y TJ_6590, para el cálculo de los tiempos de operación es necesario tener datos de la

distancia de recorrido y velocidades de ida y retorno de los equipos, estos datos fueron recolectados in situ, donde se registraron las distancias y velocidades de ida como de vuelta de los equipos, como se muestra a continuación.

A. Cálculo del tiempo de ida con carga

$$Ti = \frac{D}{V}$$

Donde:

Ti: Tiempo de ida con carga (min)

D: Distancia de traslado (m)

V: Velocidad con la que viaja cargado el volquete (m/min)

Tabla 23

Resumen de los tiempos de ida con carga de los equipos de acarreo

Nivel	Pto. de carguío	Destino ore pass	Equipo	Distancia (m)	Velocidad ida (Km/hr)	Velocidad ida (m/min)	Tiempo ida con carga (min)
Nv-490	Cámara de carguío Tj_6125	OP-03	VOLQ-V01	1580	10.4	173.7	9.1
			VOLQ-V02	1580	11.2	186.7	8.5
			VOLQ-V03	1580	10.0	166.7	9.5
			VOLQ-V04	1580	10.8	179.2	8.8
Promedio					10.6	176.5	9.0
Nv-520	Cámara de carguío Tj_6590	OP-03	VOLQ-V05	2170	11.1	184.3	11.8
			VOLQ-V06	2170	12.3	205.2	10.6
			VOLQ-V07	2170	11.6	193.2	11.2
			VOLQ-V08	2170	12.5	207.7	10.4
Promedio					11.9	197.6	11.0

Fuente: Elaboración propia

A hora se procede a calcular los tiempos promedio de ida con carga de la flota de volquetes de ambos tajos en explotación.

$$Ti \text{ Flota Volq. Tj_6125} = \frac{1580 \text{ m}}{176.5 \text{ m/min}} = 9.0 \text{ min}$$

$$Ti \text{ Flota Volq. Tj_6590} = \frac{2170 \text{ m}}{197.6 \text{ m/min}} = 11.0 \text{ min}$$

B. Cálculo del tiempo de retorno vacío

$$Tr = \frac{D}{V}$$

Donde:

Tr: Tiempo de retorno vacío (min)

D: Distancia de recorrido (m)

V: Velocidad sin carga del volquete (m/min)

Tabla 24

Resumen de los tiempos de retorno vacío de los equipos de acarreo

Nivel	Pto. de carguío	Destino ore pass	Equipo	Distancia (m)	Velocidad retorno (Km/hr)	Velocidad retorno (m/min)	Tiempo retorno vacío (min)
Nv-490	Cámara de carguío Tj_615	OP-03	VOLQ-V01	1580	13.1	218.3	7.2
			VOLQ-V02	1580	13.7	227.5	6.9
			VOLQ-V03	1580	12.3	205.3	7.7
			VOLQ-V04	1580	13.2	220.0	7.2
Promedio					13.1	217.8	7.3
Nv-520	Cámara de carguío Tj_6590	OP-03	VOLQ-V05	2170	13.5	225.0	9.6
			VOLQ-V06	2170	12.8	213.3	10.2
			VOLQ-V07	2170	12.3	205.0	10.6
			VOLQ-V08	2170	13.5	225.0	9.6
Promedio					13.0	217.1	10.0

Fuente: Elaboración propia

A hora se procede a calcular los tiempos promedio de retorno vacío de la flota de volquetes de ambos tajos en explotación.

$$Tr \text{ Flota Volq. Tj}_6125 = \frac{1580 \text{ m}}{217.8 \text{ m/min}} = 7.3 \text{ min}$$

$$Tr \text{ Flota Volq. Tj}_6590 = \frac{2170 \text{ m}}{217.1 \text{ m/min}} = 10.0 \text{ min}$$

Teniendo los tiempos de ida con carga y retorno vacío de los equipos de acarreo, se muestra a continuación el tiempo total promedio de los equipos de acarreo.

$$Tt = Ti + Tr$$

$$Tt \text{ Flota Volq. Tj}_6125 = 9.0 + 7.3 = 16.3 \text{ min}$$

$$Tt \text{ Flota Volq. } TJ_{6590} = 11.0 + 10.0 = 21.0 \text{ min}$$

C. Tiempo de maniobras totales (Tm)

Son las maniobras que se realizan durante el ciclo de acarreo de los equipos, tiempo de carga, descarga, tiempo de giro con y sin carga y el tiempos de espera.

Tabla 25

Tiempos de maniobras de los equipos de acarreo

Equipo	Tiempo de carga (min)	Tiempo de descarga (min)	Tiempo de giro con y sin carga (min)	Tiempo de espera (min)
VOLQ-V01	12.2	0.4	1.2	0.8
VOLQ-V02	11.3	0.3	1.5	0.7
VOLQ-V03	12.7	0.4	0.9	0.5
VOLQ-V04	11.4	0.3	1.1	0.9
Promedio	11.9	0.4	1.2	0.7
VOLQ-V05	11.0	0.3	1.4	0.9
VOLQ-V06	12.5	0.4	0.9	0.7
VOLQ-V07	12.1	0.3	1.1	0.6
VOLQ-V08	12.9	0.4	1.4	0.8
Promedio	12.1	0.4	1.2	0.8

Fuente: Elaboración propia

$$Tm \text{ Flota Volq. } TJ_{6125} = 11.9 + 0.4 + 1.2 + 0.7 = 14.2 \text{ min}$$

$$Tm \text{ Flota Volq. } TJ_{6590} = 12.1 + 0.4 + 1.2 + 0.8 = 14.5 \text{ min}$$

D. Ciclo total de acarreo (Ca)

$$Ca = Ti + Tr + Tm$$

$$Ca \text{ Flota Volq. } TJ_{6125} = 9.0 + 7.3 + 14.2 = 30.5 \text{ min}$$

$$Ca \text{ Flota Volq. } TJ_{6125} = 11.0 + 10.0 + 14.5 = 36.0 \text{ min}$$

E. Cálculo de número de ciclo horario

$$\text{Ciclos/hora} = \frac{60 \text{ min/hora}}{Ca}$$

$$\frac{\text{Ciclos}}{\text{hora}} \text{ Flota Volq. } TJ_{6125} = \frac{60 \text{ min/hr}}{30.5 \text{ min}} = 2.0 \text{ ciclos/hr}$$

$$\frac{\text{Ciclos}}{\text{hora}} \text{ Flota Volq. } TJ_{6590} = \frac{60 \text{ min/hr}}{36.0 \text{ min}} = 1.7 \text{ ciclos/hr}$$

4.5.4.3.2. PRODUCTIVIDAD DE EQUIPOS DE ACARREO

La productividad en estos equipos se refiere a la cantidad de material que un equipo de acarreo traslada en un tiempo determinado, como toneladas por hora o toneladas por ciclo de trabajo. Para el cálculo del rendimiento efectivo del equipo de acarreo utilizaremos la siguiente formula que se muestra a continuación.

$$Ref = \frac{Nc * Cb * Fll * D}{1 + e}$$

Donde:

- Ref: Rendimiento efectivo (ton/hr)
- Nc: Número de ciclos (Ciclos/hr)

$$\frac{\text{Ciclos}}{\text{hora}} \text{FlotaVolq.TJ}_{6125} = 2.0 \text{ ciclos/hr}$$

$$\frac{\text{Ciclos}}{\text{hora}} \text{FlotaVolq.TJ}_{6590} = 1.7 \text{ ciclos/hr}$$

- Cb: Capacidad de la tolva del equipo de acarreo (m3)

- Capacidad de tolva : $\frac{35 \text{ ton}}{2.50 \text{ ton/m}^3} = 14.0 \text{ m}^3$

- Fll: Factor de llenado (%) : 90%
- D: Densidad del material (ton/m3) : 2.50 ton/m3
- e: Factor de esponjamiento (%) : 45%

Reemplazamos los siguientes datos para obtener el rendimiento efectivo promedio de la flota de equipos de acarreo.

$$Ref \text{ Flota Volq.TJ}_{6125} = \frac{2.0 \frac{\text{ciclos}}{\text{hr}} * 14.0 \text{ m}^3 * 0.90 * 2.50 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}}{1 + 0.45} = 43.5 \text{ ton/hr}$$

$$Ref \text{ Flota Volq.TJ}_{6590} = \frac{1.7 \frac{\text{ciclos}}{\text{hr}} * 14.0 \text{ m}^3 * 0.90 * 2.50 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}}{1 + 0.45} = 36.9 \text{ ton/hr}$$

4.5.4.3.3. COSTO DE OPERACIÓN

El cálculo del costo de operación de los equipos de acarreo es crucial para optimizar el rendimiento y la rentabilidad de las operaciones. Al comprender estos costos, podemos implementar estrategias más efectivas para reducir gastos, mejorar la eficiencia operativa y maximizar la productividad.

El cálculo del costo horario del equipo de acarreo se encuentra en el Anexo13, teniendo este valor procedemos a determinar el costo de operación de los equipos de acarreo, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 26

Costo de operación de equipos de acarreo

EQUIPO	COSTO HORARIO (\$/HR)	HRS. OPER.	COSTO OPERACIÓN MENSUAL (\$)
VOLQ-V01	46.0	378.6	17,415.6
VOLQ-V02	46.0	395.3	18,183.8
VOLQ-V03	46.0	369.2	16,983.2
VOLQ-V04	46.0	378.2	17,398.6
VOLQ-V05	46.0	364.5	16,766.1
VOLQ-V06	46.0	375.6	17,278.5
VOLQ-V07	46.0	381.9	17,567.4
VOLQ-V08	46.0	380.6	17,507.6

Fuente: Elaboración propia

4.5.5. ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS TIEMPOS IMPRODUCTIVOS DE EQUIPOS DE CARGUÍO Y ACARREO

Identificar los tiempos improductivos de los equipos de carguío mediante un diagrama de Pareto es fundamental para enfocar los esfuerzos de mejora en las áreas que tienen el mayor impacto en la productividad. El diagrama de Pareto, basado en el principio 80/20, nos ayuda a visualizar cuáles son las causas principales que contribuyen a la mayor parte de los tiempos improductivos, permitiendo priorizar acciones correctivas.

En la siguiente tabla se muestra las actividades no productivas de los equipos de carguío, para su posterior análisis con el diagrama de Pareto.

Tabla 27

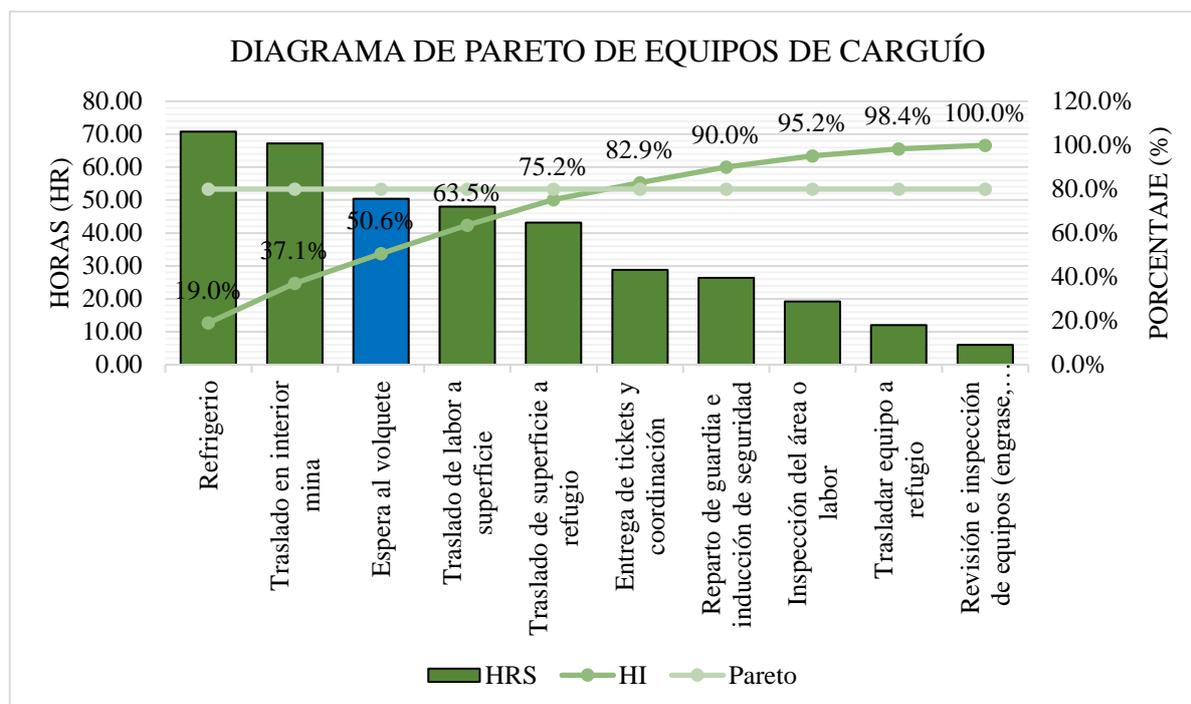
Tiempos de actividades no productivas de equipos de carguío

ACTIVIDAD	HRS	hi	HI	Pareto
Refrigerio	70.80	19.0%	19.0%	80%
Traslado en interior mina	67.20	18.1%	37.1%	80%
Espera al volquete	50.40	13.5%	50.6%	80%
Traslado de labor a superficie	48.00	12.9%	63.5%	80%
Traslado de superficie a refugio	43.20	11.6%	75.2%	80%
Entrega de tickets y coordinación	28.80	7.7%	82.9%	80%
Reparto de guardia e inducción de seguridad	26.40	7.1%	90.0%	80%
Inspección del área o labor	19.20	5.2%	95.2%	80%
Trasladar equipo a refugio	12.00	3.2%	98.4%	80%
Revisión e inspección de equipos (engrase, etc)	6.00	1.6%	100.0%	80%

Nota: Elaboración propia

Gráfico 10

Diagrama de Pareto de tiempos de actividades no productivas de equipos de carguío



Nota: Elaboración propia

En el grafico se observa “cinco” actividades detrás de la línea del 80% que es de donde se determinan las actividades críticas, sin embargo, no es difícil notar que el único tiempo improductivo evitable (de color azul) es “Espera al volquete” el cual toma un porcentaje del 13.5% del total del tiempo no productivo. De esto deducimos que, espera al volquete es una “actividad critica” y es esta la que se debe buscar reducir.

En la siguiente tabla se muestra las actividades no productivas de los equipos de acarreo, para su posterior análisis con el diagrama de Pareto.

Tabla 28

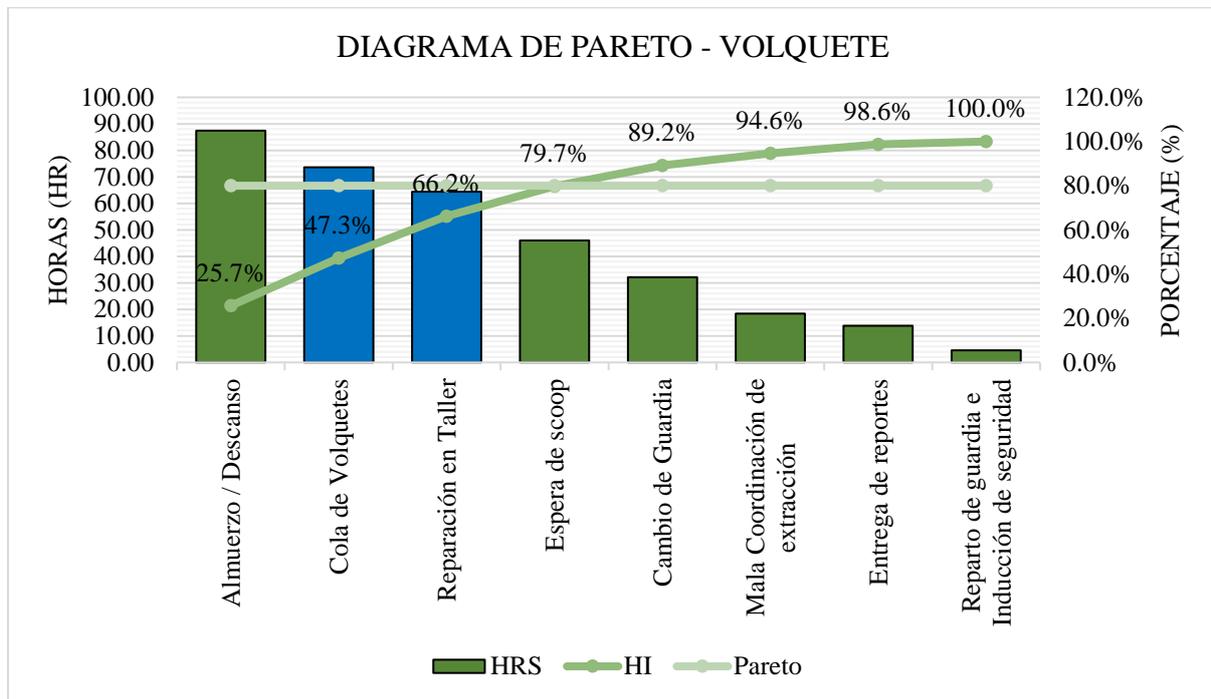
Tiempos de actividad no productivas de equipos de acarreo

OPERACIÓN	HRS	hi	HI	Pareto
Almuerzo / Descanso	87.40	25.7%	25.7%	80%
Cola de Volquetes	73.60	21.6%	47.3%	80%
Reparación en Taller	64.40	18.9%	66.2%	80%
Espera de scoop	46.00	13.5%	79.7%	80%
Cambio de Guardia	32.20	9.5%	89.2%	80%
Mala Coordinación de extracción	18.40	5.4%	94.6%	80%
Entrega de reportes	13.80	4.1%	98.6%	80%
Reparto de guardia e Inducción de seguridad	4.60	1.4%	100.0%	80%

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 11

Diagrama de Pareto de tiempos de actividades no productivas de equipos de acarreo



Nota: Elaboración propia

De este gráfico, al igual que el anterior, no es difícil notar que tenemos dos tiempos improductivos evitables (de color azul) los cuales son: “Cola de volquetes” y “Reparaciones mecánicas del equipo”, la primera actividad concuerda con la del carguío ya que si tenemos mayor tiempo en espera del volquetes por parte del scoop, también tendremos una alta espera por parte del volquete a su regreso a la labor.

De esto deducimos que, la cola de volquetes es una “actividad crítica” y es esta la que se debe buscar reducir, así como también las reparaciones mecánicas.

Una alternativa de solución a estos tiempos improductivos, es apoyarnos a la evaluación y cálculo del Factor e acoplamiento (FA) del scooptram y el volquete.

4.5.6. FACTOR DE ACOPLAMIENTO (FA)

El cálculo y la optimización del factor de acoplamiento entre los equipos de carguío y acarreo son fundamentales para mejorar la productividad en las operaciones. Asegurarse de que los equipos trabajen de manera sincronizada y eficiente no solo reduce costos operativos y tiempos de inactividad, sino que también mejora la disponibilidad y la utilización de la capacidad de la flota. Esto resulta en un aumento directo de la productividad y en una operación más rentable y eficiente en su conjunto.

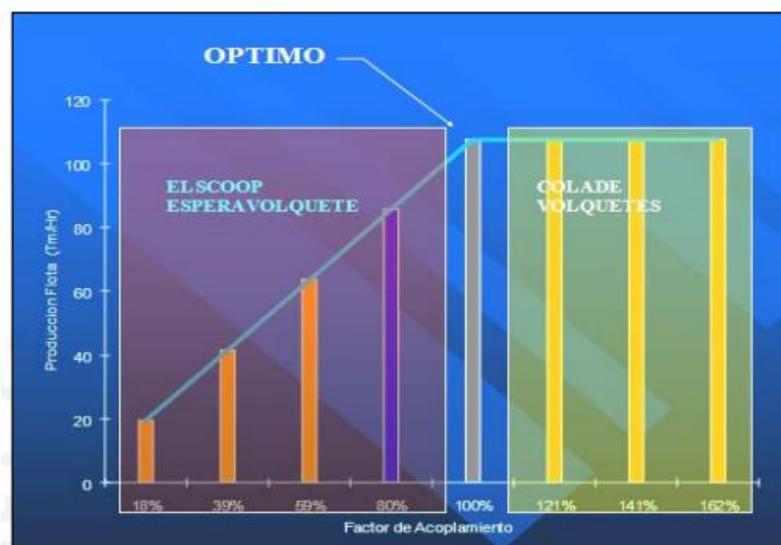
El factor de acoplamiento (FA) nos indicará la cantidad de volquetes necesarios que deben ser asignados para cada equipo Scoop. Para nuestro cálculo se toma los siguientes criterios conceptuales.

$$FA = \frac{N^{\circ} \text{ Volquetes} * \text{Ciclo de carguío}}{\text{Ciclo de transporte}}$$

- Si el $FA < 1$; Cuando hay exceso del equipo scoop, es decir el Scoop espera al volquete.
- Si el $FA > 1$; cuando hay exceso de volquetes, es decir hay cola de volquetes.
- Si el $FA = 1$; cuando el acoplamiento es perfecto.

