

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
Facultad de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería  
Metalúrgica

Profesora Patrocinante  
Asieh Hekmat

# **“IMPACTO DE LA DISPONIBILIDAD EN EQUIPOS MINEROS DE CARGUÍO Y TRANSPORTE LIGADO A SUS MOTIVOS DE DETENCIÓN”**

**Francisca Natalia Tapia Soto**

**Informe de Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Civil de Minas**

Octubre 2018

## Resumen

La operación de carguío y transporte es la que tiene asociado un mayor porcentaje de costos, esto en parte se atribuye a su alto costo capital, y los diversos factores que elevan los costos operacionales, condiciones del equipo, condiciones climáticas, entre otros. La parada de una pala o un camión en la operación minera, resulta en un incremento en el costo operacional de la misma, debido al aumento de los costos adeudados por la pérdida de productividad y la inactividad de los equipos y operadores que coinciden.

Por este motivo, 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.

El estudio se realizó en una flota de 96 camiones Komatsu 930 y una flota de 15 palas de 3 capacidades distintas (34 yd<sup>3</sup>, 56 yd<sup>3</sup>, y 73 yd<sup>3</sup>); y se creó tres categorías para facilitar el estudio y poder ver las principales razones que afectan la disponibilidad del equipo debido a su inactividad. Estas categorías son: mantenencias, tiempos improductivos y fallas eléctricas/mecánicas. Además, dentro de estas tres categorías existen tres posibles estados en los que se pueden encontrar los equipos al no estar en funcionamiento normal, estos son: estado de detención, estado de reserva y estado no operativo.

Al realizar el análisis se determinó que las dos razones que aportan más horas a los tiempos inactivos de los equipos son, las mantenencias 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 mantenencias 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.

## Abstract

Loading and haulage is the mine operation with highest associated percentage of costs, this is partly attributed to its high capital cost, and the various factors that raise operating costs, equipment conditions, climatic conditions, among others. The stopping of a shovel or a truck in the mining operation, results in an increase in the operational cost of the same, due to the increase of the costs owed by the loss of productivity and the inactivity of the equipment and operators that coincide.

The objective of this work was to expose the impact of inactive hours in haulage and loading equipment of an open pit mine. This “Non Use” state of the equipment can be produce for various reasons. In order to quantify the impact of the inactive hours, the productivity and of the availability of the fleet and each machine was studied.

The study was conducted in a truck fleet of 96 Komatsu 930 and a fleet of 15 shovels with three different capacities (34 yd<sup>3</sup>, 56 yd<sup>3</sup> and 73 yd<sup>3</sup>). To facilitate the study and to see the main reasons of inactive time of the equipment three categories were created: maintenance, unproductive times and electrical / mechanical failures. In addition, within these three categories, machines that were studied had three possible condition: detention, reserve and non-operative state.

When performing the analysis, it was determined that the two reasons that contribute the most hours to the downtime of the equipment were the unplanned maintenance and the equipment without operators. In order to reduce these times measures were proposed, and their effect was studied. It was possible to prove that by reducing by 25% the total hours that the fleets spend on unplanned maintenance and without operator, the fleet availability improves, what in effect improves the production of the trucks up to 20% and the shovels 44%, also the achievement of this productions means that a better shovel-truck match was achieved, among other benefits.

## Agradecimientos

Mis agradecimientos a la Universidad de Concepción, específicamente al Departamento de Ingeniería Metalúrgica. Institución que me brindó conocimiento y oportunidades para lograr mi formación de manera íntegra; quiero agradecer en especial a los docentes, quienes a pesar de encontrarse con el desafío de estar impartiendo una carrera nueva fueron capaces de traspasar sus conocimientos de la mejor forma para crear profesionales, no tan sólo mineros, sino que con una mirada global de la industria, lo que a mi gusto nos dará la capacidad de ser “grandes de la industria minera”.

Quiero agradecer en particular a mi profesora guía en esta última etapa, Asieh Hekmat por su apoyo, por siempre recibirme en su oficina con buena cara y una mentalidad abierta a encontrar soluciones para cada problema que se nos fue presentando en el camino. También por ayudar a lograr mi experiencia internacional en Suecia, al crear los lazos con el Profesor Behzad, a quien también debo agradecer por hacer de mi experiencia en la LTU algo inolvidable, por ayudarme con ideas en momentos de que el trabajo parecía tedioso y monótono, por mostrarme otras realidades de los profesionales de la minería en diversas partes del mundo.

Finalmente, pero no menos importante a mi familia y amigos cercanos que fueron parte de este proceso universitario. Les agradezco por estar conmigo en las buenas y en malas experiencias, por siempre apoyarme, ayudarme a salir adelante y sobre todo por hacer que cada momento de sacrificio y estudio fuera menos terrible y porque no todo fue siempre estudio, les agradezco por los recuerdos de los carretes y paseos a todos esos lugares que espero nos sigan reuniendo en el futuro.

Una mención especial a mi madre, porque a pesar de los obstáculos de la vida, logro que siempre saliéramos adelante, más fuertes y listas para enfrentar lo que venga, por enseñarme a ver las derrotas o fracasos como oportunidades.

## Índice

1	Introducción .....	1
1.1	Motivación del tema .....	1
1.2	Propuesta de trabajo.....	2
1.2.1	Hipótesis.....	2
1.2.2	Metodología.....	3
1.3	Objetivos .....	3
1.3.1	Objetivos generales .....	3
1.3.2	Objetivos específicos .....	3
2	Antecedentes .....	4
2.1	Conceptos clave.....	4
2.2	Herramientas de análisis.....	5
2.3	Importancia de la mantención planificada en la industria .....	6
3	Desarrollo del trabajo .....	7
3.1	Programación de base de datos.....	7
3.2	Metodología aplicada y alcances del estudio .....	10
3.2.1	Descripción general.....	10
3.2.2	Alcances del estudio .....	11
3.2.3	Metodología de cálculo .....	12
4	Desarrollo y resultado de análisis por equipo .....	13
4.1	Análisis de datos de camiones .....	13
4.1.1	Impacto de la disponibilidad en la producción .....	13
4.1.2	Tiempos improductivos camiones .....	15

4.1.3	Tiempos de mantención .....	17
4.1.4	Tiempos de fallas .....	19
4.1.5	Posibles estados de los equipos durante <i>down time</i> .....	21
4.2	Análisis de datos de palas .....	22
4.2.1	Impacto de la disponibilidad en la producción .....	22
4.2.2	Tiempos improductivos .....	25
4.2.3	Tiempos de mantenciones.....	27
4.2.4	Tiempos fallas .....	28
4.2.5	Posibles estados de los equipos durante <i>down time</i> .....	31
5	Resultados y discusiones.....	32
5.1	Propuestas de medidas.....	32
5.1.1	Equipos sin operador .....	32
5.1.2	Mantención no planificada .....	33
5.2	Efecto de disminuir las horas de equipos sin operador .....	35
5.2.1	Efecto en camiones.....	35
5.2.2	Efecto en palas.....	36
5.3	Efecto de disminuir las horas de mantención no programada.....	37
5.3.1	Efecto en camiones.....	37
5.3.2	Efecto en palas.....	38
5.4	Discusión y alcances de los resultados.....	39
6	Conclusiones .....	41
7	Referencias.....	43
8	Anexos.....	44
	<b>ANEXO A:</b> Información para cálculos de camión.....	44
	<b>ANEXO B:</b> Ejemplos de cálculos .....	44

<b>ANEXO C:</b> .....	46
<b>ANEXO D:</b> Tabla horas detención y N° de registros por equipo .....	46
<b>ANEXO E:</b> Diagramas de Pareto .....	48
<b>ANEXO F:</b> Tablas con horas por estado .....	50



## Índice de figuras

Figura 1 Distribución de costos por proceso minero [1] .....	1
Figura 2 Costos ejemplares minería cielo abierto [2] .....	2
Figura 3 Iceberg de costos de mantención [8] .....	6
Figura 4 Diagrama con clasificaciones de trabajo para el estudio .....	8
Figura 5 Esquema metodología de trabajo.....	10
Figura 6 Variación en la producción al disminuir los tiempos inactivos de camiones .....	14
Figura 7 Equivalente de equipos no utilizados por tiempos inactivos de camiones.....	15
Figura 8 Diagrama de Pareto de tiempos improductivos.....	16
Figura 9 Relación de tiempo dedicado a cada tipo de mantención de camiones.....	18
Figura 10 Frecuencia de ocurrencia de fallas según su duración .....	19
Figura 11 Diagrama de Pareto con motivos de fallas de camiones.....	20
Figura 12 Distribución de estados por motivo de inactividad en camiones.....	21
Figura 13 Variación en la producción al disminuir los tiempos inactivos de palas .....	23
Figura 14 Equivalente de equipos no utilizados por tiempos inactivos de palas .....	24
Figura 15 Diagrama de Pareto de tiempos improductivos palas 34 yd <sup>3</sup> .....	26
Figura 16 Diagrama de Pareto de tiempos improductivos palas 56 yd <sup>3</sup> .....	26
Figura 17 Diagrama de Pareto de tiempos improductivos Palas 73 yd <sup>3</sup> .....	26
Figura 18 Relación de tiempo dedicado a cada tipo de mantención de palas .....	28
Figura 19 Diagrama de Pareto de fallas palas 34 yd <sup>3</sup> .....	29
Figura 20 Diagrama de Pareto de fallas palas 56 yd <sup>3</sup> .....	29
Figura 21 Diagrama de Pareto de fallas palas 73 yd <sup>3</sup> .....	30
Figura 22 Distribución de estados por motivo de inactividad en palas.....	31
Figura 23 Efecto en la producción de disminuir los tiempos de camiones sin operador.....	36
Figura 24 Efecto en la producción de disminuir los tiempos de palas Sin Operador .....	37
Figura 25 Efecto en la producción de disminuir el tiempo de mantención no programada en camiones .....	38
Figura 26 Efecto en la producción de disminuir el tiempo de mantención no programada en palas.....	39