Figura 20

Rendimiento de flota vs Factor de Acoplamiento



Fuente: Área de planeamiento

Se calculará el factor de acoplamiento para la flota de equipos de acarreo que operan en los tajos en explotación TJ_6125, TJ_6590 de la zona baja en la Unidad Raúl:

A. TJ_6125 (Nv-490)

Donde:

- N° volquetes: 4 volquetes
- Ciclo de carguío: 6.8 min
- Ciclo de acarreo: 30.5 min

$$FA = \frac{4 \text{ volq} * 6.8 \text{ min}}{30.5 \text{ min}} = 0.9$$

FA < 1; El resultado obtenido nos indica que existe sobredimensionamiento del equipo de carguío, por esa razón se presenta espera del scoop al volquete, por lo que es necesario incrementar 01 volquete a las operaciones.

B. Tj_6590 Nv-520:

Donde:

- N° volquetes: 4 volquetes
- Ciclo de carguío: 7.7 min
- Ciclo de acarreo: 36.0 min

$$FA = \frac{4 \text{ volq} * 7.7 \text{ min}}{36.0 \text{ min}} = 0,8$$

FA < 1; El resultado obtenido nos indica que existe exceso de equipo scoop o en otras palabras el scoop espera al volquete, por lo que es necesario incrementar 01 volquete a las operaciones.

4.5.7. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE EQUIPOS DE

CARGUÍO Y ACARREO

El programa de mantenimiento preventivo se va definir como un conjunto de tareas previamente planeadas, las cuales se llevarán a cabo para poder prevenir alguna falla potencial en el equipo. El programa de mantenimiento se basa en cuatro razones principales.

- Al tener una correcta lubricación y limpieza, puede reducirse las fallas prematuras en el equipo.
- En caso de que la falla no pueda prevenirse, una correcta inspección y medición cada cierto tiempo puede reducir la severidad de una falla en el equipo.
- Si se logra visualizar una caída de rendimiento del equipo, como la vibración de la máquina, se podría detectar la falla inminente del equipo.
- Por último, hay diferencias entre costos directos e indirectos, debido a que una parada no planeada va provocar un daño al programa de producción, además, que el costo real de un mantenimiento por emergencia es mayor que uno ya previamente planeado, asimismo que la reparación en un equipo que tiene una parada de emergencia puede verse afectada debido a la presión que conlleva una parada de equipo no planificado.

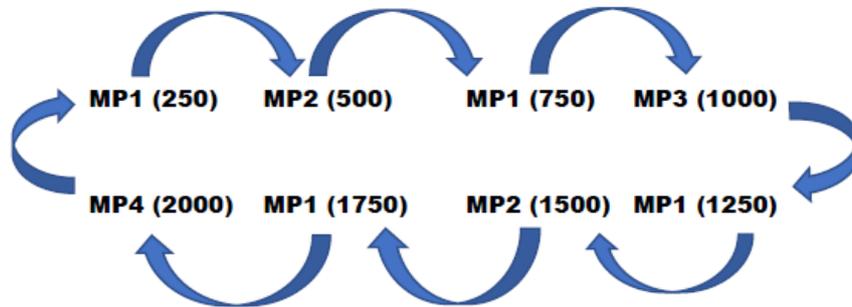
En las operaciones de la Compañía Minera Condestable, se rige un ciclo de mantenimiento preventivo el cual se tiene que cumplir rigurosamente, el cual será programado cada 250 hrs de acuerdo a manual de fabricante.

- MP1: El MP1 (Mantenimiento Preventivo 1) será ejecutado cada 250 hrs.
- MP2: El MP2 (Mantenimiento Preventivo 2) será ejecutado cada 500 hrs.
- MP3: El MP3 (Mantenimiento Preventivo 3) será ejecutado cada 1000 hrs.
- MP4: El MP4 (Mantenimiento Preventivo 4) será ejecutado cada 2000 hrs.

El ciclo de los mantenimientos MP1, MP2, MP3 y MP4 será el siguiente:

Figura 21

Ciclo de mantenimiento MP1, MP2, MP3, MP4



A continuación se muestra los formatos del programa de mantenimiento de equipos de carguío y acarreo, que permitirá controlar y evaluar el tipo de mantenimiento requerido de acuerdo al tiempo de operación.

Figura 22

Formato del programa de mantenimiento preventivo de equipos de carguío

PLAN DE MANTENIMIENTO SCOOP R1600G

DATOS TECNICOS	
Cod. Equipo	Horómetro programado
Ubicación obra	Horómetro ejecutado
Horómetro A	Fecha de ejecución
Horómetro B	Tiempo de reparación

CAMBIO DE ACEITE			250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
N° Parte	Descripción	Cant.								
15w40	Aceite motor	10								x
15w40	Aceite transmisión	15								x
SAE50	Aceite diferencial	38								x
15w40	Aceite hidráulico	35								x
	Refrigerante	14								x

CHEQUEO DE NIVELES			250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
N° Parte	Descripción	Cant.								
15w40	Aceite motor	10								
15w40	Aceite transmisión	15								
SAE50	Aceite diferencial	38								
15w40	Aceite hidráulico	35								
	Refrigerante	14								

CAMBIO DE FILTROS			250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
N° Parte	Descripción	Cant.								
P554005	Filtro de aceite motor	1								x
P551746	Filtro combustible primario	1								x
P559740	Filtro aceite transmisión	1								x
P555461	Filtro sistema hidráulico	4								x
P532509	Filtro de aire primario	3								x
P532510	Filtro aire secundario	1								x

LIMPIEZA DE FILTROS			250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
N° Parte	Descripción	Cant.								
P554005	Filtro de aceite motor	1								
P551746	Filtro combustible primario	1								
P559740	Filtro aceite transmisión	1								
P555461	Filtro sistema hidráulico	4								
P532509	Filtro de aire primario	3								
P532510	Filtro aire secundario	1								

OBSERVACIONES

Fuente: Área de mantenimiento

Figura 23

Formato del programa de mantenimiento preventivo de equipos de acarreo

ORDEN DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO (VOLQUETE)			
EQUIPO		CODIGO	
TIPO DE TRABAJO	PM1/PM2		
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO			
PIEZAS UTILIZADAS EN EL TRABAJO		CANTIDAD	
Filtro de aceite de motor		1	
Filtros de combustible		2	
Aceite motor		1	
Firma Ejecutante	Fecha	Firma Responsable	Fecha
TIPO DE TRABAJO	PM3		
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO			
PIEZAS UTILIZADAS EN EL TRABAJO		CANTIDAD	
Filtro de aceite de motor		1	
Filtros de combustible		2	
Filtro de aire		1	
Aceite motor		1	
Aceite de transmisión		1	
Aceite de dirección		1	
Firma Ejecutante	Fecha	Firma Responsable	Fecha
TIPO DE TRABAJO	PM4		
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO			
PIEZAS UTILIZADAS EN EL TRABAJO		CANTIDAD	
Filtro de aceite de motor		1	
Filtros de combustible		2	
Filtro de aire		1	
Aceite motor		1	
Aceite de corona		2	
Revisar estado de neumáticos, cambiar si se requiere		12	
Revisar estado de muelles, cambiar si se requiere		22	
Revisar estado de esparragos, cambiar si se requiere		120	
Revisar amortiguación delantera, cambiar si se requiere		2	
Firma Ejecutante	Fecha	Firma Responsable	Fecha

Fuente: Área de mantenimiento

4.5.7.1 KPI'S DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DE CARGUÍO Y ACARREO

4.5.7.1.1. EQUIPOS DE CARGUÍO

➤ **Tiempo medio entre fallas- Mean time between failures (MTBF)**

El MTBF es indicador que va mostrar el tiempo promedio que la máquina no tuvo ninguna falla. Se va expresar matemáticamente de la siguiente manera.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo de Operación}(TO)}{\text{Número de fallas presentadas} (NF)}$$

Para este análisis tomaremos en cuenta de los tiempos de operación y número de fallas en promedio registrados de los equipos de carguío y acarreo.

$$MTBF \text{ Scoop C606} = \frac{389.8 \text{ hr}}{8 \text{ fallas}} = 48.7 \text{ hr}$$

$$MTBF \text{ Scoop C609} = \frac{375.9 \text{ hr}}{9 \text{ fallas}} = 41.8 \text{ hr}$$

➤ **Tiempo medio de reparación - MTTR**

El MTTR es el indicador que va mostrar cuanto tiempo promedio demoran en la reparación de una falla en el equipo, es decir, es el tiempo que la máquina se encuentra en inoperatividad mientras reparan la falla.

$$MTTR = \frac{\text{Horas mantenimiento correctivo (MNP)}}{\text{Número de Fallas presentadas (NF)}}$$

$$\text{Scoop C606} = \frac{36.2 \text{ hr}}{8 \text{ fallas}} = 4,5 \text{ hr}$$

$$\text{Scoop C609} = \frac{37.5 \text{ hr}}{9 \text{ fallas}} = 4.2 \text{ hr}$$

4.5.7.1.2. EQUIPOS DE ACARREO

➤ **MTBF y MTTR**

Tabla 29

MTBF y MTTR de equipos de acarreo

EQUIPO	HRS. OPER.	HRS. CORR.	Nº DE FALLAS	MTBF	MTTR
VOLQ-V01	378.6	33.4	8	47.3	4.2
VOLQ-V02	395.3	30.5	7	56.5	4.4
VOLQ-V03	369.2	35.6	9	41.0	4.0
VOLQ-V04	378.2	31.9	7	54.0	4.6
VOLQ-V05	364.5	21.5	6	60.7	3.6
VOLQ-V06	375.6	35.6	9	41.7	4.0
VOLQ-V07	381.9	20.9	5	76.4	4.2
VOLQ-V08	380.6	33.5	7	54.4	4.8

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo, se analiza los resultados obtenidos de la evaluación de la disponibilidad mecánica de equipos de bajo perfil (scoop y volquetes), para contribuir a la mejora de la productividad de los equipos en el proceso de carguío y acarreo del tajo Tj-6125, Tj-6590 al echadero de mineral ubicadas en el nv-490 y nv-520 de la zona baja de la Unidad Raúl – Compañía Minera Condestable S.A.

5.1. DISPONIBILIDAD MECÁNICA

Conociendo las horas de operación y las horas de mantenimiento de los equipos, podemos comparar la disponibilidad de los equipos de carguío y acarreo, con el estándar de Mina.

5.1.1. DISPONIBILIDAD MECÁNICA DE EQUIPOS DE CARGUÍO

En la siguiente tabla se muestra el resumen de los valores de la Disponibilidad mecánica de los equipos scoop de 6yd3.

Tabla 30

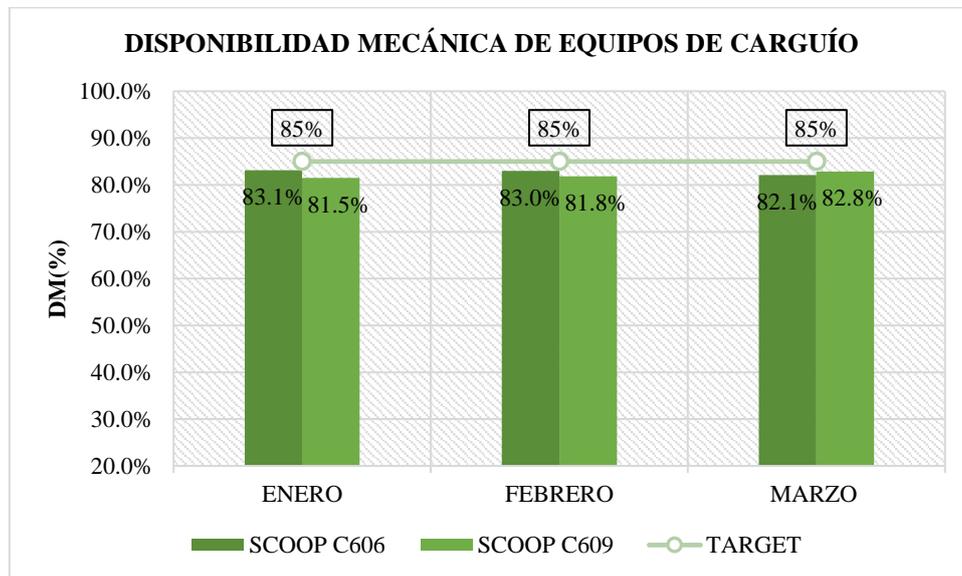
Valores de la Disponibilidad mecánica de los equipos de carguío

MES	EQUIPO	HRS. MIN.	HRS. PROG.	HRS. OPER.	HRS. MTTO	DM (%)	TARGET
ENERO	SCOOP C606	420	540	389.8	79.0	83.1 %	85 %
	SCOOP C609	420	540	375.9	85.2	81.5 %	85 %
FEBRERO	SCOOP C606	420	540	384.6	79.0	83.0 %	85 %
	SCOOP C609	420	540	390.5	86.6	81.8 %	85 %
MARZO	SCOOP C606	420	540	388.3	84.5	82.1 %	85 %
	SCOOP C609	420	540	392.4	81.3	82.1 %	85 %

Nota: Elaboración propia

Gráfico 12

Disponibilidad mecánica de equipos de carguío de (Enero a Marzo)



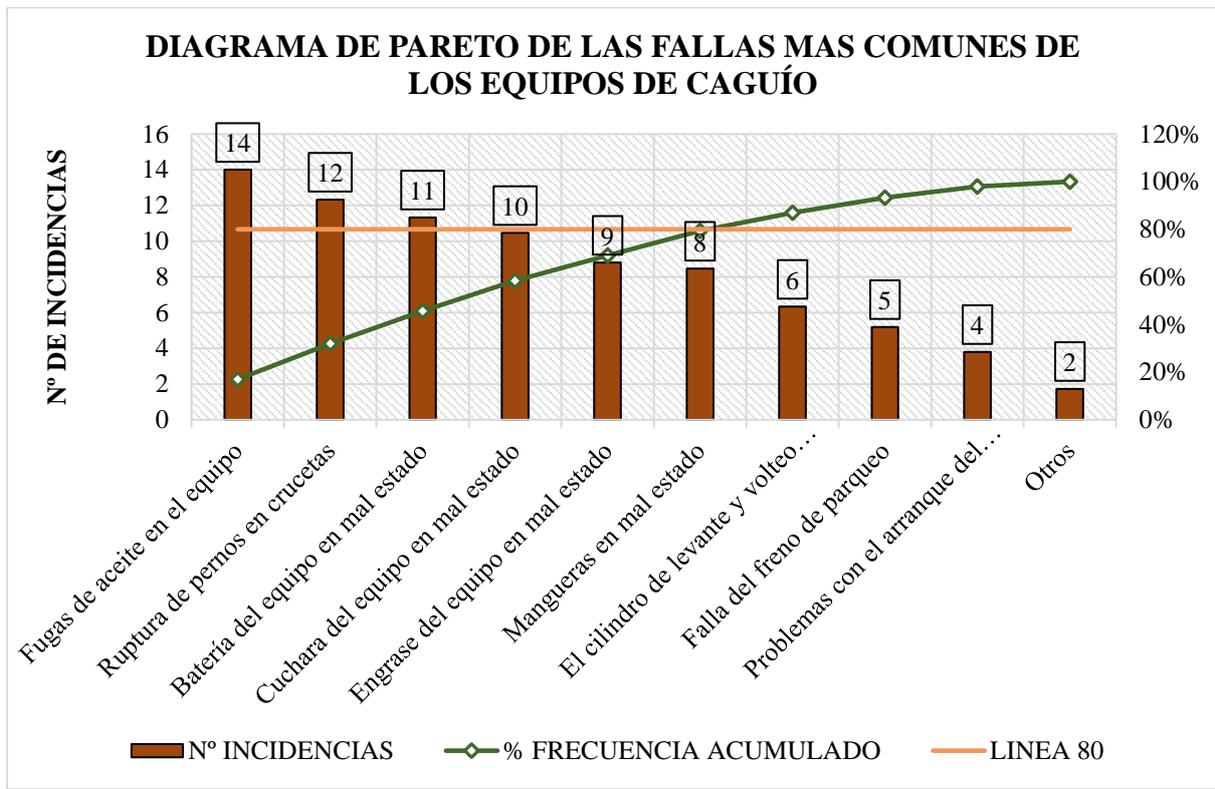
Nota: Elaboración propia

Como se observa, los valores de la disponibilidad mecánica de equipos de carguío no logran superar el 85% de lo establecido por Mina, esto debido a una combinación de factores, como mantenimiento correctivo, condiciones operativas, entre otros, lo que se refleja en una baja productividad de las operaciones.

Por esta razón se va a realizar un análisis de las fallas más comunes en los mantenimientos correctivos a través del diagrama de Pareto, para identificarlos y minimizarlos, de esa manera conseguir una disponibilidad óptima para los equipos de carguío.

Gráfico 13

Diagrama de Pareto de las fallas más comunes en los equipos de carguío



Nota: Elaboración propia

En el Gráfico anterior se visualiza el Diagrama de Pareto con los conceptos identificados de las fallas más comunes de los equipos de carguío, aplicando la norma de 80-20 se puede determinar que las 5 primeras causas son las de mayor incidencia para su mejora.

5.1.2. DISPONIBILIDAD MECÁNICA DE EQUIPOS DE ACARREO

Se muestra en la siguiente tabla, el resumen de los valores de disponibilidad mecánica obtenidos de los equipos de acarreo.

Tabla 31

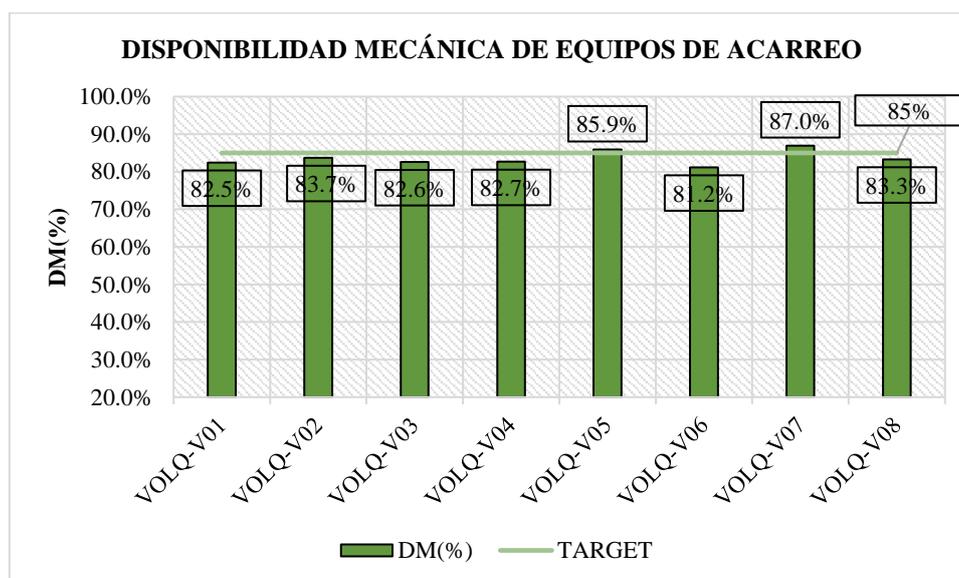
Resumen de los valores de Disponibilidad mecánica en equipos de acarreo

EQUIPO	HRS. PROG.	HRS. OPER.	HRS. MTTO.	DM(%)	TARGET(%)
VOLQ-V01	540	378.6	80.5	82.5%	85%
VOLQ-V02	540	395.3	76.9	83.7%	85%
VOLQ-V03	540	369.2	77.8	82.6%	85%
VOLQ-V04	540	378.2	79.3	82.7%	85%
VOLQ-V05	540	364.4	59.7	85.9%	85%
VOLQ-V06	540	375.6	87.1	81.2%	85%
VOLQ-V07	540	381.9	57.2	87.0%	85%
VOLQ-V08	540	380.6	76.2	83.3%	85%

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 14

Valores de disponibilidad mecánica en equipos de acarreo

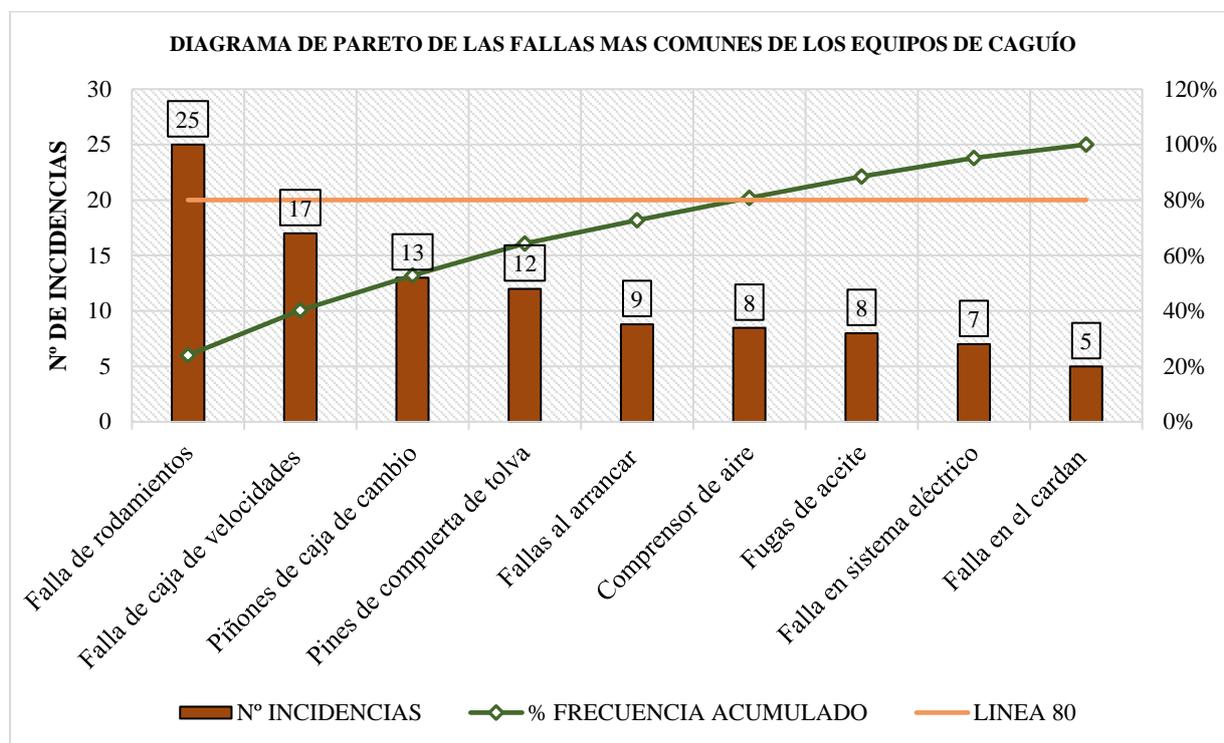


Fuente: Elaboración propia

Se observa en el anterior gráfico que la mayoría de los equipos de acarreo no llegan al porcentaje óptimo (>85%). Se realiza el análisis por Pareto de las fallas más comunes que afectan en la baja disponibilidad de los equipos de acarreo.