## Índice De Tablas

Tabla 1 Razones de tiempos inactivos para camiones .....	8
Tabla 2 Razones de tiempos inactivos para palas .....	9
Tabla 3 Variación en la producción al disminuir los tiempos inactivos de camiones .....	13
Tabla 4 Equivalente de equipos no utilizados por tiempos inactivos de camiones .....	15
Tabla 5 Resumen información de tiempos Improductivos de camiones .....	16
Tabla 6 Resumen información de mantenciones de camiones.....	17
Tabla 7 N° de Registros y duración de fallas clasificadas por duración de camiones .....	19
Tabla 8 N° de registros y duración de fallas de camiones .....	20
Tabla 9 Información flota de carguío.....	22
Tabla 10 Variación en la producción al disminuir los tiempos inactivos de palas.....	22
Tabla 11 Equivalente de equipos no utilizados por tiempos inactivos de palas .....	24
Tabla 12 Resumen información de tiempos improductivos de palas .....	25
Tabla 13 Resumen información de mantenciones de palas.....	27
Tabla 14 N° de Registros y duración de fallas clasificadas por duración de palas .....	28
Tabla 15 N° de registros y duración de fallas de palas .....	30
Tabla 16 Efecto en la producción de disminuir los tiempos de camiones sin operador .....	35
Tabla 17 Efecto en la producción de disminuir los tiempos de palas Sin Operador .....	36
Tabla 18 Efecto en la producción al disminuir el tiempo de mantención no programada en camiones.....	37
Tabla 19 Efecto en la producción de disminuir el tiempo de mantención no programada en palas.....	38
Tabla 22 Mejor match de resultados pala- camión .....	40

# Índice De Ecuaciones

Ecuación (1): Disponibilidad .....12

Ecuación (2): Disponibilidad flota .....12

Ecuación (3): Tiempo de ciclo camiones.....12

Ecuación (4): Producción máxima .....12

Ecuación (5): Producción .....12



## Nomenclatura

C y T: carguío y transporte

P y T: perforación y tronadura

CP y CP: corto plazo y control de proceso

MP: mantención planificada

MNP: mantención planificada

HTF: total de horas estudiadas para la flota

DTF: tiempo inactivo de la flota

N°F: número de equipos en la flota

HT: tiempo estudiado para cada equipo

TCC: tiempo de ciclo de camión

DME: distancia media equivalente

VM: velocidad media

TCP: tiempo de ciclo de palas

Q: capacidad del equipo



# 1 Introducción

## 1.1 Motivación del tema

El carguío y transporte de mineral son de las operaciones principales de la minería, en donde los camiones y las palas mineras son los principales equipos que cumplen esta función. La operación de transporte es la que tiene asociado un mayor porcentaje de costos, esto en parte se atribuye a su alto costo capital, y los diversos factores que elevan los costos operacionales, como el precio del petróleo, condiciones del equipo, condiciones climáticas, entre otros.

En la Figura 1 se refleja los costos de las operaciones, en donde se aprecia que los costos de carguío y transporte superan el 60% de los costos totales de minería; además se ve que el costo del transporte es más del doble que el costo de cualquier otra de las operaciones [1].

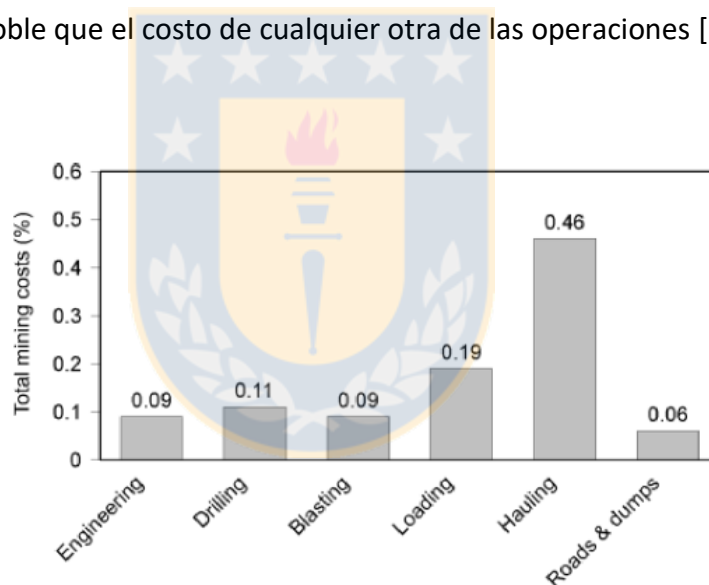


Figura 1 Distribución de costos por proceso minero [1]

Los factores que influyen en el rendimiento de los equipos se pueden clasificar en dos grupos principales, que son factores controlables e incontrolables. Los factores controlables como los aspectos de diseño, mantenimiento y factores operativos pueden modificarse para lograr un mayor rendimiento del camión. Mientras tanto, los factores incontrolables, como los factores ambientales y las condiciones geológicas, están fuera de control, pero para los cuales se pueden tomar medidas preventivas para ayudar a mitigar sus efectos. .

Para ayudar a dimensionar la magnitud de los costos, en la Figura 2 se observa los costos de superintendencia de una mina superficial de gran escala y en él se ve claramente que los costos más importantes de una mina recaen en el área de mantención, la cual tiene una estrecha relación con el área de carguío y transporte, la que ocupa el segundo lugar en gastos [2]. La buena administración de estos costos puede tener efectos millonarios en términos de costos para la operación y productividad.

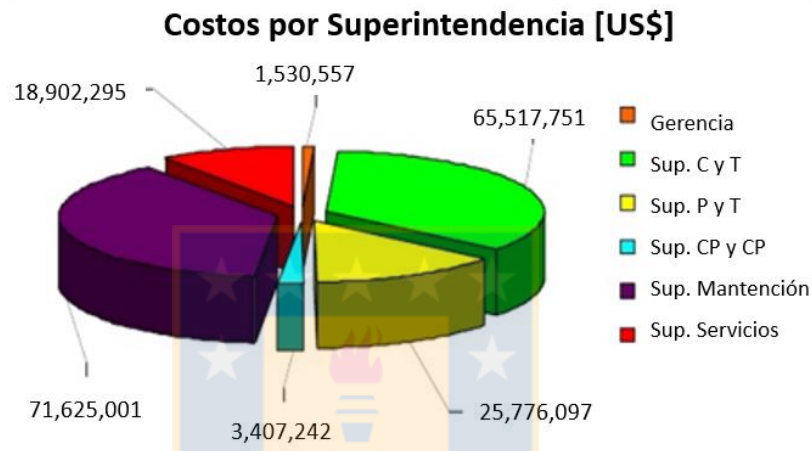


Figura 2 Costos ejemplares minería cielo abierto [2]

Donde, C y T: carguío y transporte, P y T: perforación y tronadura, CP y CP: corto plazo y control de proceso.

## 1.2 Propuesta de trabajo

### 1.2.1 Hipótesis

La parada de una pala o un camión en la operación minera, resulta en un incremento en el costo operacional de la misma, debido al aumento de los costos adeudados por la pérdida de productividad y la inactividad de los equipos y operadores que coinciden. Por lo tanto, se debe ejecutar un análisis detallado para la utilización y disponibilidad, ya que el mantenimiento adecuado es esencial para eliminar o mitigar el número de fallas y los tiempos de inactividad de los equipos, cuya eficaz administración, puede disminuir el tiempo de entrega y los costos de capital de operación.

## 1.2.2 Metodología

Este proyecto utilizó una base de datos con tiempos y causas de detención de equipos en una mina a cielo abierto de cobre de Chile, para el cual se estudió en detalle las palas y camiones de la operación. Así, se realizó los análisis gráficos y estadísticos con lo que se mostró la crítica necesidad de mejorar los tiempos inactivos de los equipos debidos a fallas, mantenciones no planificadas y tiempos improductivos.

Para abarcar este tema se realizó un análisis de problemas y soluciones que afectan los tiempos productivos de los camiones y palas, dando énfasis en las razones que producen los tiempos improductivos y el impacto que tiene estos tiempos en términos de disponibilidad y productividad de en los diversos equipos estudiados. El principal desafío fue encontrar medidas para solucionar las problemáticas asociadas a las razones de detenciones y fallas de los equipos, el uso y la estandarización de datos, con la cual se pudo detectar los puntos problemáticos para plantear mejoras.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivos generales

El objetivo principal de este trabajo es determinar los impactos que estos tiempos traen a la productividad en la faena y sus principales causas.

### 1.3.2 Objetivos específicos

1. Estudiar el impacto de la disponibilidad de los equipos en la producción.
2. Descubrir las principales razones para el tiempo de inactividad o “No Uso” de los equipos de carguío y transporte.
3. Proponer medidas para mejorar las principales causas de los tiempos inactivos de los equipos.
4. Mostrar el posible impacto de disminuir las horas de “No Uso” en términos de producción, disponibilidad de los equipos y disponibilidad de la flota.

## 2 Antecedentes

En esta sección se realizó una revisión de conceptos claves, terminologías, y nociones previas para ayudar a la comprensión del trabajo realizado.

### 2.1 Conceptos clave

- Falla: es el fin de la capacidad de un equipo para desempeñar la función requerida.
- Avería: es el estado de un equipo caracterizado por la incapacidad de desempeñar la función requerida en estado óptimo. Es el estado del equipo previo a la ocurrencia de una falla.

Los efectos de las fallas en las operaciones pueden ser medidos en términos de tiempos inactivos, pérdidas de materias primas, diferencias de volumen de producción, baja en el rendimiento producida por la disminución de velocidad de las maquinas; lo que en términos administrativos se traducen en pérdidas monetarias [3].

- Tiempos improductivos: deficiencias en la coordinación de las entradas y salidas de los turnos, esperas en palas o chancadores, esperas de materiales o herramientas para el mantenimiento.
- La mantención planificada (MP): se refiere al tipo de actividades que se realizan para anticiparse a las fallas, lo que la transforma en una combinación entre mantenimiento preventivo y predictivo.
- La mantención correctiva o no planificada (MNP): se refiere a la ejecución de actividades para reparar fallas electromecánicas o ajustar, modificar y/o reemplazar piezas y/o partes de un equipo para resolver una condición de operación deficiente y llevarlo a la condición de operación normal. Un programa de mantención correctiva, es una intervención que se requiere para eliminar la causa de una falla [4].

En la industria los índices de efectividad son clave, pues son utilizados para medir la efectividad de la mantención mediante la disponibilidad, confiabilidad y capacidad de mantenimiento. La

disponibilidad, puede ser medida en horas disponibles, las horas perdidas hacen referencia a cuando el equipo está apagado, parado por tormenta, u otros problemas.

- Disponibilidad: proporción de tiempo que un equipo es capaz de ser utilizado para su propósito.
- Disponibilidad de la flota: cantidad de equipos que están disponibles para cumplir su propósito.

La disponibilidad de la flota se ve directamente influenciada por el porcentaje de mantenimiento planeado, además el costo de mantención decrece no linealmente con el aumento de éste [5].

## 2.2 Herramientas de análisis

Las herramientas de análisis son utilizadas para reflejar datos y resultados obtenidos, por lo que a continuación se definen algunas de las utilizadas en este trabajo:

- Gráfico de barras: Representa una variable que se divide en categorías discretas, permitiendo visualizar fácilmente la distribución de las observaciones en las diferentes categorías [6].
- Gráficos de dispersión: Son utilizados con mucha frecuencia para análisis bivariados donde las observaciones están representadas simultáneamente en un punto como una coordenada en un plano cartesiano. Estos gráficos son útiles para explorar y describir la tendencia general de dos variables correlacionadas [6].
- Gráfico de sectores: También llamados gráficos de torta o ponqués. Estos gráficos muestran la contribución de cada una de las partes a un todo, siendo el tamaño de cada una de las fracciones proporcional a su frecuencia [6].
- Principio de Pareto: define que el 80% de los resultados provienen del 20% de los esfuerzos dedicados. Que el 20% de las causas provocan el 80% de las consecuencias. Que el 20% del esfuerzo genera el 80% de los resultados [7].



## 2.3 Importancia de la mantención planificada en la industria

La teoría tradicional, consideró al mantenimiento como un mal necesario, la principal preocupación de las direcciones industriales radicaba en disminuir los costos de mantenimiento, contribuyendo de esta manera a la deducción de costo general de la empresa. Pero puede verse que un mantenimiento inadecuado afecta a la totalidad del funcionamiento de la industria, toda vez que:

- Limita los volúmenes de producción.
- Puede ocasionar accidentes.
- El medio ambiente puede resultar dañado.
- Genera costos indirectos que superan largamente el costo tradicional de mantenimiento, tales como alquileres de equipos, contratación de servicios de reparaciones, etc.

Cuando se registran los “Costos de Mantenimiento”, se consideran costos de mano de obra propia y contratada, materiales y servicios de terceros. Pero no tienen en cuenta, los costos indirectos como las pérdidas de producción, pérdidas por no cumplimiento de plazos de entrega, multas, cese de contratos, costos de accidentes y mayores primas de seguro, entre otros. Lo descrito anteriormente se refleja en la Figura 3 [8].



Figura 3 Iceberg de costos de mantención [8]

## 3 Desarrollo del trabajo

### 3.1 Programación de base de datos

Este Proyecto se realizó a partir de una base de datos, con datos correspondientes a un mes de operación a cielo abierto en una empresa de la gran minería chilena. Su contenido especifica las detenciones de los equipos, detallando cada evento ocurrido en cada equipo con la siguiente información:

- La fecha de inicio y término.
- La duración.
- El código de la detención.
- La descripción de la detención
- El estado del equipo (no operativo, detención, o reserva).

La base de datos debió ser revisada y corregida, además de estandarizar algunas descripciones, esto debido a que contenía varios errores que dificultaban su análisis.

En un comienzo la base obtenida contenía todos los equipos que trabajan en la mina, para este estudio solo se trabajó con la información de palas y camiones. Por lo tanto, solo se consideró una flota de 96 camiones de extracción de una misma marca y capacidad y un total de 16 palas de diversas capacidades y marcas que se especifican posteriormente.

Luego, se realizó un análisis general de los tiempos de “No Uso” o inactividad de los equipos por diversos motivos, este análisis fue llevado a cabo mediante estadísticas y herramientas de análisis gráfico. Posteriormente se hizo un estudio más detallado sobre las causas de los tiempos de inactividad de los equipos, para así poder analizar el impacto que trae disminuir los tiempos. Se estudió la Disponibilidad de cada equipo y la Disponibilidad de la flota y cómo estos factores pueden afectar la producción teórica.

Además, debido a la gran cantidad de causas para los tiempos inactivos de los equipos, se creó clasificaciones más amplias para poder analizarlas de forma más precisa. El esquema de organización que fue utilizado se ilustra en la Figura 4.

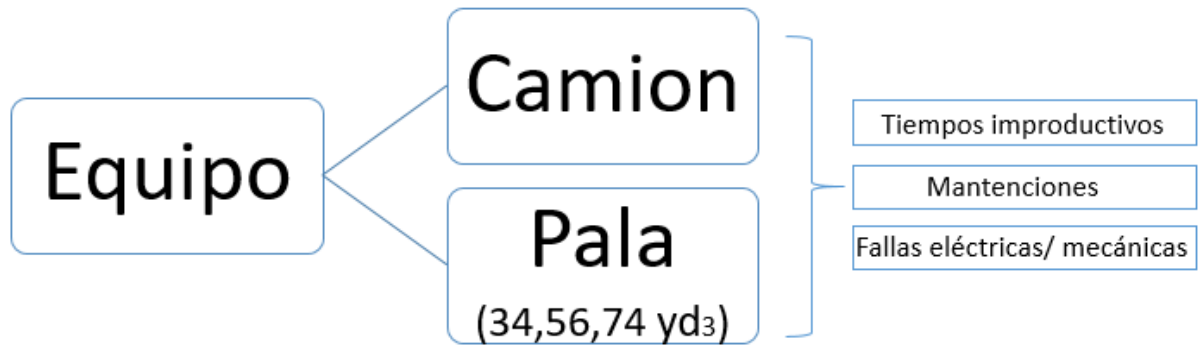


Figura 4 Diagrama con clasificaciones de trabajo para el estudio

Para el estudio de las razones de los tiempos inactivos se agrupó según cada equipo las causas dentro de las tres clasificaciones desplegadas en la Figura 4. Estas se muestran en la Tabla 1 para los camiones y Tabla 2 para las palas respectivamente.