Gráfico 15

Diagrama de Pareto de la fallas más comunes de los equipos de acarreo



Fuente: Elaboración propia

El uso del diagrama de Pareto permite concentrar los esfuerzos en las causas que tienen un mayor impacto en la operación de los equipos de acarreo, aplicando la norma 80-20 se puede determinar que las 5 causas son las de mayor incidencia, fallas de rodamientos, falla de caja de velocidades, piñones de caja de cambio, pines de compuerta de tolva y fallas al arrancar.

5.2. ANÁLISIS DE DATOS DE CONTROL DE TIEMPOS

Una vez procesada los datos recolectados en la medición de tiempos del proceso de carguío, acarreo de los tajos en explotación TJ_6125, TJ_6590 a las cámaras de carguío ubicadas en el nv-490 y nv-520 de la zona baja de la Unidad Raúl; se realiza la comparación de resultados de los rendimientos de equipos con el estándar de mina. Para el grupo de control, se tiene:

A. Rendimiento (ton/hr) – Scooptram

Tabla 32

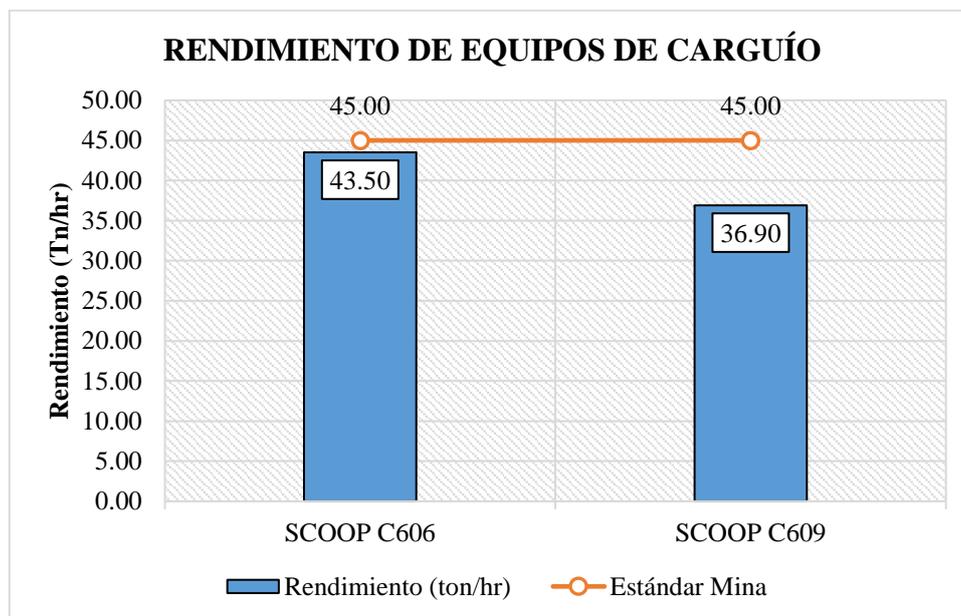
Rendimiento Scooptram 6 yd³ medido y estándar mina

Equipo	Rendimiento (ton/hr)	
	Medido	Estándar Mina
Scooptram C606	43.5 ton/hr	45 ton/hr
Scooptram C609	36.9 ton/hr	45 ton/hr

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 16

Rendimiento (ton/hr) equipos de carguío medido vs estándar mina



Fuente: Elaboración propia

Del gráfico anterior se observa que, en promedio, la eficiencia horaria del Scooptram está por debajo en comparación al establecido por Mina, el cual afecta directamente al costo de limpieza con Scooptram, el Rendimiento óptimo es aquel que es igual o mayor al ciclo estándar de mina.

B. Rendimiento (ton/hr) – Volquete

Tabla 33

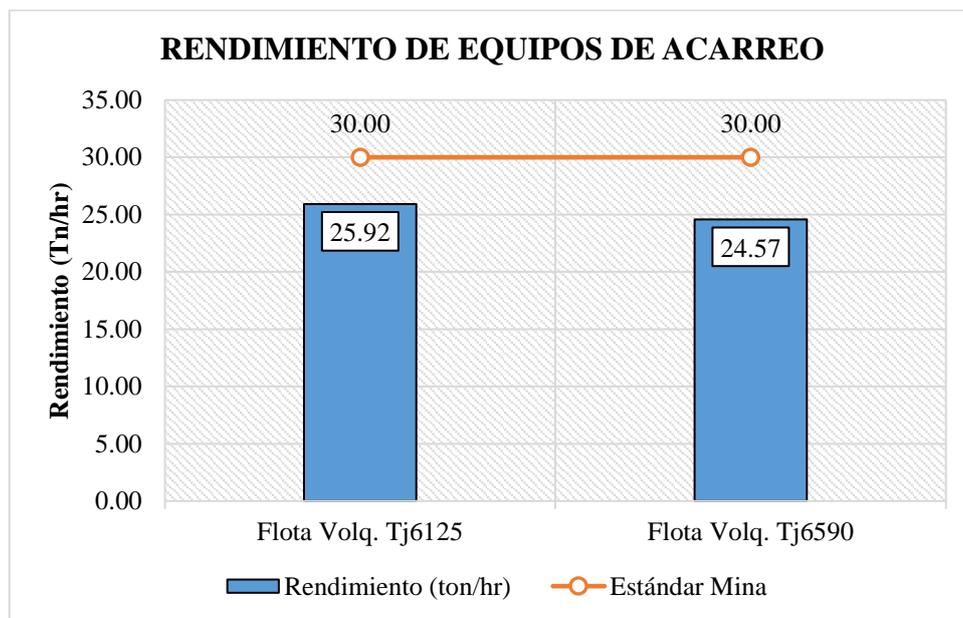
Rendimiento de volquetes medido y estándar mina

Equipo	Rendimiento (ton/hr)	
	Medido	Estándar Mina
Flota Volq. Tj6125	25.92	30.00
Flota Volq. Tj6590	24.57	30.00

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 17

Rendimiento de equipos de acarreo medido vs estándar mina



Fuente: Elaboración propia

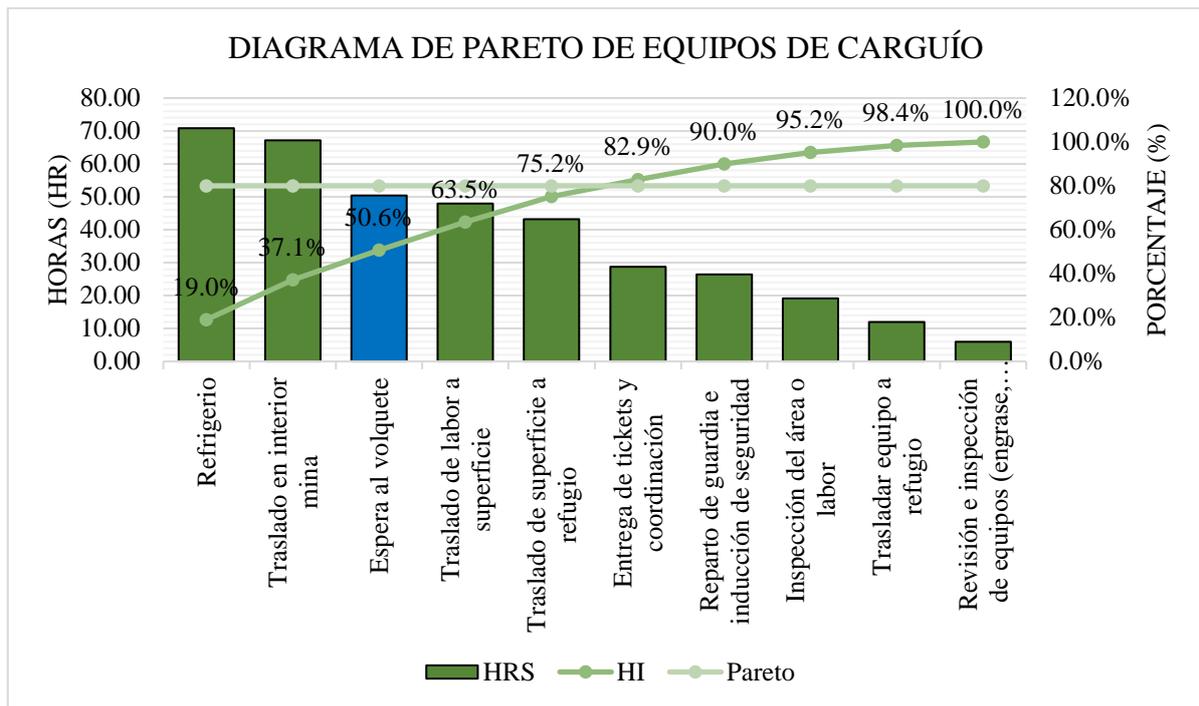
Del gráfico anterior se observa que, en promedio, la eficiencia horaria del volquete está por debajo en comparación al establecido por Mina, el cual afecta directamente al costo de acarreo con volquete.

5.3. INFLUENCIA DE LOS TIEMPOS IMPRODUCTIVOS DE EQUIPOS DE CARGUÍO Y ACARREO

En el siguiente gráfico se muestra las actividades no productivas de los equipos de carguío analizadas mediante el diagrama de Pareto.

Gráfico 18

Diagrama de Pareto de tiempos de actividades no productivas de equipos de carguío

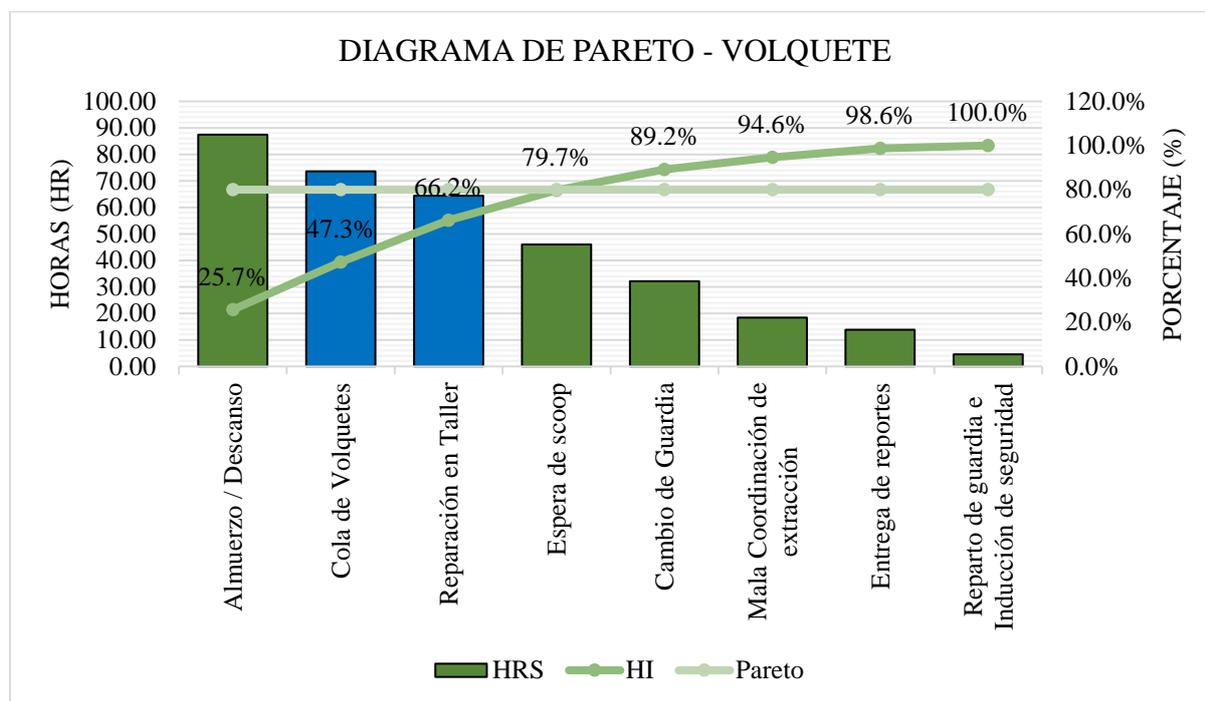


Nota: Elaboración propia

De esto deducimos que, espera al volquete es una “actividad critica” y es esta la que se debe buscar reducir.

Gráfico 19

Diagrama de Pareto de tiempos de actividades no productivas de equipos de acarreo



Nota: Elaboración propia

De esto deducimos que, la cola de volquetes es una “actividad crítica” y es esta la que se debe buscar reducir, así como también las reparaciones mecánicas.

Una alternativa de solución a estos tiempos improductivos, es apoyarnos a la evaluación y cálculo del Factor de acoplamiento (FA) del scoop y el volquete.

5.4. FACTOR DE ACOPLAMIENTO (FA)

El factor de acoplamiento (FA) nos indicará la cantidad de volquetes necesarios que deben ser asignados para cada equipo Scoop.

Se calculará el factor de acoplamiento para la flota de equipos de acarreo que operan en los tajos en explotación TJ_6125, TJ_6590 de la zona baja en la Unidad Raúl:

A. TJ_6125 (Nv-490)

$$FA = \frac{4 \text{ volq} * 6.8 \text{ min}}{30.5 \text{ min}} = 0.9$$

$FA < 1$; El resultado obtenido nos indica que existe sobredimensionamiento del equipo de carguío, por esa razón se presenta espera del scoop al volquete, por lo que es necesario incrementar 01 volquete a las operaciones.

B. Tj6590 Nv-520:

$$FA = \frac{4 \text{ volq} * 7.7 \text{ min}}{36.0 \text{ min}} = 0,8$$

$FA < 1$; El resultado obtenido nos indica que existe exceso de equipo scoop o en otras palabras el scoop espera al volquete, por lo que es necesario incrementar 01 volquete a las operaciones.

5.5. INFLUENCIA DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El programa de mantenimiento de equipos de bajo perfil tiene una relación directa con la disponibilidad y la productividad de los equipos en una organización. Un programa bien estructurado y ejecutado influye significativamente en ambas, optimizando el uso de los recursos y asegurando que los equipos operen de manera eficiente durante más tiempo. A continuación, se explican las influencias clave en ambos aspectos:

- a) **Prevención de fallos imprevistos:** Los programas de mantenimiento preventivo y predictivo están diseñados para detectar y corregir problemas potenciales antes de que causen fallos graves. Esto reduce significativamente la probabilidad de paradas inesperadas, asegurando que los equipos estén disponibles para su uso cuando se necesiten.
- b) **Planificación de paradas programadas:** En lugar de sufrir paradas repentinas, un mantenimiento programado permite planificar los tiempos de inactividad de los equipos. De este modo, las interrupciones son mínimas y controladas, lo que ayuda a mantener los equipos disponibles para la producción.
- c) **Reducción de tiempo de inactividad:** El mantenimiento preventivo garantiza que los equipos funcionen a su máxima capacidad durante más tiempo, reduciendo la necesidad

de reparaciones urgentes que podrían paralizar la producción. Las fallas no programadas, que son la principal causa de inactividad, se reducen drásticamente.

- d) Optimización de la vida útil de los equipos: El mantenimiento regular también ayuda a alargar la vida útil de los equipos. Esto asegura que los equipos estén en condiciones óptimas de funcionamiento durante períodos más largos, mejorando la disponibilidad a largo plazo.
- e) Mejora en el rendimiento de los equipos: Los equipos que reciben un mantenimiento regular funcionan de manera más eficiente. Esto significa que las máquinas tienen menos probabilidades de perder rendimiento debido al desgaste, lo que se traduce en una mayor capacidad para completar tareas de manera más rápida y eficiente. Esto directamente aumenta la productividad de las operaciones.
- f) Planificación y programación más efectiva: El mantenimiento programado permite una planificación más precisa de la producción. En lugar de depender de equipos que podrían fallar en cualquier momento, el mantenimiento preventivo facilita la predicción de cuándo los equipos estarán disponibles y listos para operar, lo que mejora la programación de las actividades productivas y maximiza el tiempo productivo.

Un programa de mantenimiento eficaz mejora tanto la disponibilidad como la productividad al garantizar que los equipos estén operativos en su máxima capacidad cuando se necesitan, minimizando el tiempo de inactividad no planificado y optimizando el uso de recursos. La disponibilidad se mejora al reducir las paradas imprevistas, mientras que la productividad se incrementa al asegurar que los equipos sean eficientes, confiables y estén en operación continua.

5.5.1. KPI'S DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DE BAJO PERFIL

Se muestra a continuación los KPI'S de mantenimiento de los equipos de carguío y acarreo como el MTBF y el MTTR.

Tabla 34*MTBF Y MTTR de equipos de bajo perfil*

EQUIPO	HRS. OPER.	HRS. CORR.	N° DE FALLAS	MTBF	MTTR
SCOOP C606	389.8	36.2	8	48.7	4.5
SCOOP C609	375.9	37.5	9	41.8	4.2
VOLQ-V01	378.6	33.4	8	47.3	4.2
VOLQ-V02	395.3	30.5	7	56.5	4.4
VOLQ-V03	369.2	35.6	9	41.0	4.0
VOLQ-V04	378.2	31.9	7	54.0	4.6
VOLQ-V05	364.5	21.5	6	60.7	3.6
VOLQ-V06	375.6	35.6	9	41.7	4.0
VOLQ-V07	381.9	20.9	5	76.4	4.2
VOLQ-V08	380.6	33.5	7	54.4	4.8

Nota: Elaboración propia

Los valores del MTBF deben ser valores mayores a 50 hrs, mientras que el valor del MTTR debe ser valores menor a 5 hr. Mejorar estos parámetros es clave para garantizar la disponibilidad y productividad de los equipos, lo que se traduce en una mayor eficiencia operativa y un mejor rendimiento general de la operación minera.

5.6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- **HE N°1** La evaluación de la disponibilidad mecánica en equipos de bajo perfil permite mejorar la productividad en labores mineras en la Compañía Minera Condestable S.A.

Respecto a esta hipótesis la investigación concluyo que: La evaluación continua de la disponibilidad permite identificar y corregir problemas antes de que afecten la operatividad, como fallas mecánicas o tiempos prolongados de inactividad. Esto se traduce en un aumento del tiempo útil de los equipos, lo que mejora directamente su eficiencia operativa y reduce el tiempo perdido en reparaciones no programadas.

Según (Alvarez Chavez, 2020) en una de sus conclusiones afirma que: Concluyendo que el análisis de los indicadores operacionales como utilización y disponibilidad en la veta Ramal Techo influyeron positivamente en el incremento de la productividad promedio anual

de los equipos de transporte de mineral y desmonte con una disponibilidad en 81 % y utilización de 59 %.

En tal sentido se comparte opinión, que la evaluación y análisis de los indicadores como disponibilidad mecánica y utilización en equipos permite el incremento de la productividad.

HE N°2 El estudio de tiempos de los equipos de bajo perfil, permite mejorar la productividad en la Compañía Minera Condestable S.A.

Respecto a esta hipótesis la investigación concluyo que: Se realizó el estudio de tiempos de los equipos de bajo perfil en el proceso de carguío y acarreo de los tajos de explotación TJ_6125, TJ_6590 al echadero de mineral con el propósito de la mejora de la productividad y los resultados obtenidos indican que la optimización de los tiempos de operación, mediante la reducción de paradas no planificadas y la mejora de la coordinación entre equipos, tendrá un impacto directo en la mejora de la productividad.

Según **(Pizarro Sanchez, 2019)**, en una de sus conclusiones afirma que: La dependencia de la productividad influye en el mejor control de los tiempos realizados para el acarreo del material, se ha logrado determinar los tiempos óptimos tales como: tiempo de limpieza en los tajos como tales Tj- 943, Tj-270,Tj-285,frente 975 y en la cámara acumulación 22, se ha reducido el tiempo de ida con carga de 2.5 a 2.3 minutos, el tiempo de retorno con carga se ha optimizado de 3.5 a 2.7 minutos, determinándose como resultado el incremento de más viajes de carga según las utilizaciones incrementando un total de 1050 toneladas.