Tabla 1 Razones de tiempos inactivos para camiones

Tiempos improductivos	Mantenciones	Falla eléctrica/mecánica
Camión en no uso	Mantenimiento no programada taller	Barra o cilindro de dirección
Carga eléctrica/combustible	Mantenimiento no programada terreno	Cabina/aire acondicionado
Condiciones climáticas	Mantenimiento programada	Motor diésel
Esperas acomodo/traslado		Sistema contraincendios
Esperas servicios		Temperatura motor
Incidente o falla operacional		
Ingeniería/chequeos		
No disponible		
Otras no programadas		
Pista obstruida		
Sin operador		
Tronadura		

Tabla 2 Razones de tiempos inactivos para palas

Tiempos improductivos	Mantenciones	Falla eléctrica/mecánica
Carga eléctrica/combustible	Espera mantención no programada terreno	Cabina/aire acondicionado
Esperas acomodo/traslado	Mantención no programada taller	Cable quemado por falla operacional
Ingeniería/chequeos	Mantención no programada terreno	Eléctrica de alta tensión
No disponible		Eléctrica en terreno
Otras no programadas		Motor diésel
Pala en no uso		Secuencia de partida
Pista obstruida		
Sin operador		
Traslado de pala		
Tronadura		

Debido a la gran cantidad de categorías que existían en un comienzo algunas fueron agrupadas por lo que se explican a continuación.

1. Para la categoría de tiempos improductivos:
  - a. Camión o pala en no uso y se encuentran situaciones referentes a cuando el camión esta mecánicamente disponible, pero no es utilizado.
  - b. Esperas, acomodo/traslado: está el traslado de palas o algún equipo auxiliar que obligue al camión a esperar.
  - c. Espera de servicios: alude a tiempos que el camión pasa en fila o en espera de algún profesional para servicios como relleno de petróleo o aceite.
  - d. Ingeniería/chequeos: considera los tiempos en que algún profesional se encuentra realizando revisión o entregando instrucciones sobre de alguna parte del equipo.
  - e. Pista obstruida: cuando existe algún problema de ruta, ya sea algún objeto u otro.
  
2. En la categoría de fallas eléctrica/mecánica encontramos:
  - a. Cabina/aire acondicionado: esta razón incluye cualquier componente de la cabina que falle, desde una luz hasta la radio.
  - b. Motor diésel: incluye todo tipo de fallas relacionadas al motor, ya sea alguna manguera, falta de aceite, u otra a excepción de la temperatura la cual fue evaluada de forma aparte.

## 3.2 Metodología aplicada y alcances del estudio

### 3.2.1 Descripción general

La Figura 5 a describe el esquema general de los procesos llevados a cabo, el cual es explicado detalladamente a continuación.

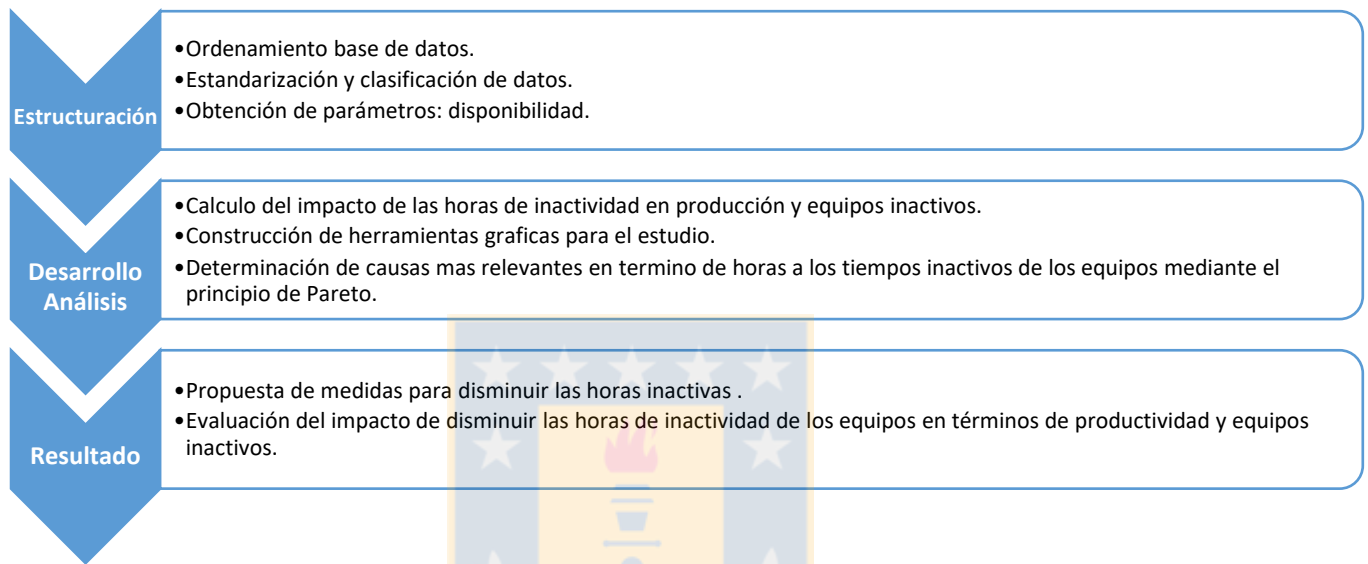


Figura 5 Esquema metodología de trabajo

En primer lugar se ordenó, y estandarizó la base de datos trabajada, con la que a continuación, se realizó un estudio del impacto del tiempo inactivo de los equipos sobre su disponibilidad y utilización. Para poder analizar estos factores en los diversos equipos y de diversas capacidades se analizó cómo impactan la productividad en  $m^3/mes$ .

Luego, se realizaron gráficos y diagramas basados en las horas de detención de los equipos, ya fuera en alguno de sus tres posibles estados: detención, no funcionando, o en estado de reserva; con el fin de poder visualizar el impacto que estos tiempos producen en los equipos y cómo pueden llegar a afectar la producción. Posteriormente se estudió las razones que contribuían mayoritariamente a estos estados.

Posteriormente para poder reflejar mejor las razones de los tiempos de detención, se aplicó el principio creado por Pareto (2009, [7]), como una herramienta que permite separar los problemas relevantes de aquellos que no tienen mayor importancia. En este caso se utilizó este principio para analizar los mayores contribuyentes a la cantidad de registros y los tiempos de detenciones de los equipos. Se realizó un análisis general, además de cada categoría por separado, para ver los mayores contribuyentes por áreas.

Posterior a haber obtenido las causas que mayor impacto en la inactividad de los equipos tiene, se proponen medidas para disminuir las horas de estos, se realizó un estudio del impacto en términos de productividad y disponibilidad de equipos de disminuir las horas inactivas de las causas determinadas.

Debido a la cantidad de variables que pueden afectar la producción de un equipo y para poder simplificar el propósito del estudio y demostrar el efecto de los tiempos improductivos de los equipos se tomó algunos supuestos al realizar los cálculos. Descritos a continuación.

### 3.2.2 Alcances del estudio

Se consideraron los siguientes supuestos para el estudio:

- Para estudiar el impacto de las horas de inactividad de los equipos, se tomó en cuenta situaciones ideales de producción, en donde solo se consideró el efecto de % de disponibilidad de la flota y el % de disponibilidad de los equipos.
- Se realizaron los cálculos en base a un mes de información de tiempos inactivos, motivos y estados de los equipos.
- No se consideró la densidad del mineral, factores climáticos, u otros específicos de la operación. Solo se estudia la productividad en términos de volumen.
- Para el cálculo de tiempo de ciclo se considera una distancia media equivalente de 12 km considerando la distancia mínima, máxima y pendientes de la mina, basado en trabajos anteriores de la misma mina [2]. No se consideran las condiciones del camión.

- Se realizó los cálculos de disponibilidad de equipos y flota basada en las horas trabajadas y detenidas de los equipos.

### 3.2.3 Metodología de cálculo

Se calcula la disponibilidad de los equipos como:

$$\text{Disponibilidad}(\text{Disp}\%) = \frac{(\text{HTF} - \text{DTF})}{\text{HTF}} \times 100\% \quad (1)$$

Donde, HTF es total de horas en el periodo estudiado para la flota, DTF es el tiempo inactivo (*Down time*) de la flota en horas [9].

Se calcula el porcentaje de disponibilidad de la flota como:

$$\text{Disponibilidad flota (F. Disp}\%) = \frac{\text{Redondear}((N^{\circ}F - \frac{\text{DTF}}{\text{HT}}); 0)}{N^{\circ}F} \times 100\% \quad (2)$$

Donde, N°F es el número de equipos en la flota y HT es el tiempo estudiado para cada equipo.

Se calcula el tiempo de ciclo de camiones (TCC), como:

$$\text{Tiempo de ciclo camiones (TCC)}(\text{hr}) = \frac{\text{DME}}{\text{VM}} \quad (3)$$

Donde DME es la Distancia media equivalente en km y VM es la velocidad media de los equipos en km/hr.

Para las palas, el tiempo de ciclo de palas (TCP), se obtuvo por catálogo de cada equipo.

Se calcula la Producción máxima de la flota como:

$$\text{Producción maxima (Prod. Max)} (m^3/\text{mes}) = \frac{Q}{\text{TC}} \times 24 \times 31 \times N^{\circ}F \quad (4)$$

Donde Q es la capacidad del equipo en m<sup>3</sup> [10].

Se calculó la Producción de la flota como:

$$\text{Producción (Prod)} (m^3/\text{mes}) = \text{Prod. Max} \times \text{F. Disp}\% \times \text{Disp}\% \quad (5)$$

## 4 Desarrollo y resultado de análisis por equipo

En base a la metodología planteada en la Sección 3.2 se realizó un análisis para determinar las causas más relevantes de tiempos de inactividad en cada flota.

### 4.1 Análisis de datos de camiones

Para contextualizar se describe la flota estudiada la cual está compuesta 96 camiones Komatsu 930. Esta flota fue adquirida a lo largo de varios años, por lo que existen pequeñas variaciones de los modelos entre un año y otro, pero como no se considerara la densidad del material, se consideró una capacidad media de la flota de 190 m<sup>3</sup>.

#### 4.1.1 Impacto de la disponibilidad en la producción

Para el cálculo de producción se utilizó un tiempo de ciclo fijo, dado por la fórmula establecida en la Ecuación (5) y se fue variando la disponibilidad de la flota y de cada equipo, detallado en el Anexo B.

Tabla 3 Variación en la producción al disminuir los tiempos inactivos de camiones

<b>Dism. Tiempo Inactivo</b>	<b>Horas Inactivas</b>	<b>Disponibilidad Equipo</b>	<b>Disponibilidad Flota</b>	<b>Producción (m<sup>3</sup>/mes)</b>	<b>% Aumento Producción</b>
0%	27,200	62%	61%	12,910,183	0%
5%	25,840	64%	64%	13,758,296	7%
7.5%	25,160	65%	65%	14,192,446	10%
10%	24,480	66%	66%	14,633,325	13%
12.5%	23,800	67%	67%	15,080,933	17%
15%	23,120	68%	68%	15,535,271	20%
25%	20,400	71%	72%	17,419,913	35%

En la Tabla 3 se resumió la información obtenida, que muestra que el efecto de disminuir las horas de inactividad de los camiones, afecta la disponibilidad de los equipos y de la flota; y además, el efecto de ésta en la producción. Estos datos son mostrados gráficamente en la Figura 6.



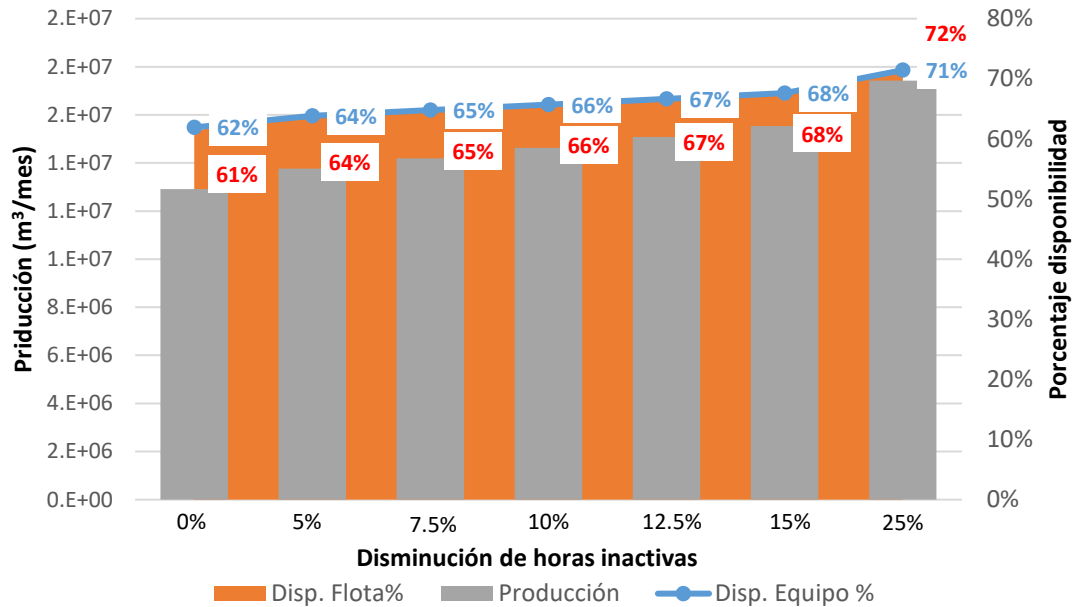


Figura 6 Variación en la producción al disminuir los tiempos inactivos de camiones

La Figura 6 refleja como al disminuir los tiempos inactivos de los equipos, aumentan considerablemente las horas disponibles de cada equipo y la cantidad de equipos disponibles para trabajar; se puede apreciar como al disminuir en un 25% la cantidad de horas inactivas se logra aumentar la disponibilidad de la flota más de un 10%. Así se puede observar el positivo efecto que esto trae en millones de m<sup>3</sup>/ mes en la productividad.

Por lo anterior, es que se propuso encontrar algunas medidas de fácil implementación para poder disminuir las horas de “No Uso” de los equipos y así llevar a cabo esta mejora en la producción. Por este motivo es que se llevó a cabo un análisis de Pareto para descubrir las principales razones contribuyentes a los tiempos inactivos.

Previo a comenzar el análisis detallado, se muestra el impacto de estos tiempos de inactividad por cada categoría en la disponibilidad de la flota. Es decir, cuántos equipos de la flota no se están ocupando mensualmente por las categorías definidas. Datos que se reflejan en la Tabla 4 con las horas de detención por cada categoría, porcentaje de equipos equivalente en “No Uso” de la flota total de 96 camiones Komatsu 930.

Tabla 4 Equivalente de equipos no utilizados mensualmente por tiempos inactivos de camiones

	Horas Detenidas	Equivalente Equipos
Fallas Eléctricas/Mecánicas	13,498	18
Mantenciones	10,639	15
Tiempos Improductivos	3,063	4
<b>Total equipos detenidos</b>	<b>27,200</b>	<b>37</b>

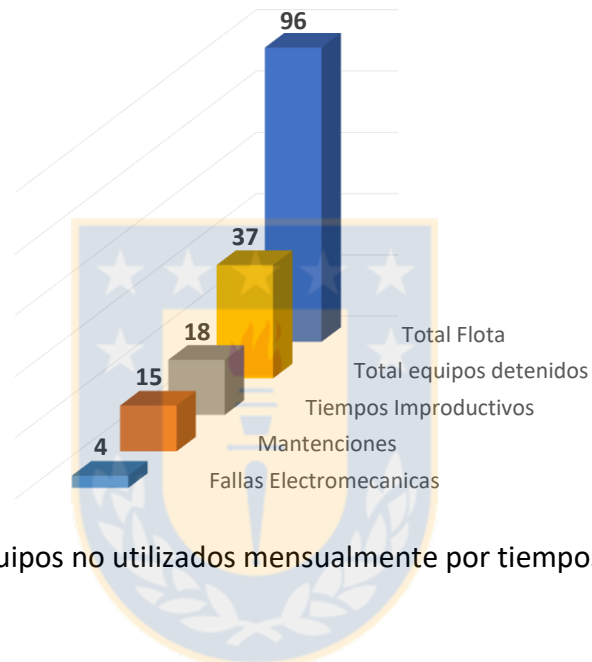


Figura 7 Equivalente de equipos no utilizados mensualmente por tiempos inactivos de camiones

La Figura 7 refleja la cantidad de equipos que no pueden ser utilizados dentro del tiempo estudiado, debido a las horas inactivas. Esto muestra como aproximadamente un tercio de la flota no estuvo disponible, afectando notablemente la productividad.

#### 4.1.2 Tiempos improductivos camiones

Una de las tres categorías establecida en la Figura 4 fueron los Tiempos Improductivos, por lo que, en base a las razones establecidas en la Tabla 1, se contabiliza la cantidad de registros, duración de estos y equivalente de equipos que no están disponibles, para cada una de ellas. Esta información se resume en la Tabla 5.

Tabla 5 Resumen información de tiempos Improductivos de camiones

Clasificación	N° Registros	Duración en horas	Equipos equivalentes
Sin operador	12,417	8,603	12
Camión en no uso	4,624	1,338	2
Carga eléctrica/combustible	2,458	785	1
Pista obstruida	1,406	133	0.2
Otras no programadas	570	137	0.2
Ingeniería/chequeos	518	247	0.1
Esperas servicios	448	1,829	2
Esperas acomodo/traslado	191	26	0
Tronadura	117	30	0
Incidente o falla operacional	54	368	0.5
No disponible	18	1,338	0
Condiciones climáticas	7	0.3	0
<b>Total</b>	<b>22,828</b>	<b>14,834.3</b>	<b>18</b>

De la Tabla 5, se destaca que en un periodo de un mes la cantidad de horas que pasan inactivos los equipos, es equivalente a que 18 equipos de la flota de 96 camiones no funcionaran en el mes, por lo que la flota se ve disminuida a un máximo disponible de 78 camiones.