De ambas conclusiones se puede establecer que el estudio y control de tiempos de los equipos, influye en la mejora de la productividad.

- **HE N°3** El uso del diagrama de Pareto, permite identificar los tiempos improductivos de los equipos de bajo perfil en la Compañía Minera Condestable S.A.

Respecto a esta hipótesis la investigación concluyo que: Se identificó mediante el uso del diagrama de Pareto los principales tiempos improductivos de los equipos de bajo perfil en el proceso de carguío y acarreo de los tajos de explotación TJ_6125; TJ_6590 al echadero de mineral que afectan en la productividad, siendo los que tienen mayor incidencia, el refrigerio, que es un tiempo fijo que no se puede reducir porque es parte del sistema laboral, la cola de los volquetes con una incidencia de 21.6%, espera del scoop al volquete con una incidencia del 13.5% y las reparaciones mecánicas con una incidencia de 18.9%, que son actividades críticas las cuales deben de reducirse.

Según (Alvarez Chavez, 2020), en una de sus conclusiones afirma que: El uso de la herramienta de gestión Pareto, permitió identificar las causas que afectan el rendimiento del sistema de gestión de transporte de mineral y desmonte siendo los que tienen mayor incidencia en el transporte de mineral y desmonte como: esperando carga de mineral y desmonte con una incidencia del 26.47 %, luego la actividad de mantenimiento correctivo (falla eléctrica y mecánica) con una incidencia del 21.85 %, espera de equipo de carguío con una incidencia del 7.15 % y salida de personal con incidencia del 6.72 %, con un total de 62.20 %.

En tal sentido se comparte opinión, ya que el uso del diagrama de Pareto nos permite identificar las principales causas por tiempos improductivos que afectan el rendimiento de los equipos de bajo perfil.

- **HE N°4** El programa de mantenimiento, permite la mejora de la disponibilidad y productividad de los equipos de bajo perfil en la Compañía Minera Condestable S.A.

Respecto a esta hipótesis la investigación concluyo que: El programa de mantenimiento tiene un impacto directo y positivo en la disponibilidad y productividad de los equipos de bajo perfil, un mantenimiento adecuado reduce los fallos imprevistos, mejora la confiabilidad y

optimiza el rendimiento de los equipos, lo que aumenta el tiempo operativo y reduce los costos asociados a tiempos muertos o reparaciones no planificadas.

Según (**Tapia Soto, 2018**), en una de sus conclusiones afirma que: Manteniendo actualizada una base de datos de mantenimiento de cada uno de los equipos, a fin de tener la posibilidad de prevenir fallas, se podría llegar a un sistema de mantenciones programadas a niveles óptimos; o bien, reducir los tiempos de las mantenciones no programadas al contar con anticipación con un protocolo de acción frente a una falla prevista.

En tal sentido se comparte opinión ya que un programa bien estructurado y ejecutado influye significativamente la productividad, optimizando el uso de los recursos y asegurando que los equipos operen de manera eficiente durante más tiempo..

CONCLUSIONES

1. Se realizó el estudio de tiempos de los equipos de bajo perfil en el proceso de carguío y acarreo de los tajos de explotación TJ_6125, TJ_6590 al echadero de mineral con el propósito de la mejora de la productividad y se logró obtener los siguientes resultados, para el ciclo de carguío desde los tajos a la cámara de carguío con el scoop, el tiempo de ciclo fue de 7.3 min/ciclo con 8.3 viajes/hr, un rendimiento de 85 Ton/hr y una distancia promedio de carguío de 58 m en promedio. Para el ciclo de acarreo del punto de carguío al echadero de mineral con volquetes fueron, el tiempo de ciclo fue de 33.2 min/ciclo con 1.9 viajes/hr, un rendimiento de 40.2 Ton/hr y una distancia promedio de acarreo de 1,875 m en promedio. Los resultados obtenidos indican que la optimización de los tiempos de operación, mediante la reducción de paradas no planificadas y la mejora de la coordinación entre equipos, tendrá un impacto directo en la mejora de la productividad.
2. Se identificó mediante el uso del diagrama de Pareto los principales tiempos improductivos de los equipos de bajo perfil en el proceso de carguío y acarreo de los tajos de explotación TJ_6125; TJ_6590 al echadero de mineral que afectan en la productividad, siendo los que tienen mayor incidencia, el refrigerio, que es un tiempo fijo que no se puede reducir porque es parte del sistema laboral, la cola de los volquetes con una incidencia de 21.6%, espera del scoop al volquete con una incidencia del 13.5% y las reparaciones mecánicas con una incidencia de 18.9%, que son actividades críticas las cuales deben de reducirse.
3. El programa de mantenimiento tiene un impacto directo y positivo en la disponibilidad y productividad de los equipos de bajo perfil. Un mantenimiento adecuado reduce los fallos imprevistos, mejora la confiabilidad y optimiza el rendimiento de los equipos, lo que aumenta el tiempo operativo y reduce los costos asociados a tiempos muertos o

reparaciones no planificadas. Además, la planificación de mantenimiento asegura que las operaciones continúen de manera eficiente y sin interrupciones significativas, lo que mejora la productividad general.

4. La evaluación de la disponibilidad mecánica en equipos de bajo perfil permitirá mejorar la productividad de labores mineras en la Compañía Minera Condestable ya que es un factor clave para optimizar las operaciones y alcanzar un rendimiento más eficiente. La evaluación continua de la disponibilidad permite identificar y corregir problemas antes de que afecten la operatividad, como fallas mecánicas o tiempos prolongados de inactividad. Esto se traduce en un aumento del tiempo útil de los equipos, lo que mejora directamente su eficiencia operativa y reduce el tiempo perdido en reparaciones no programadas.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda al área de operación, para continuar con las mejoras en el rendimiento de acarreo y carguío se debe reducir los tiempos improductivos de los identificados en el estudio de tiempos, se deberá coordinar el control de los equipos teniendo en cuenta que un volquete no debe ir a una labor si no se encuentra el Scooptram para que lo cargue, además de ver las necesidades de toda la mina y no solo en un solo nivel.
2. Se recomienda al área de productividad el uso del diagrama de Pareto, para identificar aquellas actividades improductivas o causas que afectan en los rendimientos del sistema de carguío y acarreo, de acuerdo con este principio, si existe un problema con múltiples causas, podemos afirmar que el 20% de estas causas solucionan el 80% del problema.
3. Se recomienda al área de mantenimiento implementar nuevas estrategias para el programa de mantenimiento de equipos, con el objetivo de mejorar la productividad al reducir los tiempos de inactividad de los equipos, optimizar la vida útil de los mismos, prevenir fallas inesperadas y minimizar los costos de reparación, de esta manera, se logra un funcionamiento más eficiente de los equipos de bajo perfil, aumentando la disponibilidad operativa y reduciendo el impacto en los procesos productivos.
4. Se recomienda al área de mantenimiento, para incrementar y mantener las horas de operación de los equipos por encima de las horas mínimas es necesario cumplir estrictamente las horas de mantenimiento, controlar el tiempo empleado en los engrase e inspecciones y sobre todo mejorar el tiempo de reparación (MTTR) en caso de un mantenimiento correctivo. En caso de las horas de operación, se deben de asignar trabajos productivos a los equipos evitando en todo momento las demoras operativas y tiempos de espera.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez Chavez, H. (2020). "*ANÁLISIS DEL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN LAS OPERACIONES DE TRANSPORTE Y ACARREO EN LA VETA RAMAL TECHO - NIVEL 12, PARA LA REDUCCIÓN DE COSTOS - UNIDAD MINERA TICLIO*". Tesis de Pregrado, Universidad Continental, Huancayo.
- Association American Psychological. (2020). *Guía Normas APA 7ª Edición*. Obtenido de <https://normas-apa.org/wp-content/uploads/Guia-Normas-APA-7ma-edicion.pdf>
- Cárdenas Bullón, C. (2017). "*PROPUESTA DE MEJORA PARA LA DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS DE TRANSPORTE DE MINERAL EN UNA EMPRESA MINERA*". Tesis de Pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima.
- Caterpillar. (2011). *CAT R1600G Underground Mining Loader*. Obtenido de <https://www.eltrakbulgaria.com/uploads/Specalogs/2016/R1600G.pdf>
- Cuti Tancayllo, J. (2019). "*DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE RENDIMIENTO EN EQUIPOS DE CARGUÍO, ACARREO Y TRANSPORTE PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN MINA CHIPMO, U.E.A. ORCOPAMPA DE CÍA. DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A. AREQUIPA*". Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco.
- Diestra Parraga, C. (2023). "*ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES EN EQUIPOS DE CARGUÍO PARA LA MEJORA DEL RENDIMIENTO OPERACIONAL EN COMPAÑÍA MINERA CONDESTABLE S.A.*". Tesis de Pregrado, Universidad Continental, Huancayo.
- Hernández Sampieri, R. (2014). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 6ª EDICIÓN*. MC GRAW HILL EDUCATION / INTERAMERICANA EDITORES S.A. DE C.V., México.

Pizarro Sanchez, Y. (2019). "*CARGUÍO Y ACARREO DE MINERAL MEDIANTE EL USO DE INDICADORES CLAVES DE DESEMPEÑO (KPIs) EN CIA MINERA LOS QUENUALES S.A., YAULIYACU, LIMA -2018*". Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurimac, Abancay.

Resolución Directoral N°035-2010/Vivienda/VMCS-DNC. (2010). *NORMA TÉCNICA:*

"ELEMENTOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL COSTO HORARIO DE LOS EQUIPOS Y MAQUINARÍA. Obtenido de

https://maquinariamovimientotierras.online/Curso/Lecciones/tema05/lec05_2/Norma_tecnica_calculo_costo_Maq.pdf

Salas Hurtado, L. (2013). "*ESTUDIO DE KPIS EN LOS EQUIPOS DE PERFORACIÓN, CARGUÍO Y ACARREO PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCCIÓN DE 3000 A 3600 TM/DÍA EN LA MINA PALLANCATA - HOCHSCHILD MINING*". Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

Saldaña Tumbay, A. (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.

Santiago Santos, J. (2021). "*PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE UN CARGADOR DE BAJO PERFIL MARCA CATERPILLAR MODELO R1600G EN LA MINERA SIMSA UBICADO EN LA MERCED-JUNÍN*". Tesis de Pregrado, Universidad Tecnológica del Perú, Lima.

Tapia Soto, F. (2018). "*IMPACTO DE LA DISPONIBILIDAD EN EQUIPOS MINEROS DE CARGUÍO Y TRANSPORTE LIGADO A SUS MOTIVOS DE DETENCIÓN*". Tesis de Pregrado, Universidad de Concepción, Chile.

Valentin Gamarra, C. (2018). "*CONTROL Y MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD DEL ACARREO Y TRANSPORTE DE MINERAL DESDE LAS LABORES DE*

*PROFUNDIZACIÓN HACIA LA SUPERFICIE EN LA UNIDAD DE PRODUCCIÓN
SAN CRISTOBAL – VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A.*". Tesis de Pregrado,
Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco.

Volvo Trucks, F. (2017). Obtenido de [https://www.volvotrucks.com.ar/content/dam/volvo-trucks/markets/argentina/fichas-t%C3%A9cnicas-volvo-fmx/FMX%20380-420-460-500%208x4R%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%208x4R%20Vocacional%202020%20(VTCM0045%20ED02).pdf)

ANEXOS

ANEXO 1

1.1. ÁMBITO DE ESTUDIO DE LA INVESTIGACIÓN

1.2. DESCRIPCIÓN DE LA COMPAÑÍA MINERA CONDESTABLE S.A.

1.2.1. UBICACIÓN

La Mina Raúl-Condestable está situada en el distrito de Mala, provincia de Cañete, en el departamento de Lima. Sus propiedades mineras abarcan terrenos de Mala y Asia, adyacentes a la quebrada Calicantro. Se encuentra en la franja costera peruana, donde la altitud oscila entre los 80 m.s.n.m. en la parte más baja y los 800 m.s.n.m. en la parte alta. Sus coordenadas aproximadas son:

- **Coordenada UTM WGS 84, zona 18S son:**

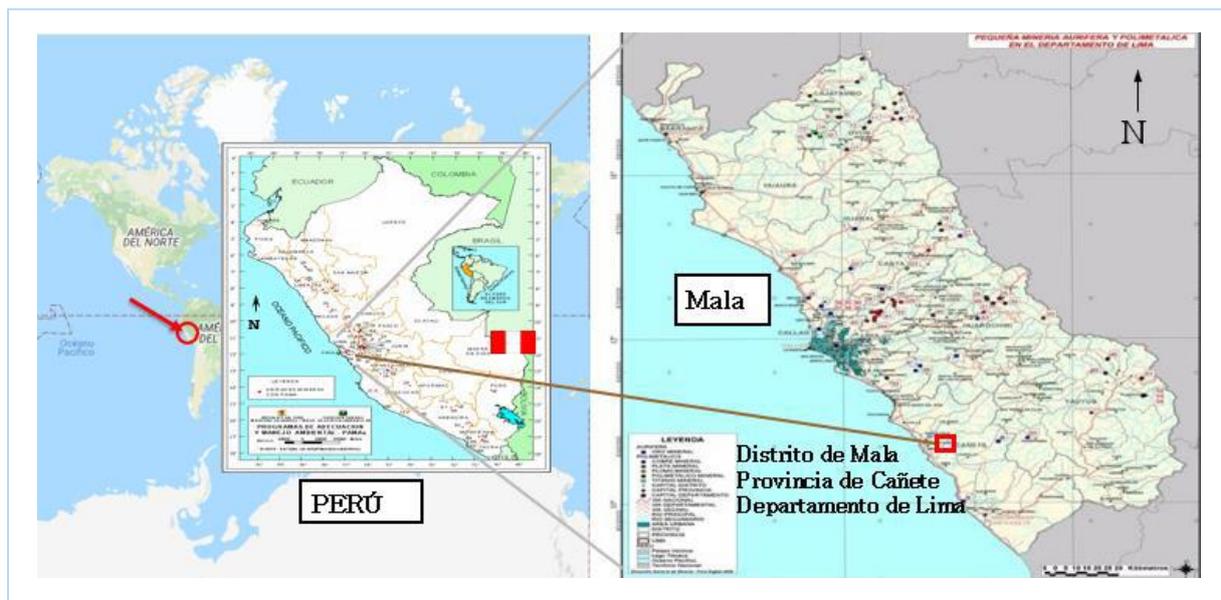
Norte: 8 596,000

Este: 327,000

Altitud: 200 m.s.n.m.

Figura 24

Ubicación geográfica de la Compañía Minera Condestable



Fuente: Compañía Minera Condestable

1.2.2. ACCESIBILIDAD

La mina Raúl-Condestable es accesible a través de una carretera asfaltada que conecta Lima con Mala, utilizando la antigua carretera Panamericana Sur. Esta ruta tiene una distancia aproximada de 90 km entre la ciudad de Lima y la ciudad de San Pedro de Mala. Después de eso, se utiliza una carretera afirmada que conduce a la garita de entrada a la Unidad Minera, los tiempos indicados son para viajes por carretera. (Ver Tabla 2).

Figura 25

Mapa de accesibilidad de Lima a la Compañía Minera Condestable



Fuente: Compañía Minera Condestable

Tabla 35

Ruta de acceso a la Compañía Minera Condestable

Vía	Ruta	Km	Tiempo (Hrs)
Carretera asfaltada	Lima – Bujama	90 km	1.20
Camino de trocha	Bujama - Garita	5 km	0.10
TOTAL		95 km	1.30

Fuente: Elaboración Propia

1.2.3. FISIOGRAFÍA

Desde el punto de vista geomorfológico, en CMC se identifican varios tipos de depósitos:

- Depósitos eólicos que se encuentran en las antiguas llanuras de inundación y en los flancos más bajos de los cerros. Estos depósitos son el resultado de la acción del viento y cubren extensas áreas.
- Depósitos fluvio-aluvionales presentes en las quebradas, que son evidencia de períodos de avenidas de agua torrenciales.
- Depósitos coluviales o de piedemonte que se extienden en forma de abanicos en los flancos escarpados de cerros pedregosos. Durante el invierno, estos depósitos se cubren de un musgo verde y albergan vegetación típica de las lomas.

1.2.4. TOPOGRAFÍA DE LA ZONA

Según el estudio de impacto ambiental de la Unidad Minera Condestable, el área de operación se sitúa en la franja de la región costera peruana. Esta área se caracteriza por una cadena de cerros y lomas compuesta principalmente por rocas volcánicas y sedimentarias. Las elevaciones varían entre los 60 y 520 m.s.n.m., y estas formaciones son parte de las primeras estratificaciones del batolito de la costa. La topografía no es extremadamente escarpada ni accidentada. Se observa la presencia de depósitos aluviales y eólicos, que son evidencia de los procesos de degradación de la litología local y de la fracturación del suelo debido a la sequedad ocasionada por la variación estacional de la humedad. La mayoría de los cerros y lomas en el área del proyecto están cubiertos de fragmentos de rocas subangulosas, y durante las épocas húmedas, la vegetación se extiende por todas sus laderas.

1.3.ASPECTOS GEOLÓGICOS

1.3.1. GEOLOGÍA REGIONAL

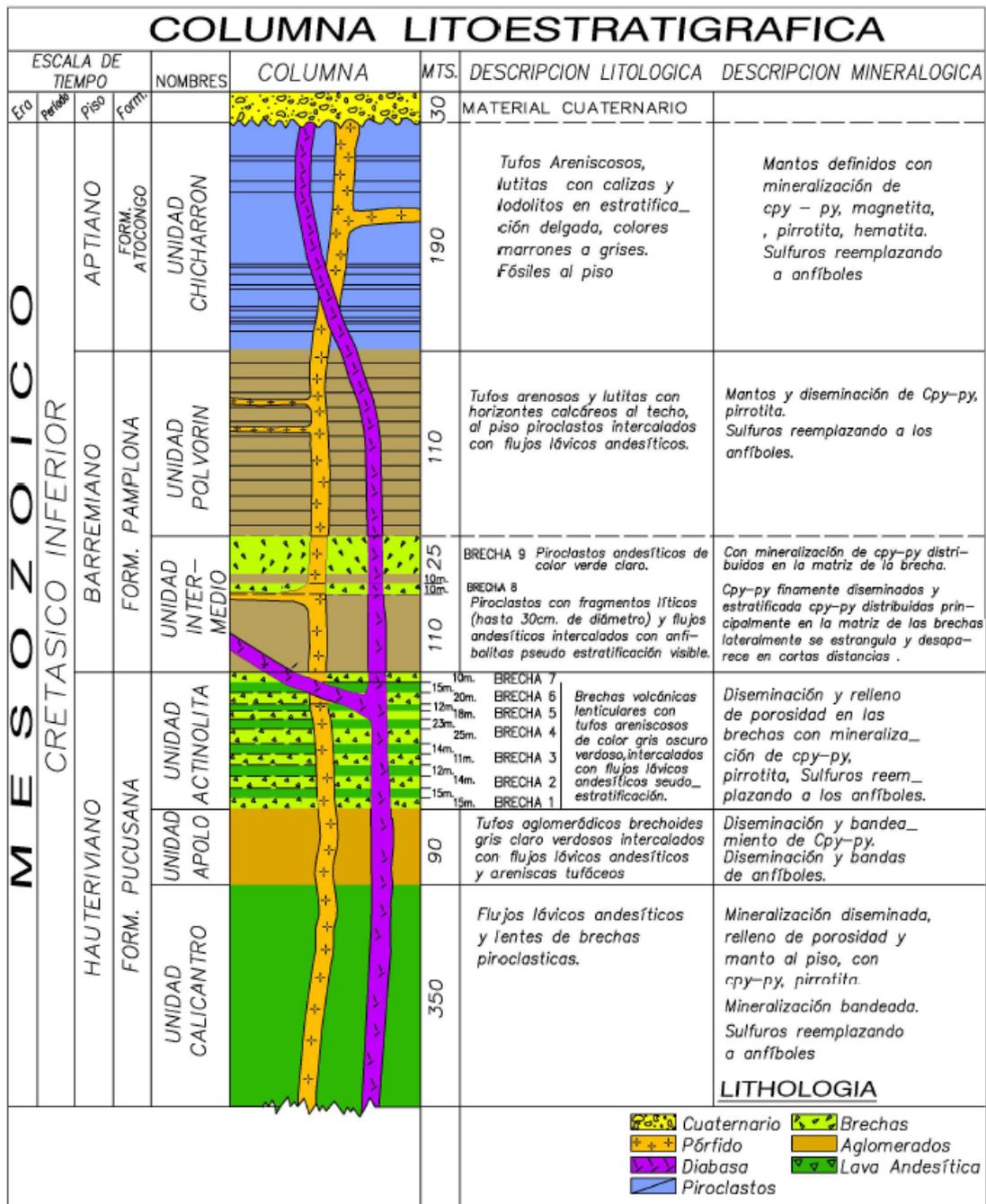
A nivel regional, se observa la presencia de rocas volcánico-sedimentarias, identificándose en la columna estratigráfica de piso a techo a la Formación Asia, al Grupo Morro Solar, a las Formaciones Pucusana, Pamplona, Atocongo y Chilca, y más hacia el Sur a los Volcánicos Quilmaná. La edad que se le asigna a esta secuencia va del Jurásico Superior al Cretácico Inferior, cortando a la secuencia de rocas volcánico-sedimentarias se presentan rocas intrusivas del Cretácico medio, pertenecientes al Batolito de la Costa. Estructuralmente la secuencia se presenta muy disturbada.