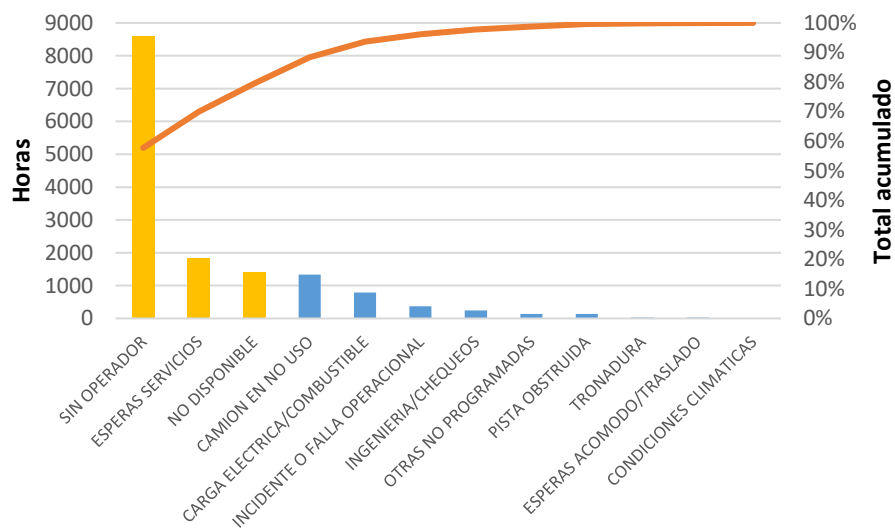


Figura 8 Diagrama de Pareto de tiempos improductivos

Se realizó un diagrama de Pareto, en el que se establece las causas que más contribuyen a esta categoría. Este se ilustró en la Figura 8, y nos permitio observar que el motivo que aporta mas de el 50% de las horas inproductivas en esta categoria, es que el equipo se encuentre sin operador, siendo este un problema con una amplia posibilidad de medidas para reducir este ámbito. Por otro lado , la segunda razón con más horas de detención, es la de Esperas de Servicios. Ambas razones están ligadas a problemas de planificación y/o dimensionamento de la flota.

#### 4.1.3 Tiempos de mantención

En la Tabla 6, se establece la duración y el equivalente de equipos no utilizados mensualmente debido a los tiempos dedicados a cada uno de los tipos de mantención encontrados en este estudio.

Tabla 6 Resumen información de mantenciones de camiones

	<b>Duración en Horas</b>	<b>Equipos Equivalente</b>
Mant. N.P. en Terreno	4,091	6
Mant. N.P. en Taller	3,362	4
Mant. Programada	3,186	4
<b>Total</b>	<b>10,639</b>	<b>14</b>

De acuerdo a la información de la Tabla 6 se destaca de las horas que el equipo pasa en mantención 10 de los 14 equipos que están inactivos en el mes, es por mantenciones no planificadas, es decir más de un 10% de la flota, esta inactiva por esta razón. Se realizó un gráfico de sectores para ilustrar mejor la relación entre la cantidad de horas dedicadas a cada tipo de mantención.

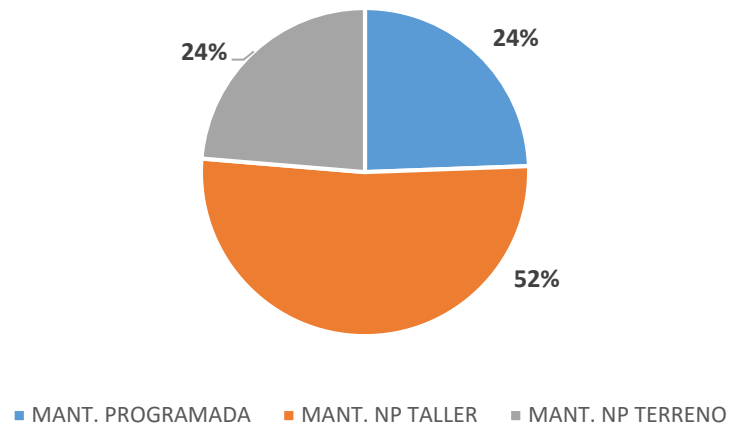


Figura 9 Relación de tiempo dedicado a cada tipo de mantenimiento de camiones

La Figura 9 permite apreciar como sólo se dedica un 24% del tiempo a la mantención planificada, mientras que la mantención no planificada ocupa el 76%. Esto se contradice con lo que plantea Rojas [4], quien propone que la relación entre la mantención planificada y la mantención correctiva o no programada, debe ser 70/30, siendo la relación real al revés de la ideal.

Lo anterior representa un problema, pues en el estudio realizado por la Universidad Católica de Chile (2001, [5]), se estableció que existe un relación entre el porcentaje de mantención planificada o programada y la disponibilidad de los equipos de (1:4), reflejado en el Anexo C y como el objetivo de este estudio es buscar medidas para aumentar la disponibilidad, al tener un bajo porcentaje de mantención planificada esto implica que se tendrá un bajo porcentaje de disponibilidad de la flota.

Por otro lado, el mayor porcentaje de horas son utilizadas en mantención no planificada en taller, esto implica que el problema o falla es de mayor envergadura, por lo que se requiere más tiempo ya que los equipos deben ser transportados al taller para poder ser reparados.

#### 4.1.4 Tiempos de fallas

Las fallas se clasificaron en primer lugar respecto a su duración, por lo que la Tabla 7 resume la cantidad de registros y horas totales que se registraron según ciertos intervalos de duración.

Tabla 7 N° de Registros y duración de fallas clasificadas por duración de camiones

Falla Eléctrica/Mecánica	N° registros	Duración en Horas
Fallas de 0 a 1 horas	179	61
Fallas de 1 a 2 horas	59	85
Fallas de 2 a 4 horas	39	112
Fallas de 4 a 8 horas	40	229
Fallas de 8 a 16 horas	25	287
Fallas de 16 a 36 horas	20	443
Fallas más de 36 horas	13	1,847
<b>Total</b>	<b>375</b>	<b>3,063</b>

En la Tabla 7 se aprecia como la mayor cantidad de registros ocurren para fallas con duración menor a una hora. Estas, suelen ser incidentes menores que son solucionados en el momento, por lo mismo es que, aun que esta categoría tenga más de la mitad del total de los registros, solo acumula un total de 61 horas entre todos los incidentes. La relación entre los datos se ilustra en la Figura 10.

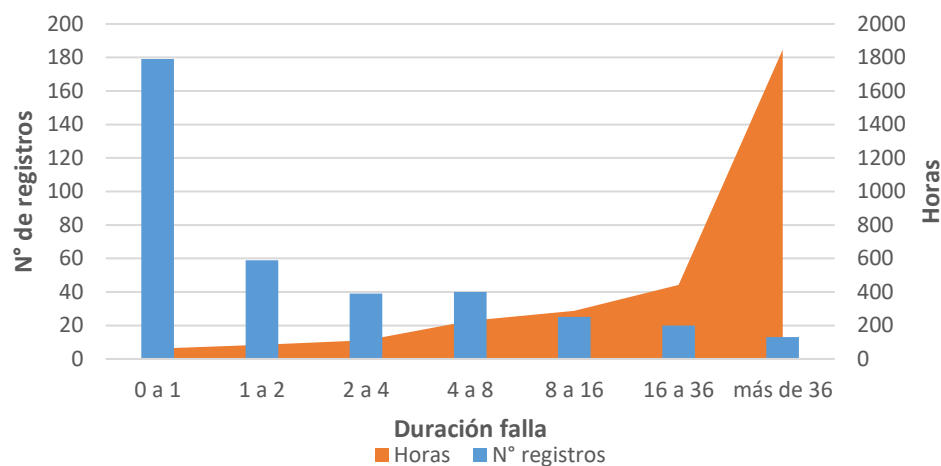


Figura 10 Frecuencia de ocurrencia de fallas según su duración

Por otro lado, el extremo opuesto son fallas con duración mayor a 36 horas, que representa la menor cantidad de registros, pero la mayor cantidad de horas total pérdidas. Esto se debe en parte a que la mayor parte de estas fallas son de gran envergadura y requieren mantención en taller, esperar repuestos, o a algún especialista para poder reparar el equipo.

Los motivos de falla establecidos en la Tabla 1 son estudiados mediante un diagrama de Pareto (Figura 11), herramienta mediante la cual se pudo establecer el motivo de falla que causa más horas inactivas en los equipos, además en la Tabla 8 se resume la información de cantidad de registros y duración de cada motivo de falla.

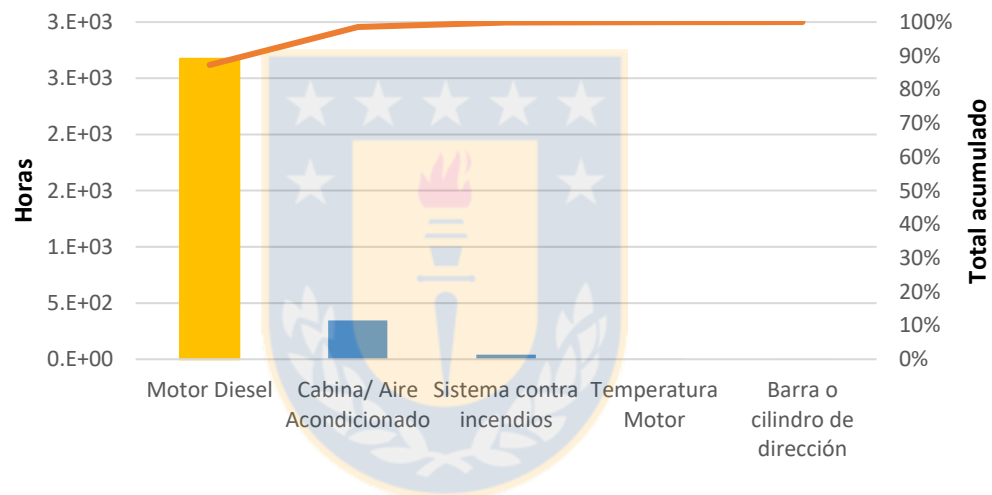


Figura 11 Diagrama de Pareto con motivos de fallas de camiones

Tabla 8 N° de registros y duración de fallas de camiones

Descripción	N° registros	Duración en Horas
Cabina/ Aire Acondicionado	238	344
Sistema contra incendios	11	41
Motor Diésel	103	2,674
Temperatura Motor	22	5
Barra o cilindro de dirección	1	0.1
<b>Total</b>	<b>375</b>	<b>3,063</b>

La Figura 11 permite apreciar como más del 80% del tiempo que el camión se encuentra detenido es debido a una falla asociada al motor. Este problema se relaciona con la gran cantidad de partes y fallas que se pueden presentar en el motor. Cabe destacar que la gran cantidad de horas que abarca esta categoría es debido al tiempo que requiere solicitar partes o repuestos específicos para las reparaciones, problema que puede ser mejorado por ejemplo mediante un inventario en línea, o algún otro método de mejorar la veracidad de este en todo momento, y aumentando la mantención programada de los equipos.

#### 4.1.5 Posibles estados de los equipos durante *down time*

Existen tres posibles estados en los que se puede encontrar un equipo al estar inactivos, estos son: detención, no operativo, o reserva.

El estado de detención hace referencia a cuando el camión debe detener su marcha, pero sin apagar el motor. El estado no operativo se refiere a cuando el camión debe ser apagado, y se detiene por completo o estaciona, porque debe ser intervenido o tiene algún tipo de falla. Finalmente el estado de reserva son situaciones en las que el camión está en buenas condiciones mecánicas, no hay inconveniente alguno, pero este no está siendo utilizado por planificación. La Figura 12 se muestra qué estado o estados están presentes para cada causa de tiempo inactivo de los camiones.



Figura 12 Distribución de estados por motivo de inactividad en camiones



## 4.2 Análisis de datos de palas

La flota de palas consta de 15 equipos de diversas marcas y modelos, agrupadas en tres capacidades de balde. La información de los equipos se resume en la Tabla 9, en la que se agrupan según su capacidad, detallando el modelo y tiempo de ciclo de los equipos.

Tabla 9 Información flota de carguío

Capacidad (yd <sup>3</sup> )	Modelo	Tiempo de Ciclo (s)
34	P & H L-1850	33
	KOMATSU PC 5500	30
	P & H 2800 XPA	35
56	BUCYRUS 495 HR	45
73	P & H 4100 XPA	42
	P & H 4100 A	42

### 4.2.1 Impacto de la disponibilidad en la producción

Para los cálculos de producción (ANEXO B) se utilizó el promedio de los tiempos de ciclo fijo para cada una de las distintas capacidades de palas establecidos en la Tabla 9, el cual fue obtenido de diversos catálogos.

Utilizando las ecuaciones establecidas en la sección 3.2.3 se calculó la producción y disponibilidad de los equipos y de la flota al disminuir los tiempos de inactividad.

Tabla 10 Variación en la producción al disminuir los tiempos inactivos de palas

Dism. Tiempo Inactivo	Horas Inactivas	Disponibilidad Equipos	Disponibilidad Flota	Producción (m <sup>3</sup> /mes)	Aumento Producción
0%	4,929	56%	53%	10,511,990	0%
5%	4,683	58%	60%	12,293,758	17%
7.5%	4,559	59%	60%	12,527,643	19%
10%	4,436	60%	60%	12,761,528	21%

Dism. Tiempo Inactivo	Horas Inactivas	Disponibilidad Equipos	Disponibilidad Flota	Producción (m <sup>3</sup> /mes)	Aumento Producción
12.5%	4,313	61%	60%	12,995,413	24%
15%	4,190	62%	60%	13,229,299	26%
25%	3,697	67%	67%	15,738,710	50%

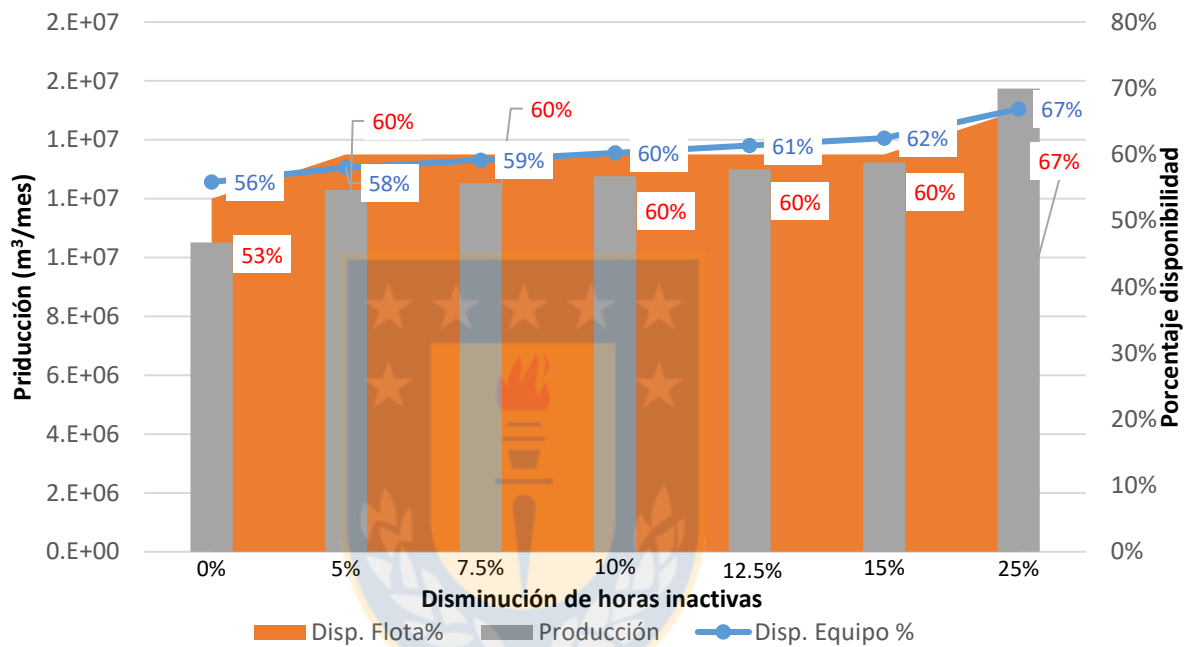


Figura 13 Variación en la producción al disminuir los tiempos inactivos de palas

La Figura 13 refleja cómo al aumentar la cantidad de horas de disponibilidad en los equipos y aumentar la cantidad de equipos disponibles para trabajar, más aun, se aprecia como al lograr una disminución de un 25% en las horas de inactividad de los equipos se puede aumentar en más de un 10% la disponibilidad de los equipos. Esto podría llegar a producir un aumento de producción de un 50% de la que producción inicial.

Para facilitar el estudio de las razones de este fenómeno, es que se utilizan las categorías establecidas en la Tabla 2. Debido a que en la mina estudiada se utilizan palas de distintas capacidades y marcas, éstas fueron analizadas por separado de acuerdo a su capacidad y para cada

una de ellas se realizó, al igual que para los camiones, un análisis de tiempos improductivos, de mantenciones y de fallas.