1.3.1.1.ESTRATIGRAFÍA REGIONAL

La secuencia estratigráfica en Raúl-Condestable, alcanza un total de más de 6 km, y buza al oeste-suroeste con un ángulo de alrededor de 40°. Se divide en 5 unidades (unidad I a V de la base al tope), con rangos de edad interpretados de Jurásico tardío. Toda la secuencia volcano-sedimentaria es cortada por un conjunto de stocks félsicos a máficos, diques y sills.

Figura 26

Columna litoestratigráfica de la mina Raúl-Condestable



Fuente: Área geología de la Compañía Minera Condestable

1.3.1.2. UNIDAD CALICANTRO

Correlaciona en la parte inferior en forma concordante y continua con el Grupo Morro Solar y constituye la parte Inferior de la formación Pucusana. Consiste de lavas andesíticas

porfiríticas con estratificación gruesa y aisladas intercalaciones de aglomerados andesíticos masivos de color verde oscuro y matriz afanítica y tiene una potencia mayor de 430m. En esta unidad la mineralización es diseminada y parches, con rellenos en las porosidades de las brechas piroclásticas con minerales de calcopirita, pirita y pirrotita, con una ley promedio de 1.12% Cu.

1.3.1.3.UNIDAD APOLO

Es la unidad intermedia de la formación Pucusana, concordante con las unidades inferiores y superiores, su contacto es transicional y continuo. Presenta notorio incremento de sedimentos (margas y areniscas), con estratificación delgada, desarrollo de anfibolita y ocasionales intercalaciones de piroclásticos en proporción que aumenta hacia el NE del yacimiento. En la parte alta de la sección predominan areniscas tufáceas en bancos gruesos con una potencia estimada de esta unidad es 80m. La mineralización es disemina en mantos bandeado conteniendo calcopirita y pirita en los tufos. En interior mina está identificado 6 mantos mineralizados y los más importantes manto 1, manto 3 y manto 4, este último tiene características que presenta un horizonte magnético, que varía de potencia de SE a NW de 0.30m a 15m. En la parte central su alteración típica la actinolización con ley promedio de 1.50% Cu.

1.3.1.4.UNIDAD ACTINOLITA

Conforma la parte superior de la formación Pucusana y es concordante y correlaciona con la formación Pamplona en la parte superior y su potencia estimada es de 180 a 200 m. Está constituida mayormente por andesitas gris verdosas y verde oscuro de textura porfirítica con intercalaciones lenticulares de brechas volcánicas, con desarrollo de cristales aciculares de actinolita. Se ha reconocido ocho horizontes de brechas con potencias variadas de 10 a 25 m. intercaladas flujos lávicos andesíticos con una pseudo estratificación y espesores que varían de 12 a 13 m. La mineralización se presenta en forma diseminada y parches de las brechas, de la

brecha 1 hasta la brecha 7 con contenidos de calcopirita, pirita, pirrotita, y la brecha 8 con contenidos de bornita, calcopirita, pirrotita. Los sulfuros reemplazando a los anfíboles y con una ley promedio de 1.60% Cu.

1.3.1.5.UNIDAD INTERMEDIO

Son intercalaciones de lavas porfiríticas amigdaloides con horizontes potentes de areniscas. La alteración es de actinolita-clorita y hematita, gran parte de los afloramientos están totalmente obliterados por la alteración y oxidación supérgena, generando en muchos casos una capa argilizada y lixiviada superior de 0.5 m.

1.3.1.6.UNIDAD POLVORÍN

Está desplazada por un sill de diorita porfirítica levemente alterado. Esta unidad tiene una base con intercalación de tufos, lavas y arenisca en horizontes de 7 a 12 m de potencia. En total la potencia es de 102 m terminando en una arenisca de 14 m de potencia. La mineralización en los mantos tiene diseminaciones de calcopirita, pirita y pirrotita. La secuencia de tufos y lutitas con horizontes calcáreos conforman el techo y los piroclásticos intercalados con flujos lávicos andesíticos conforman el piso, y tiene una ley promedio de 1.30% Cu.

1.3.1.7.UNIDAD CHICHARRÓN

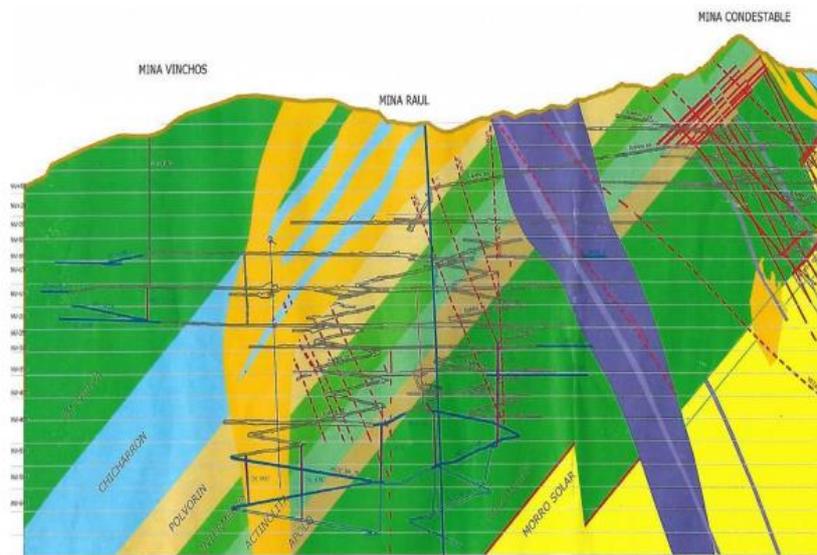
Representa a la formación Atocongo y geológicamente sufre una discordancia con las otras formaciones superiores lo que se evidencia que sufre una fuerte erosión y movimiento tectónico por el batolito de la costa y que luego se deposita el material cuaternario antiguo. Está conformado por lutitas con calizas, lodolitas en estratificaciones delgadas y areniscas. El conjunto tiene coloración marrón a gris con una potencia estimada de 190 m, la mineralización consiste en mantos definidos con minerales de calcopirita, pirita, magnetita, pirrotita, hematita.

1.3.2. GEOLOGÍA LOCAL

Las tres cuartas partes de las concesiones de la Compañía Minera Condestable S.A. están conformadas por una secuencia de rocas volcánico-sedimentarias depositadas en un ambiente marino de aguas poco profundas, el resto lo conforman rocas ígneas intrusivas asociadas al Batolito de la Costa Peruana.

Figura 27

Perfil geológico de la mina Raúl y mina Condestable



Fuente: Área geología de la Compañía Minera Condestable

1.3.3. GEOLOGÍA ECONÓMICA

1.3.3.1. TIPO DE DEPÓSITO

Condestable es un depósito subterráneo IOCG (Cu con créditos Au / Ag). Los depósitos de Raúl y Condestable se alojan dentro de una secuencia de roca volcánico sedimentario cortadas por un intrusivo pórfido diorítico a cuarzo diorítico. Dichas secuencias volcano sedimentarias permiten afirmar que en la zona se desarrolló un centro volcánico. La alteración ocurre en toda el área de Raúl-Condestable, a manera de un metamorfismo termal, caracterizado por la presencia de mármoles calcáreos y rocas ricas en piroxeno y granate. La alteración en general es extensa, pero no destruye la textura original de la roca. Las alteraciones

que existen en el área de Raúl-Condestable son la actinolización, albitización, sericitización, cloritización y epidotización y por último la silicificación.

El depósito minero en las áreas de "Raúl" y "Juanita de Bujama" está compuesto por vetas, capas de reemplazo en rocas calcáreas, así como también diseminaciones y llenados de porosidad en brechas volcánicas y tufos estratificados. Estos materiales están mineralizados con calcopirita, bornita, pirita, pirrotita, magnetita, hematita, escapolita, calcita, cuarzo y anfíboles. Se encuentra ocasionalmente molibdenita y esfalerita, y galena. Los principales minerales económicos son la calcopirita y la bornita; el oro y la plata son subproductos presentes en los concentrados. La manifestación de procesos de oxidación y enriquecimiento supergénico se evidencia a través de la presencia de minerales como el cobre nativo, malaquita, azurita, covelita y calcosina en zonas cercanas a la superficie. En profundidad, estos procesos son favorecidos por la intensa actividad de fallas en las vetas.

1.3.3.2. MINERALIZACIÓN

Las mineralizaciones metálicas se presentaron en dos asociaciones distintas, la primera de estas es la asociación Fe-Cu, que principalmente está compuesta por calcopirita, pirita, magnetita, y en menor medida por pirrotita, galena, esfalerita, ilmenita, molibdenita, bornita, marcasita, electrum y cobalto. La calcopirita es el principal mineral de mena, con subproductos de plata y oro.

La asociación de plomo-zinc es tardía y poco significativa, presentándose como vetas y venillas menores de galena y esfalerita, con trazas de pirita, calcopirita, tetrahedrita, oro y calcita. No se han observado formaciones exhalativas de las asociaciones de cobre-hierro o plomo-zinc. La temperatura máxima de formación se sitúa alrededor de los 320°C a 414°C, y los estudios de isótopos (S, H, O) e inclusiones fluidas indican que tanto el azufre como los fluidos mineralizantes tienen un origen marino y que no ha habido ebullición. La mineralización en mantos constituye aproximadamente el 55% de la mineralización en Raúl,

mientras que la mineralización en venillas y diseminados representa alrededor del 35%, y las vetas solo un 10%.

Hay dos tipos de mineralización de cobre en Mina Raúl:

- Los mantos tabulares están emplazados de forma subconcordante con un buzamiento que oscila entre los 35° y 45°.
- Las vetas tabulares discordantes atraviesan los mantos en dirección noreste a noroeste.

1.3.3.3.LEY DE CORTE-LEYES PROMEDIOS

Para 7000 TMD tenemos las siguientes leyes:

Tabla 36

Leyes promedio (Ley de corte)

Descripción	Real	Unidad
Tonelaje Tratado	203,000	TM
Ley Cut Off		
-Cu	0.60	%
-Au	0.15	g/TM
-Ag	3.5	g/TM
Ley Cu -Eq	0.73	%

Fuente: Área de planeamiento – Compañía Minera Condestable

1.3.4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La distensión cretácica mencionada aquí probablemente proporciona el contexto tectónico no solo para la sedimentación y vulcanismo después del Morro Solar, y para la formación de varias intrusiones (la falla Condestable en particular parece haber influenciado el emplazamiento tanto de los cuerpos de pórfidos andesítico/dacíticos como de las doleritas tardías, incluidas las tonalitas), sino también para la mineralización contemporánea asociada con estas últimas. La presencia de cataclasitas foliadas observadas en el interior de la mina,

inmediatamente adyacentes y paralelas a algunos mantos, sugiere que estas mineralizaciones son probablemente sintectónicas.

Ahora vamos a explicar los diversos grupos de fracturas o errores que se han registrado:

- Las fracturas y fallas más recientes parecen estar asociadas con los intrusivos dioríticos y la emplazamiento de las doleritas, que en promedio tienen una orientación aproximada de N33°W/55°NE. Este conjunto muestra una alta densidad (1 por cada 10 metros) de fracturas de corte con desplazamientos que van desde milímetros hasta centímetros, principalmente localizadas en los intrusivos dioríticos.
- El siguiente conjunto es de mayor antigüedad y se encuentra dividido en zonas dentro de los volcanoclásticos y una parte del intrusivo pórfido cuarzo-diorítico. Las fracturas están llenas de arcilla, sericita, y tienen una orientación media de aproximadamente N35°E/70°SE. Su grosor varía entre 20 y 30 centímetros en la superficie, pero en aquellas de mayor relevancia puede llegar hasta los 2 metros. Aquí se incluyen las fallas f2, f3, f4, f5 y f6. En cuanto a las fallas veta, tienen grosores mucho mayores debido a la mineralización de sulfuros y oxidación. Ejemplos de estas son las fallas f2, f3, f4, f5 y f6, así como las vetas Gladys, Pampa, Milagrosa, el Tío y las Juanitas del 1 al 4.
- “El sistema E-W es un sistema relacionado al pórfido cuarzo diorítico y los volcanoclásticos, un ejemplo es la veta chilena”.

1.3.5. CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE ROCA

Para realizar el diseño de las labores se debe considerar la caracterización del macizo rocoso que se presente en esa zona para definir la ubicación de la dicha labor. El tipo de sostenimiento que se determina es de acuerdo con la calidad de roca es por ello que se divide en dos tipos: GSI para labores mineras de desarrollo y preparación; y GSI para labores mineras de explotación.

La Roca se clasifica entre roca Buena a Muy buena según el índice que evalúa la competencia del macizo rocoso $RMR > 80$ y Clase I y II puntualmente III por ese motivo muchas de las labores no requieren sostenimiento.

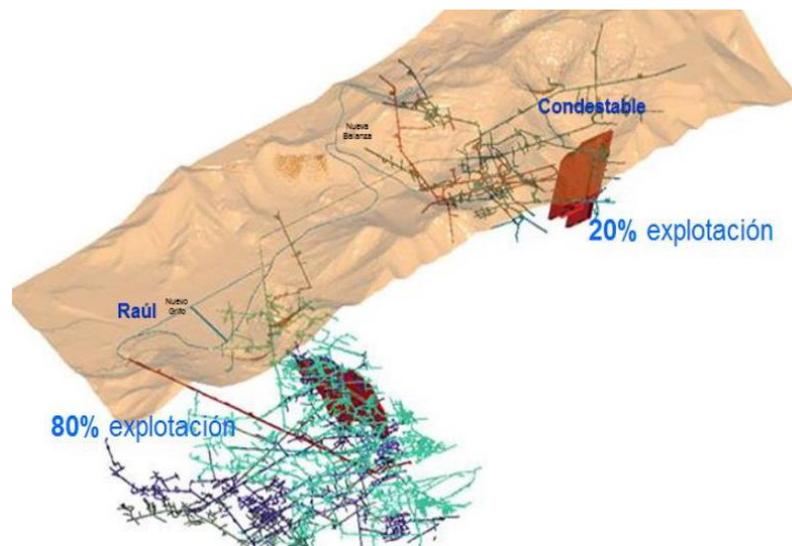
1.3.6. CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

Actualmente la planta de tratamiento se encuentra operando a Razón de 7000 Toneladas tratadas/Día, del 100% de la explotación tenemos 2 zonas de explotación:

- 1) Mina Raúl con un 83 %
- 2) Mina Condestable con un 17%

Figura 28

Ubicación de las estructuras mineralizadas



Fuente: Área de planeamiento, Compañía Minera Condestable

5.6.1. RESERVAS DE MINERAL

Los datos operativos de la Compañía Minera Condestable como mineral extraído, mineral de cabeza y el porcentaje de recuperación fueron casi uniformes en estos últimos 4 años. A continuación, se muestran datos de mineral extraído teniendo el 2018 como punto más alto con 2,416,641 toneladas movidas; de la misma forma el mismo año se tiene el mineral de cabeza

con mayor ley. Sin embargo, fue en el año 2020 que se tuvo una recuperación del mineral en planta del 90.0%.

Tabla 37

Datos de mineral extraído, mineral de cabeza y porcentaje de recuperación

Datos operativos	2018	2019	2020	2021
Mineral extraído	2,416,641	2,375,774	2,232,773	2,361,540
Mineral de cabeza	0.87	0.85	0.82	0.73
% de recuperación	89.4%	89.7%	90.0%	89.26%

Fuente: UM Condestable

➤ **Reservas de Mineral**

Las reservas minerales de Compañía Minera Condestable a diciembre del 2020 se muestran en la siguiente tabla. Teniendo los metales como el oro, plata y cobre.

Tabla 38

Reservas de mineral de la Compañía Minera Condestable

Reservas	MT	Cu (%)	Au (Gr/T)	Ag (Gr/T)
Probado	20.55	0.76	0.16	5.8
Probable	7.38	0.88	0.36	6.63
Probado + probable	27.92	0.78	0.19	-

Fuente: UM Condestable

➤ **Recursos de Mineral**

Los recursos minerales de Compañía Minera Condestable a diciembre del 2020 se muestran en la siguiente tabla. Teniendo los recursos medidos, indicados e inferidos.

Tabla 39*Recursos de mineral de la Compañía Minera Condestable*

Recursos	MT	Cu (%)	Au (Gr/T)	Ag (Gr/T)
Medidos	22.62	0.93	0.23	6.66
Indicados	7.83	1.39	0.29	9.84
Medidos + indicados	30.45	1.03	0.24	7.33
Inferidos	3.50	1.40	0.40	9.73

Fuente: UM Condestable

1.4.MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN

En la actualidad, la Compañía Minera Condestable S.A. opera completamente de manera subterránea las minas Raúl y Condestable, utilizando una variedad de técnicas de extracción. El método de explotación va de acuerdo con la estructura de la mina, su tamaño, la orientación, la consistencia de la roca y el beneficio esperado de la producción. Se conocía hasta finales del año 2019, el método Sub Level Stopping por subniveles, popularmente como “taladros largos”, este era el método principal para la explotación mecanizada en Condestable, mientras que existen los métodos convencionales como *Shrinkage* y cámaras y pilares; sin embargo, a inicios del 2020 se utiliza el método SLS, para la explotación de tajos.

1.4.1.1.SUBLEVEL STOPPING

El diseño del método de minado aplicado en los tajos considera las siguientes dimensiones:

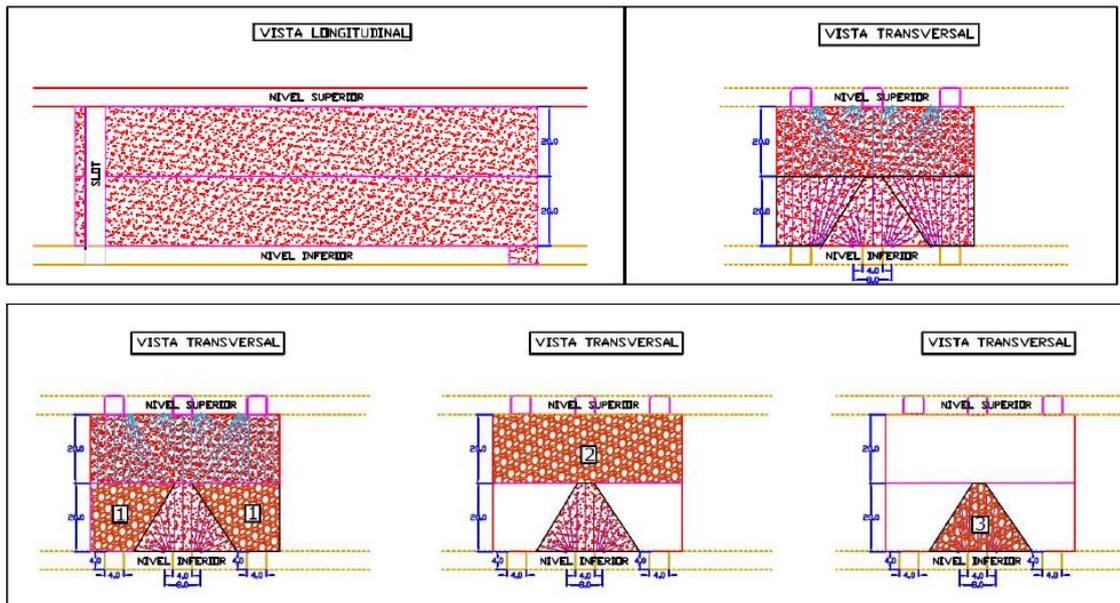
- Longitud de tajeo: 100 metros
- Potencias: 5 a 20 metros
- Alturas: 20 a 40 metros.

Las mallas de perforaciones son de 1.8 x 1.8 metros, se realiza en forma paralela o abanico (positivo o negativo), con longitudes hasta 20 metros. El tipo de explosivo usado es el ANFO y booster de 150 gr (cebo iniciador), en algunas ocasiones se usa emulsión Emulnor

5000. La limpieza se realiza a control remoto, con scoops de diferentes capacidades por las ventanas generadas. Luego de la limpieza se rellena con material detrítico, proveniente de las labores de desarrollo.

Figura 29

Método de explotación Sublevel Stopping



Fuente: Tomada del Departamento de Geomecánica

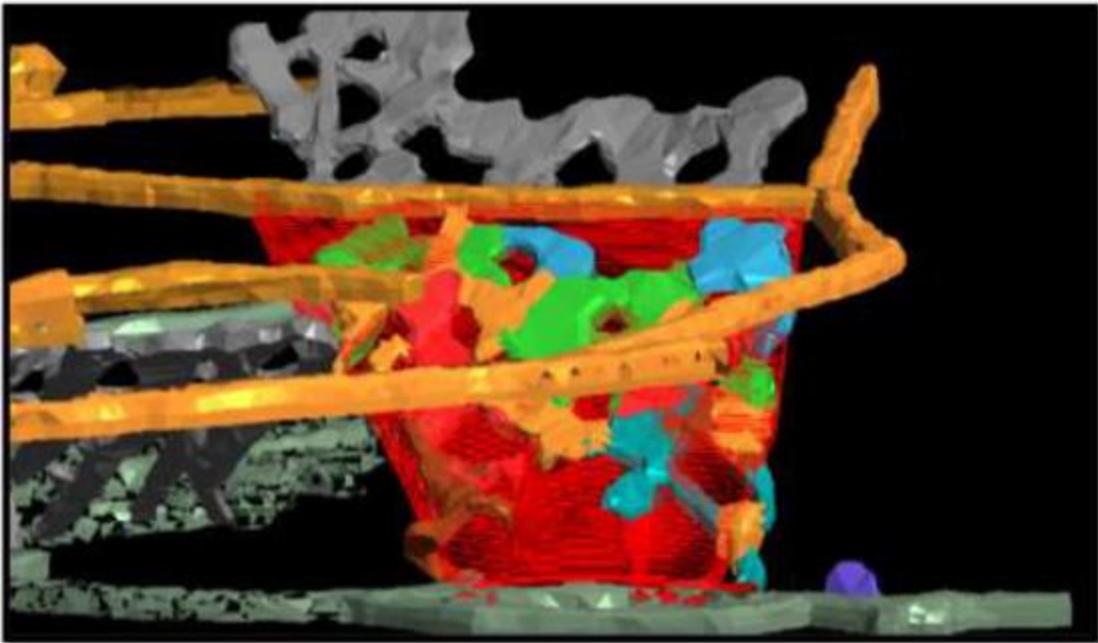
1.4.1.2.ROOM AND PILLAR

Es aplicado a estructuras mineralizadas con buzamientos $\leq 40^\circ$ y potencias de 2 metros. El método de minado se inicia con el desarrollo de galerías y ventanas con dirección a la estructura. Las propiedades geomecánicas definen la dimensión de los pilares, los cuales son recuperados una vez terminado la explotación de los tajeos y su relleno detrítico posterior.

Las perforaciones se llevan a cabo utilizando brocas de 32, 33 y 34 milímetros de diámetro, con longitudes de 2, 4, 6, 8 y 10 pies respectivamente. Para la voladura, se emplean explosivos como emulex (emulsión) y examón (anfo), junto con accesorios como carmex y mecha rápida, siguiendo una secuencia apropiada de detonación.

Figura 30

Vista del block mineralizado explotado por “Cámaras y pilares”



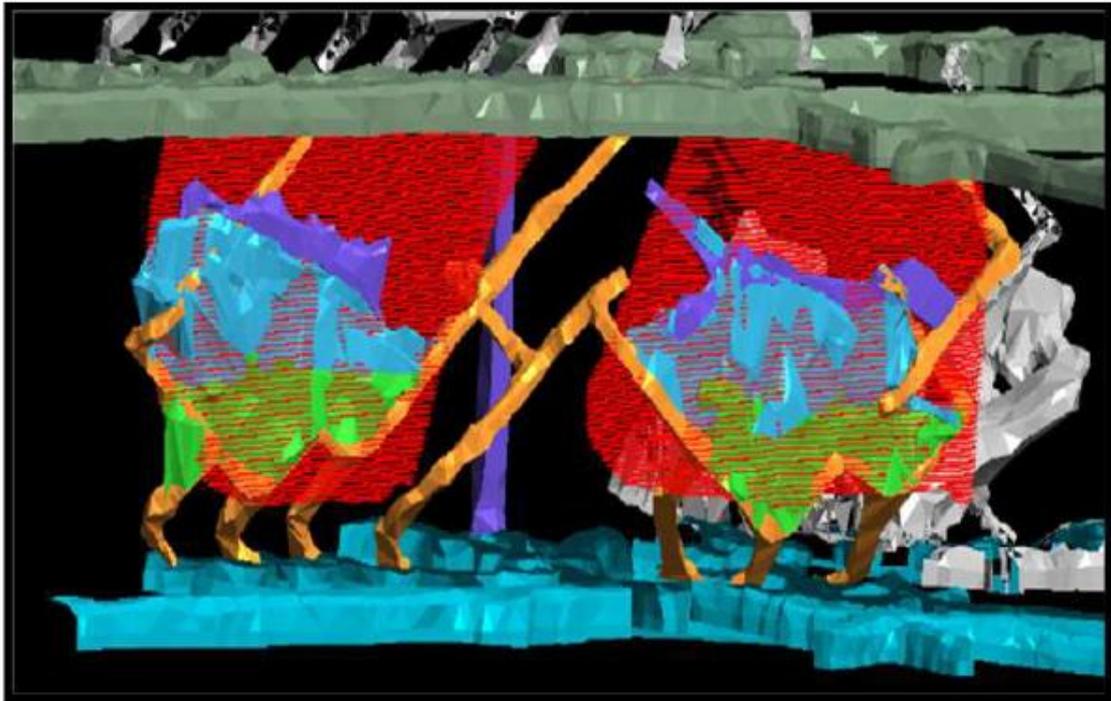
Fuente: Tomado de Planeamiento, compañía minera Condestable

1.4.1.3.SHRINKAGE

Este método es aplicado a estructuras subverticales tipo veta, brechas, etc., con buzamiento $> 60^\circ$. El método de minado aplicado considera labores en dirección a la estructura mineralizada, donde se desarrollan chimeneas paralelas al buzamiento de la estructura mineralizada. Se dejan puentes de acuerdo a las características geomecánicas, para estabilizar el macizo rocoso y el diseño del método de minado. La aplicación del método de minado shirinkage, se limita en la extracción del mineral en un 30% por disparo, no aplica relleno y sostenimiento. La potencia promedio es mayor a 3 metros, se desarrolla labores de extracción como cruceros (ventanas) y un by pass paralelo a la estructura mineralizada.

Figura 31

Vista del block mineralizado explotado por “Shrinkage”



Fuente: Tomado de Planeamiento, compañía minera Condestable

1.5. OPERACIONES UNITARIAS

1.5.1. PERFORACIÓN PARA LABORES HORIZONTALES (PREPARACIÓN Y DESARROLLO)

En la fase de preparación y desarrollo, se cuenta con la colaboración de dos empresas especializadas: Opermin y Cominco. Estas empresas se encargan, por niveles, del progreso de estas labores de manera prioritaria. Además, el personal de la Compañía Minera Condestable también participa en labores de preparación y desarrollo como parte de sus responsabilidades. Se dispone de mallas de perforación de 3.5m x 3.5m y de 4m x 4m, las cuales se eligen según la calidad del macizo rocoso en el que se esté llevando a cabo la labor.

1.5.2. PERFORACIÓN PARA LABORES VERTICALES (CHIMENEAS)

Para la perforación en labores verticales se utiliza Stoper EPIROC – ATLAS COPCO estas labores lo realizan tanto contratistas como CMC.

Estas labores se utilizan para servicios auxiliares de la mina, ventilación; las otras labores netamente para la preparación se realizan con el equipo Alimak con una sección de chimeneas 2mx2m.

1.5.3. PERFORACIÓN EN EXPLOTACIÓN

Para la perforación en explotación se utiliza Simbas y Jumbos Convertidos (Remans-Híbridos) Epiroc , Atlas Copco y Overprime , se realizan en cuerpos mineralizados de gran dimensión de acuerdo a la malla de perforación en el plano de las secciones que señalan la dirección y ángulo de perforación ya sea positivo y negativo, se tienen distintas dimensiones que perforan alrededor de los 30 metros dejando un puente de 10 metros en abanico , su columna de perforación es shank adapter , con un juego de barras MF de 4 o 5 pies y brocas de 64 mm con un rimado de 102 mm , para dar la cara libre para estos tajos en sublevel stoping se realiza un slot de 2m x 2 m.

1.5.4. VOLADURA

Una vez confirmada la distribución y longitud de los taladros conforme a los datos del Área de Planeamiento Mina, se notifica al Área de Operaciones Mina la finalización satisfactoria del trabajo. Luego, se coordina con la Jefatura de Voladura para cargar los taladros de acuerdo con los cálculos establecidos por dicha área.

Diagrama de flujo que representa el comienzo del proceso de voladura utilizando perforaciones de 16 pies.



1.5.4.1.INDICADORES DE VOLADURA

- El promedio de avance/disparo para labores de CMC es de 3.37m/disparo y en contrata un promedio de 3.17m/disparo.
- La eficiencia de voladura promedio para labores de CMC es de 89.6% y para labores de contrata es de una eficiencia promedio de 83%.
- Los factores de carga promedio para labores con secciones de 3.5m x 3.0m en CMC es de 29.3 kg/m y en labores de contrata es de 34.6 kg/m en promedio.
- Los factores de carga promedio para labores con secciones de 4.0m x 4.0m en labores de CMC es de 32.6 kg/m y para labores de contrata es de 37.4 kg/m.

Tabla 40

Resultado post-voladura

Item	Resultado
Numero de Taladros	33 cargados +4 rimados + 1 rompe boca = 38 Tal.
Longitud media de perforación	3.6m
Consumo de explosivos (Examón + Emulnex)	114.24 Kg de explosivo
Avance	3.5m
Factor de Carga	32.64 kg/m-avance
Eficiencia de Voladura	97%
Eficiencia de perforación	84.36%
Ancho x Altura real	4.2 x 4.5
Sobrerotura	20%
Fragmentación	<30cm (88% passing), >30cm (12% no passing)

Fuente: Compañía Minera Condestable – Área de Perforación y Voladura

1.5.5. LIMPIEZA Y ACARREO

La mina Condestable dispone de Scoops de 4 yd³ y 6 yd³ en su equipo. En total, la operación cuenta con 8 Scoops: 2 de 4 yd³ y 6 de 6 yd³. Estas unidades cumplen con las necesidades operativas en una variedad de trabajos, incluyendo desarrollo, preparación y explotación, utilizando tanto métodos convencionales como mecanizados.

1.5.6. ACARREO

Los servicios de acarreo de mineral y desmonte en la unidad minera están subcontratados con las empresas CN SAC, Cominco y Opermin, con un total de 28 unidades respectivamente. Los modelos principales usados en la empresa CN SAC son Scania 8x4 de 20 m³ capacidad, Volvo 10x6 (22 toneladas) y Volvo 8x4 (35 toneladas).

1.5.7. MAQUINARIAS Y EQUIPOS

1.5.7.1.EQUIPOS DE LIMPIEZA SCOOPS DE 4 Y 6 YD3

Figura 32

Scoop CAT R1600G



Fuente: (Caterpillar, 2011)

1.5.7.2.EQUIPOS DE PERFORACIÓN

- Jumbos para Frentes de 14ft, 16ft y 20 ft, y desquinche.
- Simbas para secciones de taladros largos de 25 a 30 m.
- XRD Avispón Verde-cara libre de block (Patentado por Rock Drill -CMC).
- Convencional - Jack leg, Stoper.

1.5.7.3.EQUIPOS DE SOSTENIMIENTO Y DESATE

- Scaler.
- Empernador Mecanizado (Boltec).

1.5.7.4.EQUIPOS DE TRANSPORTE

- 33 Unidades de volquetes de 8x4 de 35 Ton. (Ambos son Volvos 440 y 480)
- 02 Unidades de volquetes de 10x6 de 35Ton.

1.5.8. SERVICIOS GENERALES

1.5.8.1.VENTILACIÓN

La ventilación es un proceso operativo primordial, consiste en el paso del flujo de aire a través de mangas y por medio de ventiladores hacia las labores e infraestructuras necesiten de este servicio, con la finalidad de crear condiciones favorables y optimas de trabajo, es por ello que en Compañía Minera Condestable trabaja con sistema de ventilación mecanizado. La provisión de aire comprimido a interior mina es pasando por redes de tubería de clase 12.5 de 4'' y 2'', que envían el aire desde la superficie mediante una compresora (Casa compresora).

1.5.8.2.DRENAJE

El sistema de drenaje trabaja con 11 pozas principales, que evacuan el agua con tuberías de 4" a distintos niveles hasta llegar al espesador de relaves que se encuentra en superficie. Para provisionar de agua, se tiene tanques en todos los niveles tanto interior mina y superficie, en la actualidad se hace el recirculado del 100 % del agua empleada en interior mina.

1.5.8.3.SOSTENIMIENTO

En la compañía Minera Condestable se utiliza el sostenimiento con Shotcrete, pernos de anclaje, malla y perno el cual se efectúa a través del equipo empernador Boltec. Existe diferentes labores donde la roca se clasifica entre roca Buena a Muy buena por ese motivo muchas de las labores no requieren sostenimiento.

1.5.9. TRATAMIENTOS METALÚRGICOS

1.5.9.1.CAPACIDAD

Actualmente la planta de tratamiento tiene una capacidad máxima de 9500 TMD de las cuales se tratan 7000 TMD, opera en tres turnos de 8 horas por día calendario donde se utiliza cuatro equipos giratorios. Los proyectos de expansión de capital han incluido modificaciones de la planta y las nuevas instalaciones de equipos en todos los procesos unitarios.

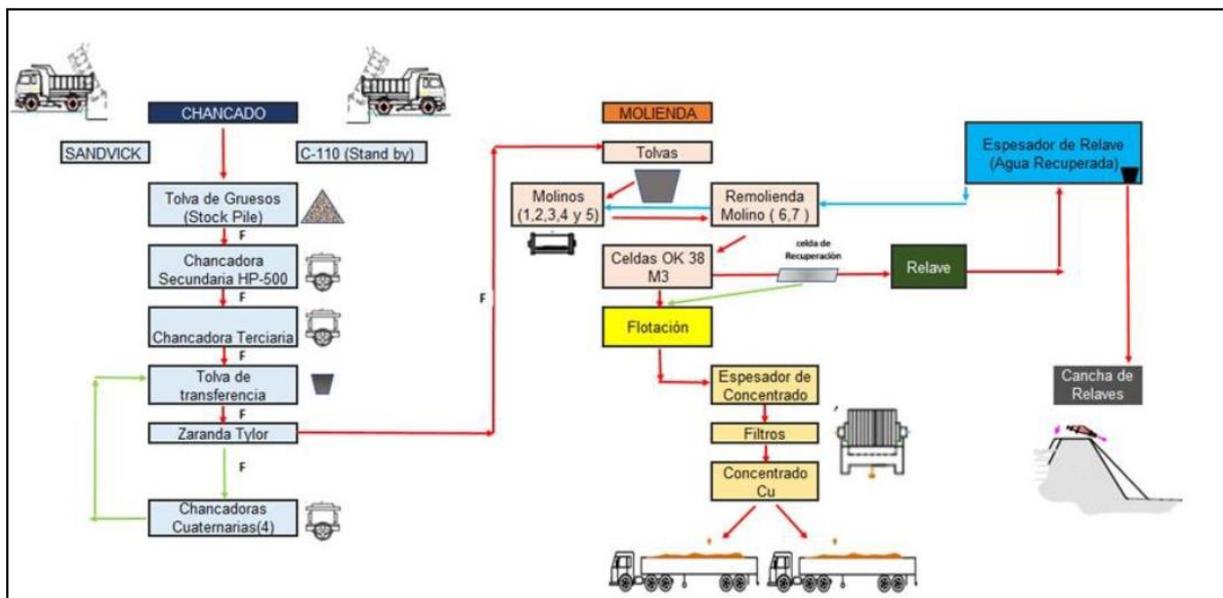
El material derivado a la planta de procesamiento de Condestable es procedente de las minas Raúl y Condestable. La planta de procesamiento Condestable utiliza circuitos de procesamiento convencionales para la producción de un concentrado de cobre que contiene oro y plata de los subproductos.

Los circuitos de tratamiento se componen de los siguientes procesos unitarios:

- Triturado (4 etapas)
- Molino de bolas de molienda
- Flotación-scavenger-limpiador Rougher
- Reafilado
- Espesante concentrado de cobre / filtración
- Engrosamiento de colas y el embalse

Figura 33

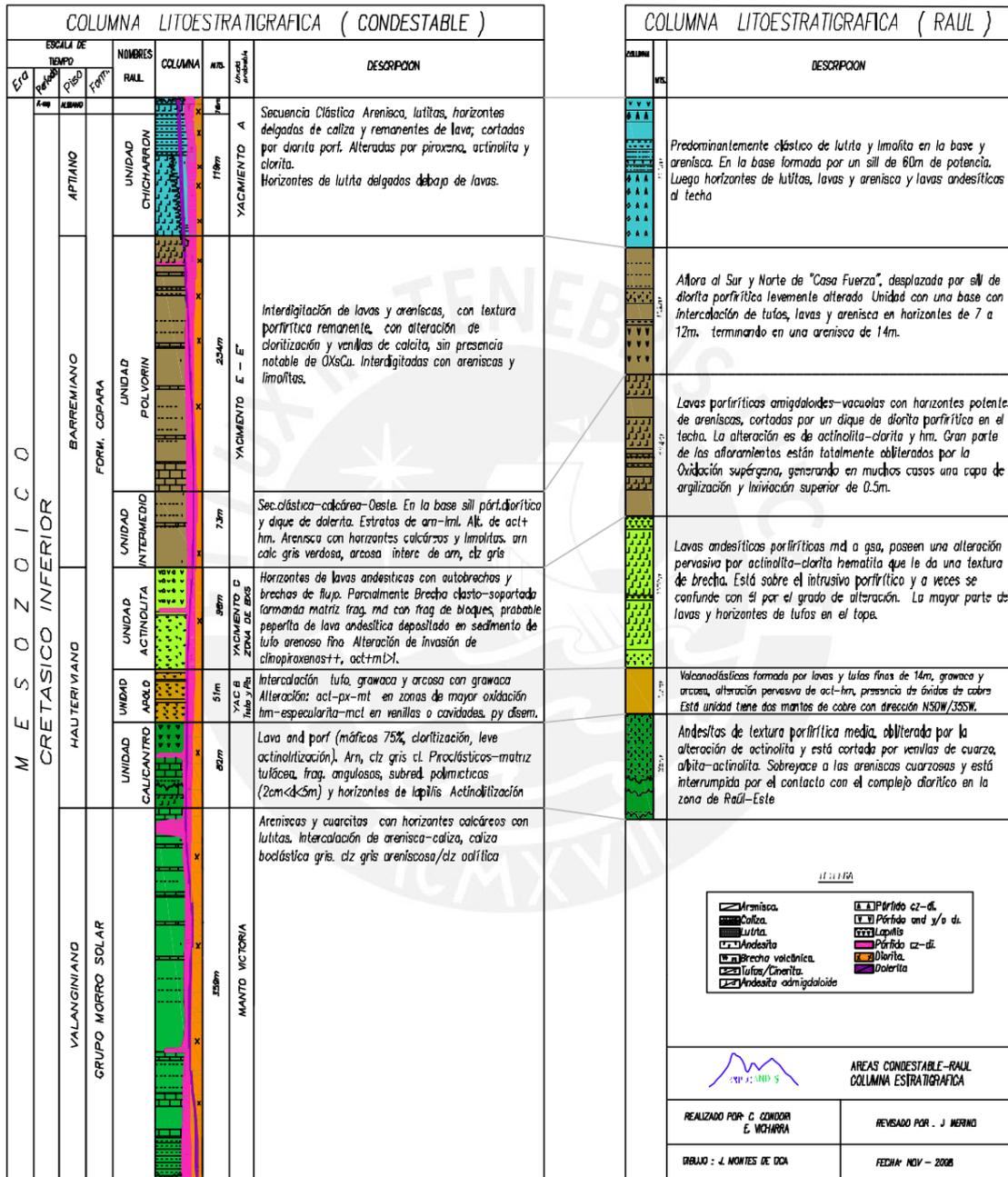
Diagrama de flujo planta de sulfuros



Fuente: Compañía Minera Condestable

ANEXO 01

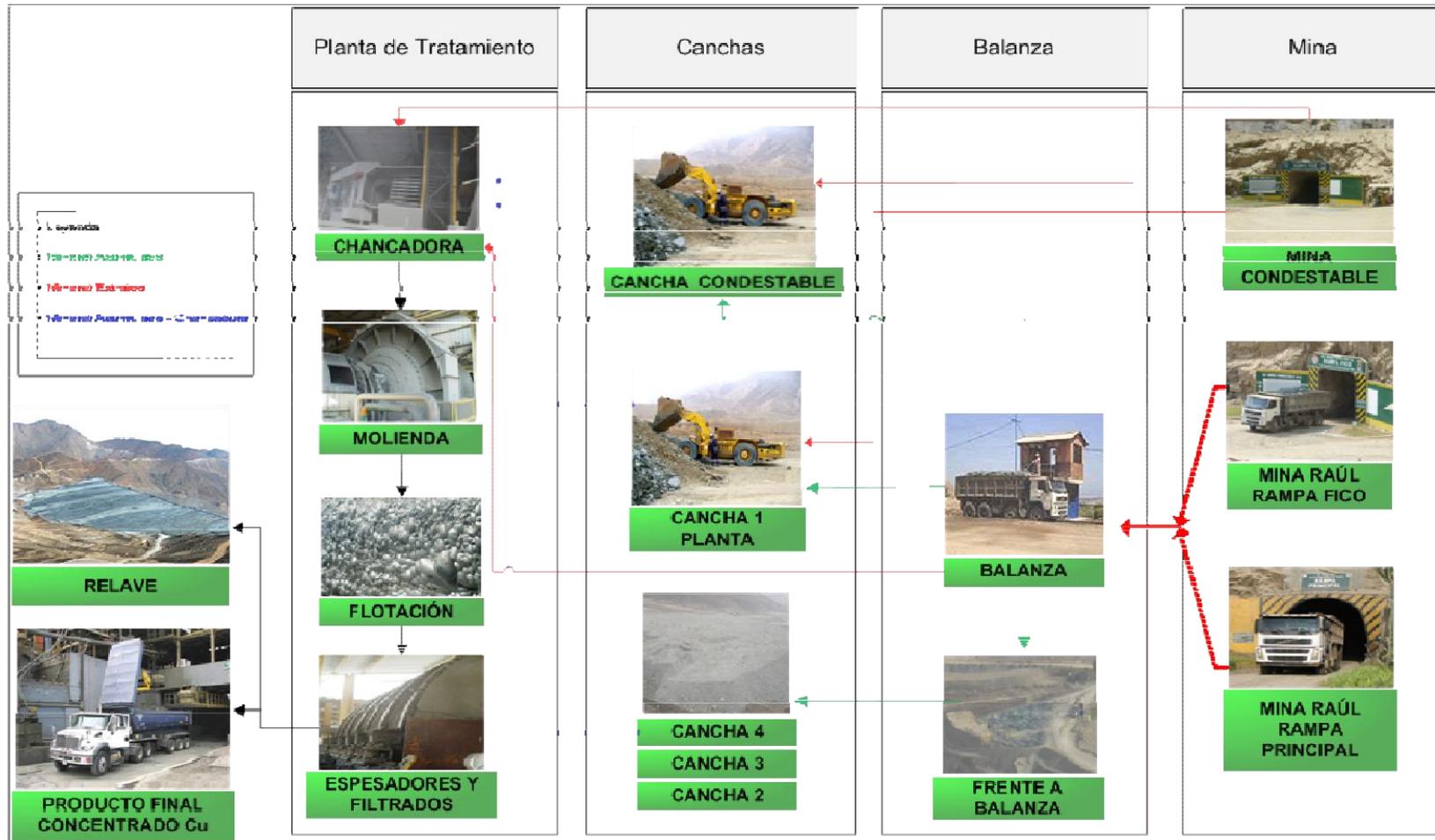
Rasgos Litoestratigráficos



Fuente: Compañía Minera Condestable

ANEXO 02

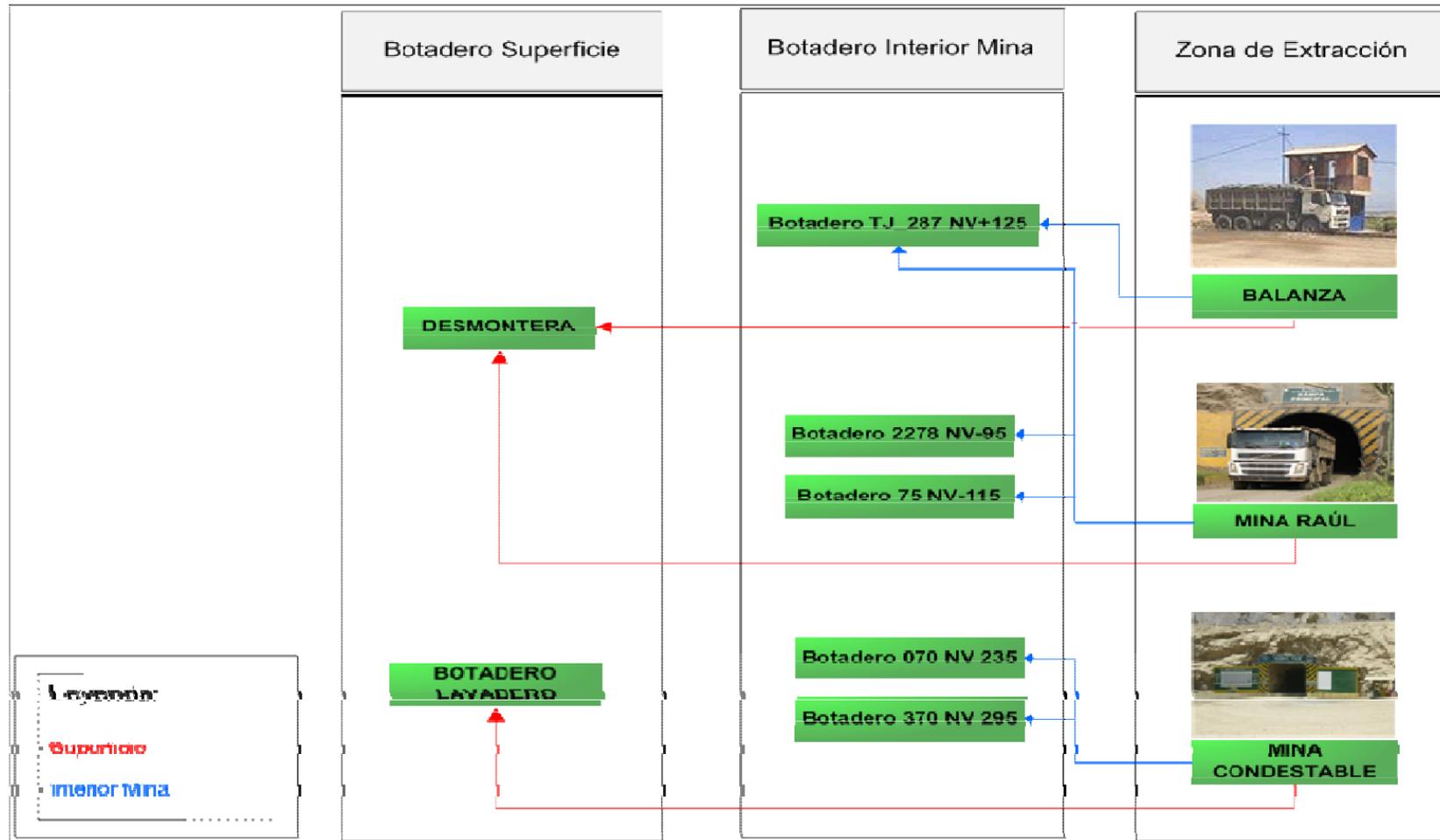
Diseño extracción mineral



Fuente: Compañía Minera Condestable

ANEXO 03

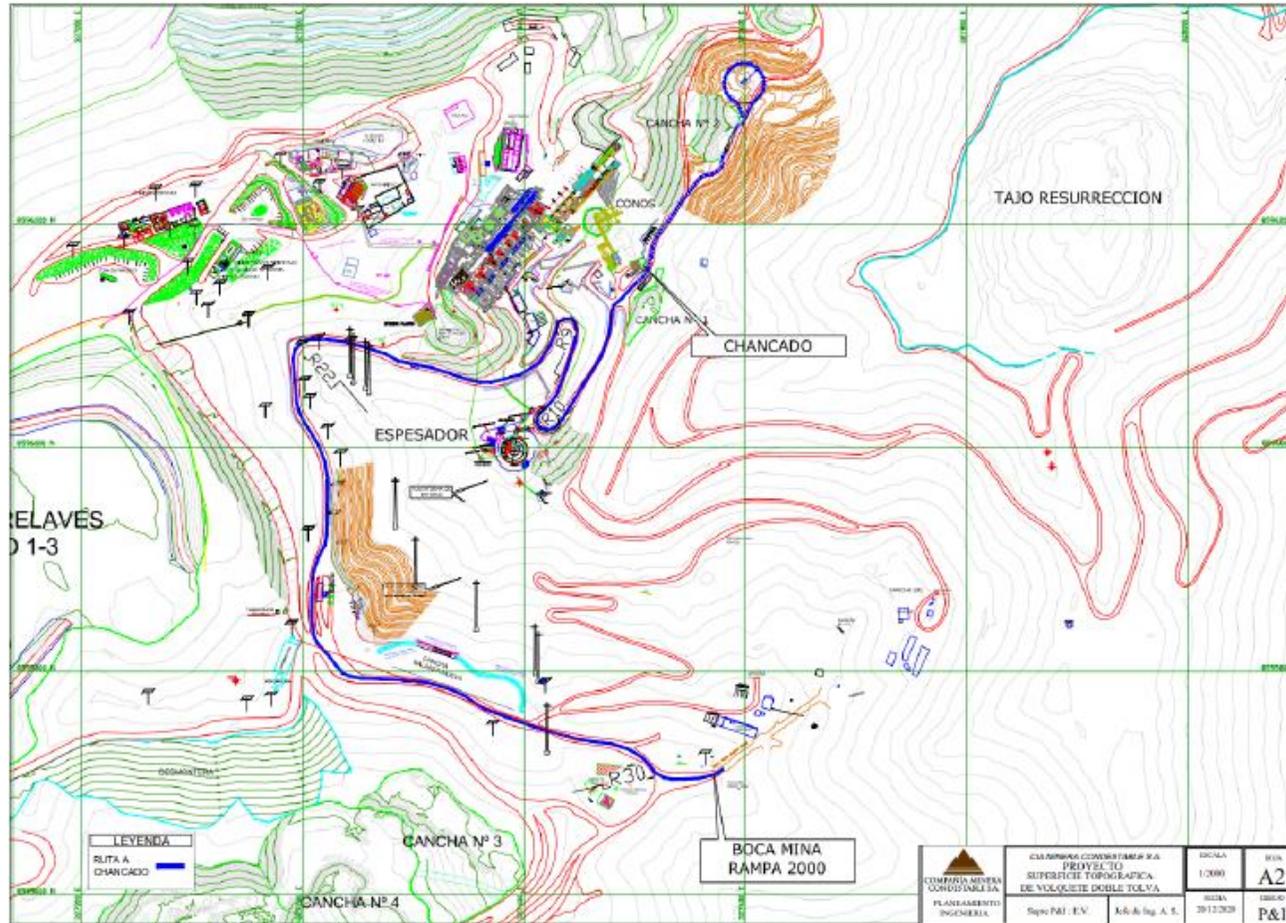
Diseño extracción desmonte



Fuente: Compañía Minera Condestable

ANEXO 04

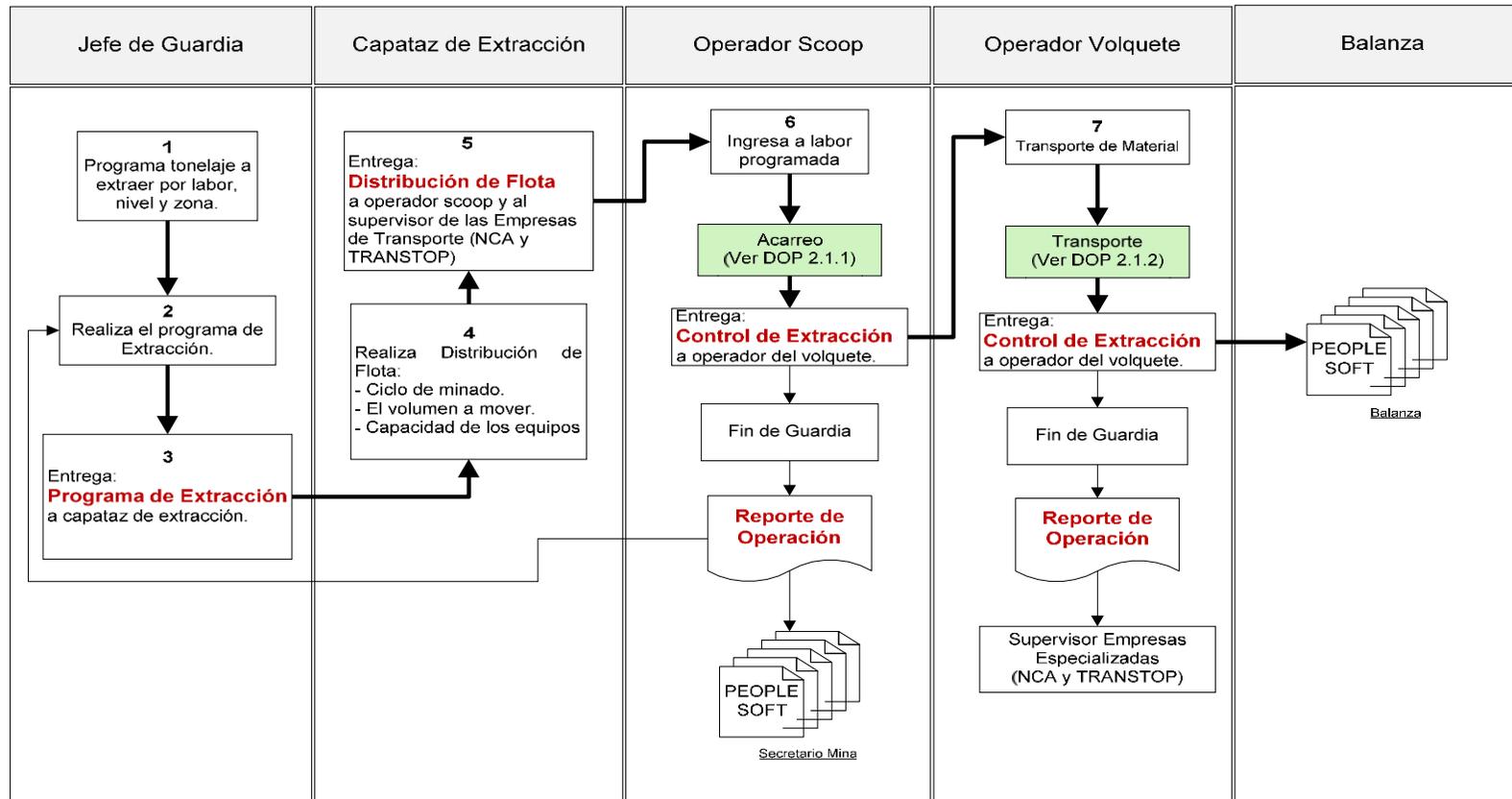
Ruta utilizada en superficie de bocamina a zona de chancado



Fuente: Compañía Minera Condestable

ANEXO 05

Extracción Mina: Proceso

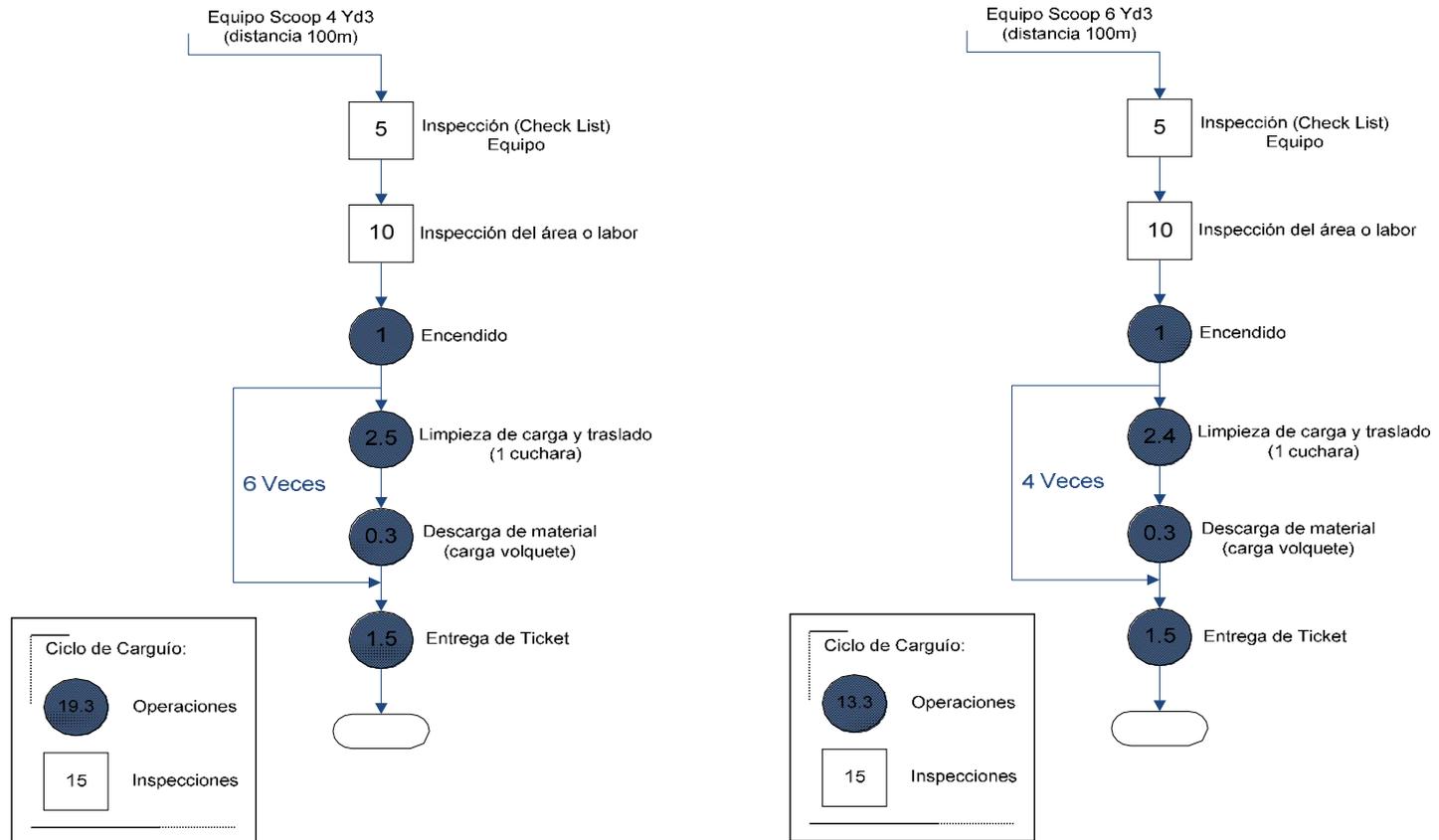


Formatos de llenado de Información

Fuente: Compañía Minera Condestable

ANEXO 06

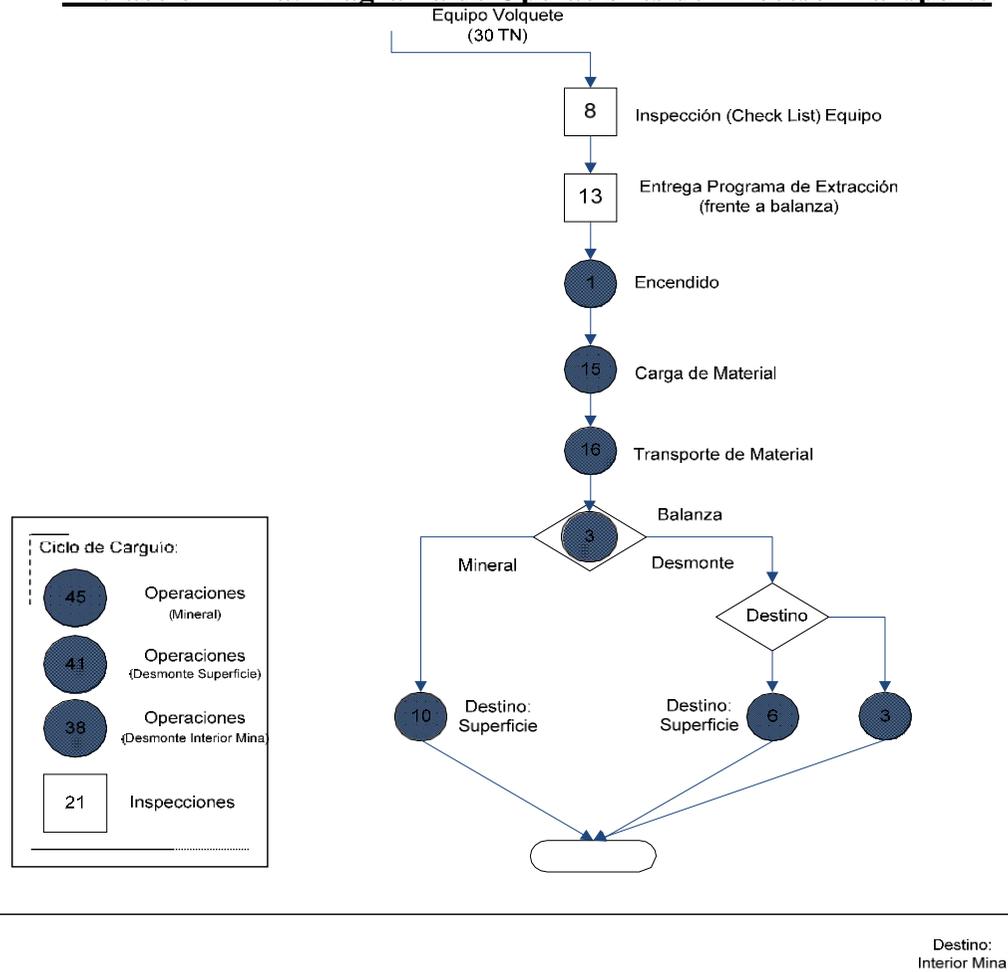
Extracción Mina: Diagrama de Operaciones del Proceso Acarreo



Fuente: Compañía Minera Condestable

ANEXO 07

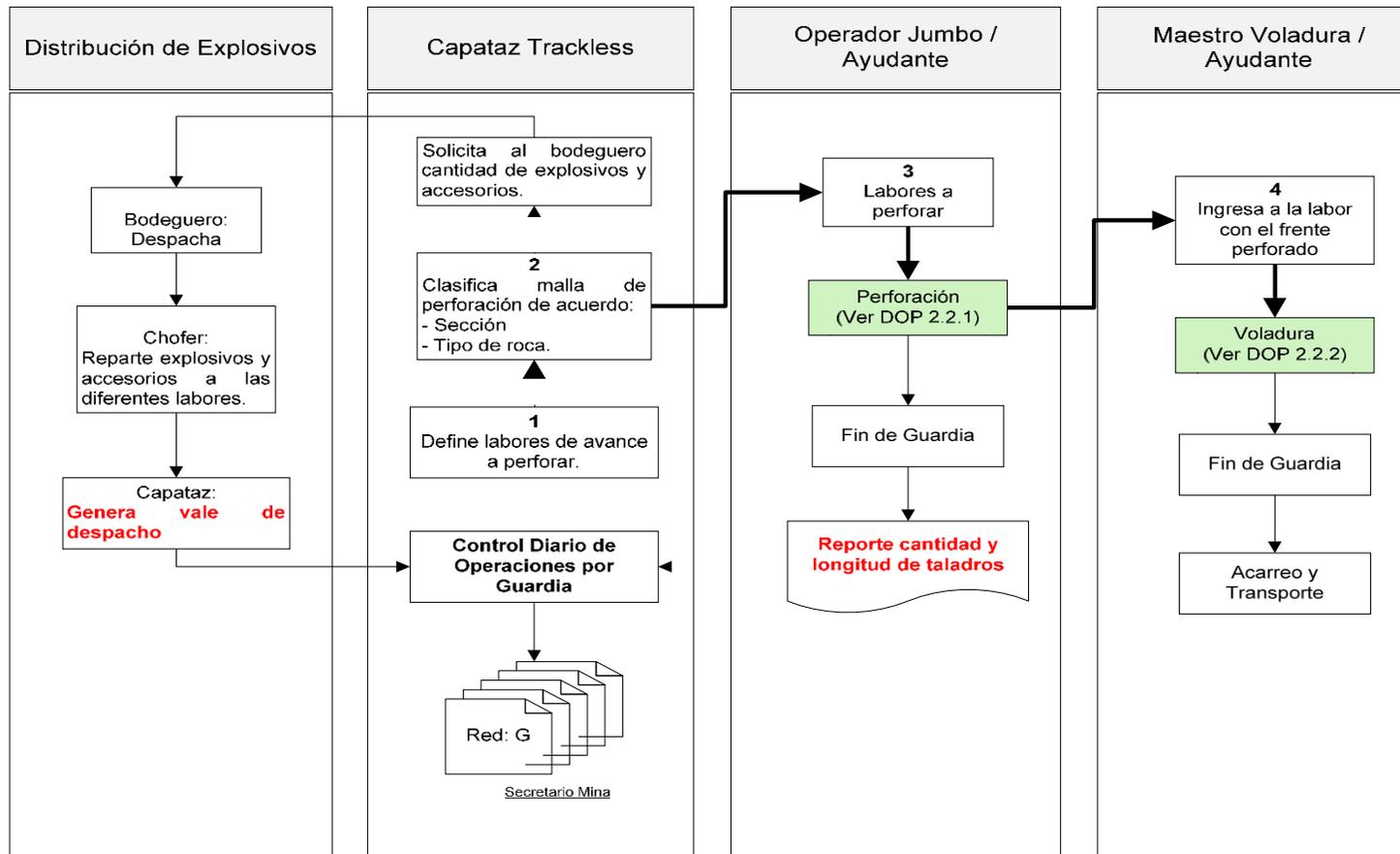
Extracción Mina: Diagrama de Operaciones del Proceso Transporte



Fuente: Compañía Minera Condestable

ANEXO 08

Proceso: Perforación y Voladura



Fuente: Compañía Minera Condestable

ANEXO 10

Elementos Básicos para el Estudio de Tiempos

Elementos Básicos para el Estudio de Tiempos	
Transporte - Volquetes	
TIEMPO PRODUCTIVO	<p>TIEMPO PRODUCTIVO NETO: El volquete recibe el material (mineral o desmonte) del scoop, lo transporta y descarga en la Chancadora o Botadero de Desmonte para retomar a ser cargado nuevamente y cumplir el ciclo de transporte.</p> <p>Cargulo Transporte a Balanza Transporte a Chancadora (desde balanza) Transporte a Cancha de Desmonte (desde balanza) Descarga Transporte a Cargador (Interior mina) Maniobra de Posicionamiento</p>
TIEMPO PRODUCTIVO	<p>DEMORAS OPERATIVAS: Tareas complementarias para el transporte del material</p> <p>Pesaje Revisión e Inspección del Equipo Traslado al Lavadero Lavado de Volquete Traslado a Grifo Cargulo de Combustible Inspección de Llantas Estacionamiento en Paradero</p>
TIEMPO IMPRODUCTIVO	<p>TIEMPO IMPRODUCTIVO: Son aquellas actividades cuando el volquete esta apagado o realiza tareas innecesarias.</p> <p>Almuerzo/Descanso Cola de volquetes Cambio de Guardia Entrega de Reportes Mala Coordinación de Extracción Espera de Scoop tiempo ocioso Reparación en Taller Traslado a taller Reparto de Guardia e Inducción de Seguridad</p>

Elementos Básicos para el Estudio de Tiempos	
Acarreo - Scooptram CMC	
TIEMPO PRODUCTIVO	<p>TIEMPO PRODUCTIVO NETO: Son aquellas actividades que estan relacionadas directamente al acarreo de material roto producto de la Voladura (ciclo de acarreo).</p> <p>Cargulo de volquete Acumulación de carga</p>
TIEMPO PRODUCTIVO	<p>DEMORAS OPERATIVAS: Son actividades complementarias necesarias para el acarreo del material</p> <p>Reparto de guardia Traslado personal a taller Nv_-20 / a superficie Checklist Traslado a labor Servicios (Mantenimiento de vías) Traslado de labor a labor Traslado de labor a comedor/comedor a labor Almuerzo y/o descanso Traslado labor a taller Nv_-20 Llenado de reporte Inspección de labor</p>
TIEMPO IMPRODUCTIVO	<p>TIEMPO IMPRODUCTIVO: Son aquellas actividades donde el scoop realiza tareas innecesarias que no sea el ciclo de acarreo</p> <p>Espera por volquete Espera por habilitación de labor Llantas bajas Mantenimiento (engrase) Lavado de equipo Espera cambio de turno</p>

Elaboración: Autor de la Tesis

ANEXO 12

Costo horario de Scooptram de 6.3 yd3 - R1600G CAT

Valor adquisición con llantas	624,000	US\$	Intereses (año)	9%
Valor Control Remoto	0	US\$	Seguros (%)	2.1%
Costo de adquisición	624,000	US\$	Impuestos	1.4%
Valor de rescate	0	0%	IMA Inversion Media Anual	\$ 416,000
Vida económica	15,000	Horas	3	Años
Horas mínimas	417	Horas		

Total de Días en promedio mensual	1095
Horas de trabajo (Hrs/día)	13.70
total de Horas en 3 años	15000

Combustible				
Tipo	Gal/hr	Costo		
Diesel D2	4	\$2.9	US \$/Gal	\$ 174,000

Costos de Propiedad		
	Depreciación	\$ 624,000
	Financieros (Intereses)	\$ 112,320
	Seguros, Impuestos	\$ 43,306
Sub Total Costos de Propiedad		\$ 779,626

Mantenimiento Preventivo				
Nivel	Costo	Frecuencia		
PM-1	\$144.2	62.5	Hrs	\$ 34,598.40
PM-2	\$405.5	125	Hrs	\$ 48,655.20
PM-3	\$871.5	500	Hrs	\$ 26,145.90
PM-4	\$496.7	1000	Hrs	\$ 7,449.75
PM-5	\$497.5	2000	Hrs	\$ 3,482.57
PM-5	\$0.0	4000	Hrs	\$ -
Sub Total Mantenimiento Preventivo				\$120,332

Costo Horario Mantenimiento Preventivo	\$8.0
---	--------------

Sub Total Rut	\$150.0	US \$/mes	\$5,400.0
---------------	---------	-----------	-----------

Mantenimiento Componentes Mayores				
Componente	Costo	Frecuencia		
Motor (Overha	\$35,000.00	16000	Hrs	\$ -
Motor (Parcial	\$16,000.00	6000	Hrs	\$ 32,000
Caja de Trans	\$10,000.00	5800	Hrs	\$ 20,000
Convertidor	\$7,000.00	5800	Hrs	\$ 14,000
Ejes Cardanic	\$3,900.00	2800	Hrs	\$ 19,500
Eje delantero	\$20,000.00	6000	Hrs	\$ 40,000
Eje posterior	\$20,000.00	6000	Hrs	\$ 40,000
Sist. Hidráulico	\$6,000.00	2600	Hrs	\$ 30,000
Sist. Eléctrico	\$5,000.00	2600	Hrs	\$ 25,000
Cuchara	\$12,000.00	2200	Hrs	\$ 72,000
Articulaciones	\$7,000.00	3800	Hrs	\$ 21,000
Llantas Del.	\$15,400.00	2000	Hrs	\$ 107,800
Llantas Pos.	\$15,400.00	2000	Hrs	\$ 107,800
Servicios MO	\$0.00	3%	%	\$ 18,720
Sub Total Componentes Mayores				\$ 547,820

Total US \$/mes	\$779,626
Costo Horario de Propiedad US \$/Hr	\$52

Total US \$/mes	\$673,551.8
Costo Horario de Mantenimiento US \$/Hr	\$44.9

Total US \$/mes	\$1,453,177
Costo Horario US \$/Hr	\$164.40

Fuente: Área de planeamiento-CMC

ANEXO 13

Costo horario del Volquete Volvo FMX

Valor adquisición con llantas	128,403	US\$	Intereses (año)	9%
Valor Tolva	17,200	US\$	Seguros (%)	2.1%
Costo de adquisición	145,603	US\$	Impuestos	1.4%
Valor de rescate	0	0%	IMA Inversion Media Anual	\$ 97,068.67
Vida económica	15,000	Horas	3	Años
Horas mínimas	417	Horas		

Total de Días en promedio mensual				1095
Horas de trabajo (Hrs/día)				13.70
total de Horas en 3 años				15000
Combustible				
Tipo		Gal/hr	Costo	
Diesel D2		3	\$2.9 US\$/Gal	\$ 69,600.00
Costos de Propiedad				
			Depreciación	\$ 145,603.00
			Financieros (Intereses)	\$ 26,208.54
			Seguros, Impuestos	\$ 10,104.85
Sub Total Costos de Propiedad				\$ 181,916.39
Mantenimiento Preventivo				
Nivel	Costo	Frecuencia		
PM-1	\$53.3	250	Hrs	\$ 3,195.60
PM-2	\$474.6	500	Hrs	\$ 14,237.40
PM-3	\$679.0	1000	Hrs	\$ 10,184.25
PM-4	\$0.0	2000	Hrs	\$ -
PM-5	\$0.0	4000	Hrs	\$ -
PM-6	\$0.0	8000	Hrs	\$ -
Sub Total Mantenimiento Preventivo				\$27,617.25
Costo Horario Mantenimiento Preventivo				\$1.8
Sub Total Rutinario				
	\$37.0	US\$/mes		\$1,332.0
Mantenimiento Componentes Mayores				
Componente	Costo	Frecuencia		
Motor (Overhaul)	\$20,000.00	16000	Hrs	\$ -
Motor (Parcial)	\$13,500.00	8000	Hrs	\$ 13,500.00
Compresor de Aire	\$2,100.00	6000	Hrs	\$ 4,200.00
Sist. de Enfriamiento	\$2,500.00	5100	Hrs	\$ 5,000.00
Caja de transmisión / Embrague	\$3,800.00	5500	Hrs	\$ 7,600.00
Eje delantero	\$3,000.00	4000	Hrs	\$ 9,000.00
Eje Central	\$5,000.00	6000	Hrs	\$ 10,000.00
Eje posterior	\$5,000.00	8000	Hrs	\$ 10,000.00
Frenos	\$3,500.00	2600	Hrs	\$ 17,500.00
Sist. de Suspensión	\$4,200.00	5500	Hrs	\$ 8,400.00
Sist. Hidráulico	\$3,000.00	5200	Hrs	\$ 6,000.00
Sist. Eléctrico	\$3,100.00	3200	Hrs	\$ 12,400.00
Ejes Cardánicos	\$2,000.00	3200	Hrs	\$ 8,000.00
Tolva	\$4,500.00	5500	Hrs	\$ 9,000.00
Chasis	\$2,200.00	4000	Hrs	\$ 8,600.00
Llantas Del.	\$1,450.00	2600	Hrs	\$ 7,250.00
Llantas Pos. 1	\$3,400.00	2200	Hrs	\$ 20,400.00
Llantas Pos. 2	\$3,400.00	2200	Hrs	\$ 20,400.00
Servicios MO (Terceros)	\$0.00	3%	%	\$ 4,368.09
Sub Total Componentes Mayores				\$ 179,618.09
Total US\$/mes				\$181,916.4
Costo Horario de Propiedad US\$/Hr				\$22.1
Total US\$/mes				\$208,567.3
Costo Horario de Mantenimiento US\$/Hr				\$23.9
Total US\$/mes				\$390,483.7
Costo Horario US\$/Hr				\$46.0

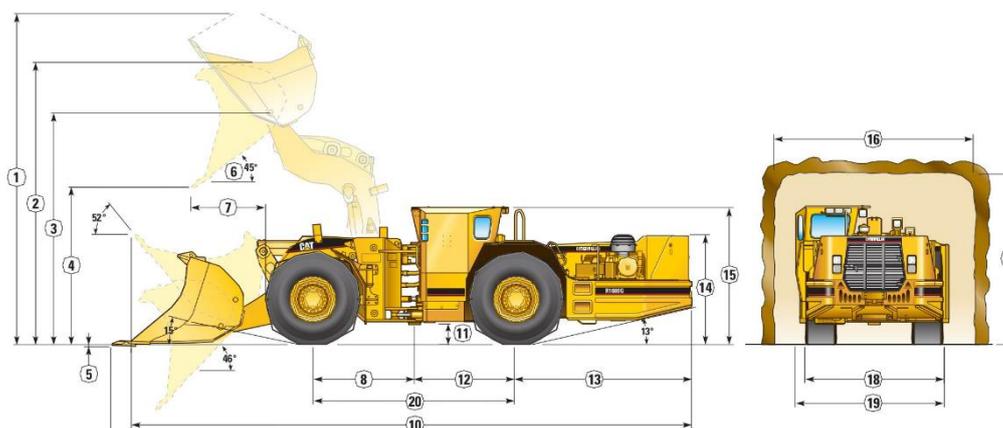
Fuente: Área de planeamiento-CMC

ANEXO 14

Ficha técnica del Scooptram de 6.3 yd³ - R1600G CAT

Dimensiones

Todas las dimensiones son aproximadas.



	227-4702*	203-1792* (Cucharón estándar)	227-4704	227-4703*	229-1676 Cucharón expulsor
Capacidad del cucharón	4,2 m ³ (5,5 yd ³)	4,8 m ³ (6,3 yd ³)	5,6 m ³ (7,3 yd ³)	5,9 m ³ (7,7 yd ³)	4,8 m ³ (6,3 yd ³)
Ancho de cucharón sobre la cuchilla	2.600 mm (8'6")	2.600 mm (8'6")	2.600 mm (8'6")	2.900 mm (9'6")	2.600 mm (8'6")
1 Altura total con el cucharón levantado	5.114 mm (16'9")	5.204 mm (17'1")	5.282 mm (17'4")	5.242 mm (17'2")	5.385 mm (17'8")
2 Máxima altura de descarga	4.497 mm (14'9")	4.497 mm (14'9")	4.497 mm (14'9")	4.497 mm (14'9")	4.565 mm (15')
3 Altura del pasador del cucharón a altura máxima de levantamiento	3.752 mm (12'3")	3.752 mm (12'3")	3.752 mm (12'3")	3.752 mm (12'3")	3.752 mm (12'3")
4 Espacio libre de descarga a altura máxima de levantamiento	2.311 mm (7'7")	2.207 mm (7'3")	2.042 mm (6'8")	2.114 mm (6'11")	2.120 mm (6'11")
5 Profundidad de excavación	28 mm (1")	39 mm (2")	54 mm (2")	45 mm (2")	47 mm (2")
6 Ángulo de descarga a altura máxima de levantamiento	45°	45°	45°	45°	45°
7 Alcance	1.304 mm (4'3")	1.408 mm (4'7")	1.573 mm (5'2")	1.504 mm (4'11")	1.495 mm (4'11")
8 Distancia de la línea de centro del eje delantero a la línea de centro del enganche	1.768 mm (5'7")	1.768 mm (5'7")	1.768 mm (5'7")	1.768 mm (5'7")	1.768 mm (5'7")
9 Longitud total (excavación)	9.955 mm (32'8")	10.107 mm (33'2")	10.347 mm (33'11")	10.243 mm (33'7")	10.233 mm (33'7")
10 Longitud total (empuje)	9.619 mm (31'1")	9.711 mm (31'10")	9.853 mm (32'4")	9.790 mm (32'1")	9.948 mm (32'8")
11 Espacio libre sobre el suelo	344 mm (1'6")	344 mm (1'6")	344 mm (1'6")	344 mm (1'6")	344 mm (1'6")
12 Distancia de la línea de centro del eje trasero a la línea de centro del enganche	1.768 mm (5'9")	1.768 mm (5'9")	1.768 mm (5'9")	1.768 mm (5'9")	1.768 mm (5'9")
13 Longitud desde el eje trasero hasta el parachoques	3.055 mm (10')	3.055 mm (10')	3.055 mm (10')	3.055 mm (10')	3.055 mm (10')
14 Altura hasta la parte superior del capó	1.895 mm (6'3")	1.895 mm (6'3")	1.895 mm (6'3")	1.895 mm (6'3")	1.895 mm (6'3")
15 Altura hasta la parte superior de la estructura ROPS	2.400 mm (7'11")	2.400 mm (7'11")	2.400 mm (7'11")	2.400 mm (7'11")	2.400 mm (7'11")
16 Ancho libre del túnel**	3.500 mm (11'6")	3.500 mm (11'6")	3.500 mm (11'6")	3.500 mm (11'6")	3.500 mm (11'6")
17 Altura libre del túnel**	3.000 mm (9'10")	3.000 mm (9'10")	3.000 mm (9'10")	3.000 mm (9'10")	3.000 mm (9'10")
18 Ancho total de los neumáticos	2.400 mm (7'11")	2.400 mm (7'11")	2.400 mm (7'11")	2.400 mm (7'11")	2.400 mm (7'11")
19 Ancho total, excluido el cucharón	2.564 mm (8'5")	2.564 mm (8'5")	2.564 mm (8'5")	2.564 mm (8'5")	2.564 mm (8'5")
20 Ancho total, incluido el cucharón	2.723 mm (8'11")	2.723 mm (8'11")	2.723 mm (8'11")	3.018 mm (9'11")	2.723 mm (8'11")
21 Distancia entre ejes	3.536 mm (11'7")	3.536 mm (11'7")	3.536 mm (11'7")	3.536 mm (11'7")	3.536 mm (11'7")

*Las dimensiones se muestran con cucharón para material de tamaño estándar. Los cucharones también están disponibles en versiones de alta penetración.

**Las dimensiones de espacio libre se usan sólo como referencia.

Fuente: (Caterpillar, 2011)

ANEXO 15

Ficha técnica del Volquete Volvo FMX 8x4 de 35 Tn



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 gerenciamiento 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 arrastre: 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

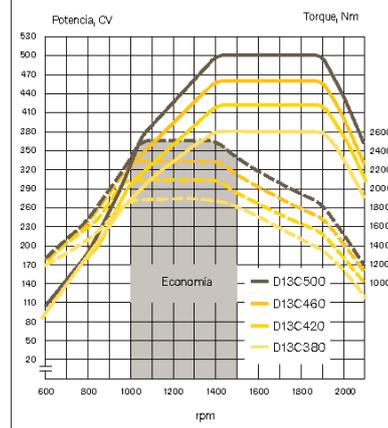
Material: Acero especial LNE60 de alta resistencia y bajo peso, con refuerzo interno.
Altura: 300 mm / Ala: 90 mm
Espesor + refuerzo: 9 + 5 mm
 Gancho delantero para remolque de 32 Ton.

NEUMÁTICOS Y LLANTAS

Neumáticos: 12R20
Llantas: Acero
Opcional: 315/80R22,5 - 325/95R24 - 295/80R22,5

D13C Potencia/Torque

Potencia según ISO 1585, Dir. 89/49/EEC, ECE Reg 85



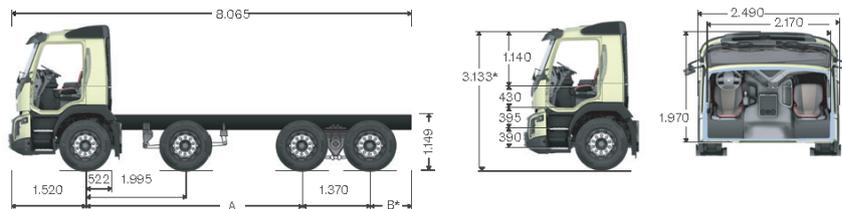
PESOS Y CAPACIDADES (Kg)

	Eje delantero	Eje trasero	Total
Capac. técnica	16.000 a 20.000	21.000 a 32.000	37.000 a 52.000
Límite legal	10.000	18.000	28.000
Peso del chasis*	7.133	3.772	10.905

* Pesos estimados con 100 lts de combustible, sin chofre y con rueda de auxilio. Llantas 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 restar 150 Kg.

MEDIDAS

Cabina FMX: Cabina extendida techo normal, con paragolpes 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: Voladizo trasero (en función del entre ejes)

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

Fuente: Tomada de Volvo FMX Camión para Construcción y Minería