Previo a comenzar el análisis detallado, se muestra el impacto de los tiempos de inactividad por cada categoría en la disponibilidad de la flota. Es decir, cuántos equipos de la flota no se están ocupando mensualmente por las categorías estudiadas. Los datos se reflejan en la Tabla 11 con las horas de detención por cada categoría. Porcentaje de equipos equivalente en “No Uso”.

Tabla 11 Equivalente de equipos no utilizados mensualmente por tiempos inactivos de palas

	Equivalente Palas 34 yd <sup>3</sup>	Equivalente Palas 56 yd <sup>3</sup>	Equivalente Palas 73 yd <sup>3</sup>	Horas Detención
<b>Mantenciones</b>	3	0.4	0.3	2,838
<b>Tiempos Improductivos</b>	2	0.4	0.8	2,020
<b>Fallas</b>	0	0	0	72
<b>Equivalente equipos detenidos</b>	5	1	1	4,929

Para poder dimensionar mejor la cantidad de equipos que significan las horas de inactividad en los equipos de carguío se creó la Figura 14. En donde se aprecia que la cantidad de equipos inactivos para cada capacidad puede llegar a ser más de la mitad de la flota.

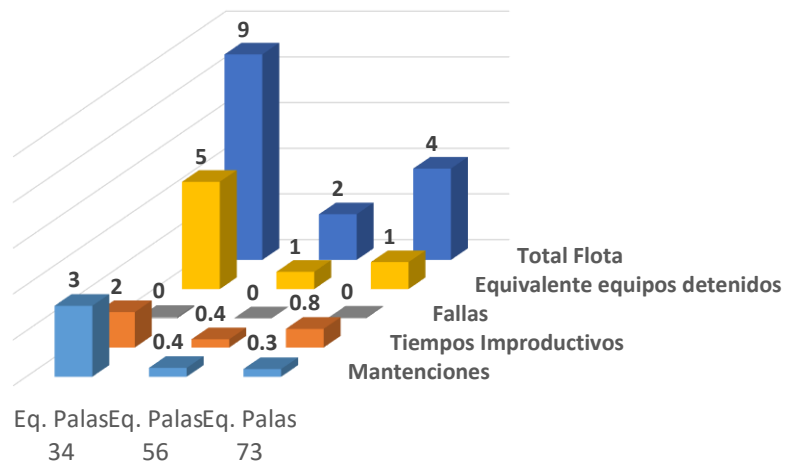


Figura 14 Equivalente de equipos no utilizados mensualmente por tiempos inactivos de palas

#### 4.2.2 Tiempos improductivos

La cantidad de registros y duración total de los Tiempos Improductivos, se resumen en la Tabla 12. Información con la cual se creó diagramas de Pareto para cada capacidad de pala a fin de visualizar cuáles son las principales razones contribuyentes a los tiempos improductivos.

Tabla 12 Resumen información de tiempos improductivos de palas

	Palas 34 yd <sup>3</sup>		Palas 56 yd <sup>3</sup>		Palas 73 yd <sup>3</sup>	
	N° Registros	Horas	N° Registros	Horas	N° Registros	Horas
Sin operador	821	250	272	165.5	365	595
Traslado de pala	166	161	33	15.5	44	27
Esperas acomodo/traslado	406	62	157	25.1	57	387
Otras no programadas	72	60	16	16.6	21	33
Pista obstruida	495	42	145	24.3	81	409
Pala en no uso	57	38	3	8.2	34	14
Carga eléctrica/combustible	62	37				
Tronadura	31	11	19	19.8	29	26
Ingeniería/chequeos	32	4	6	0.4	6	14
<b>Total</b>	<b>2,142</b>	<b>664</b>	<b>651</b>	<b>275.3</b>	<b>637</b>	<b>1,505</b>

Al ver las horas que los equipos no se encuentran inactivos por tiempos improductivos, para cada tipo de palas, se aprecia que la cantidad total de horas que están detenidas la flota de 73 yd<sup>3</sup> y 56 yd<sup>3</sup> son muy similares; siendo que la cantidad de equipos de 34 yd<sup>3</sup> es más de 4 veces mayor que las palas de 56 yd<sup>3</sup>. Esto lleva a creer que existe una relación entre la capacidad de las palas y las horas que éstas no funcionan. En parte esto puede ser explicado ya que se utilizan más las palas de 34 yd<sup>3</sup> por ser equipos de menor tamaño.

Se realizaron diagramas de Pareto sobre tiempos improductivos para las distintas capacidades de las palas.

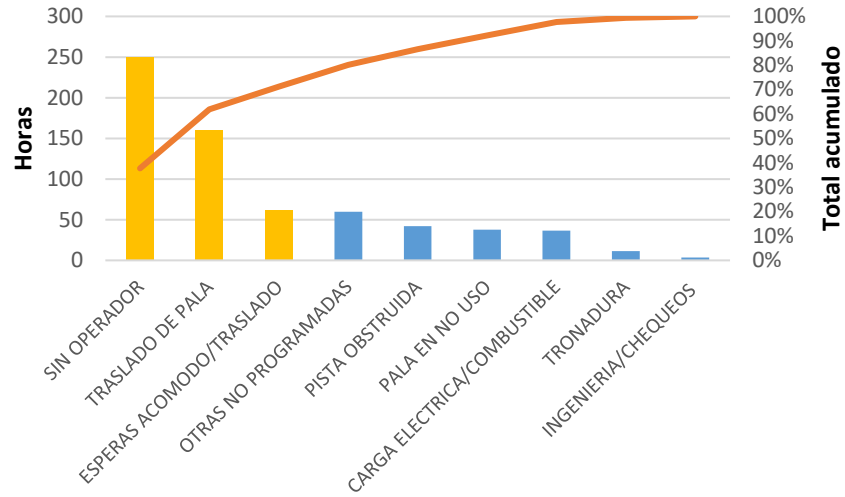


Figura 15 Diagrama de Pareto de tiempos improductivos palas 34 yd³

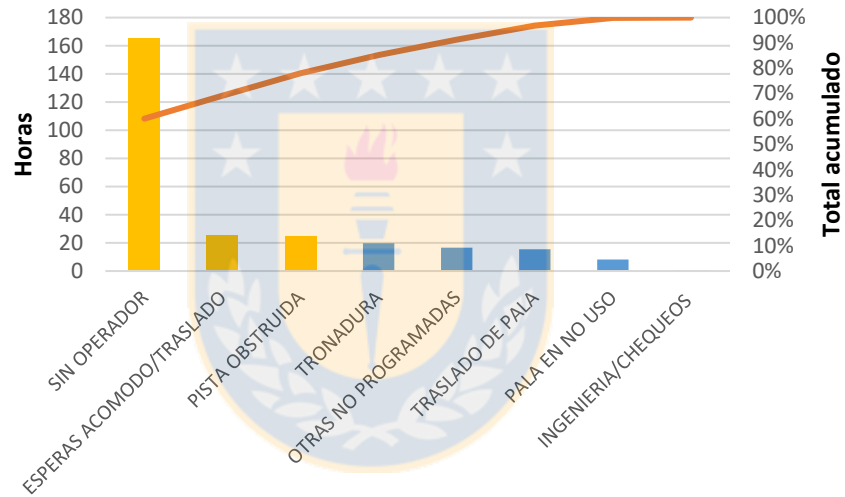


Figura 16 Diagrama de Pareto de tiempos improductivos palas 56 yd³

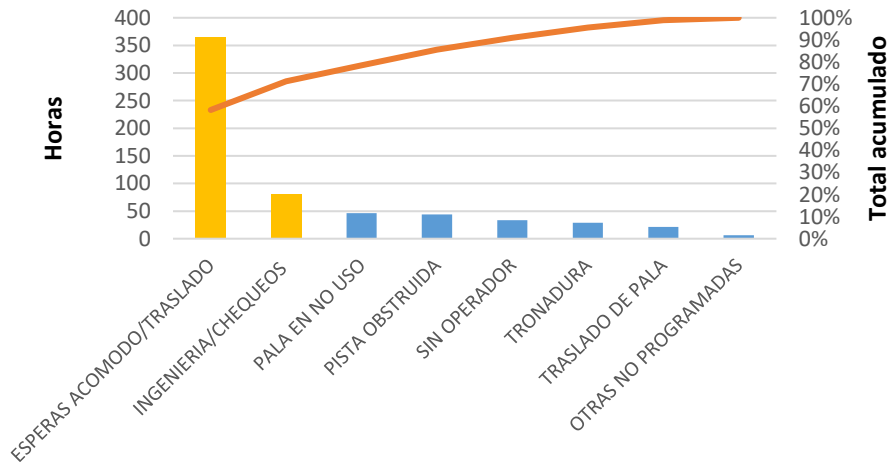


Figura 17 Diagrama de Pareto de tiempos improductivos Palas 73 yd³

En las Figuras 15,16, 17 se aprecia que las razones son similares para todas las palas, apareciendo mayoritariamente el motivo sin operador y las esperas acomodo/ traslado. Por lo que las medidas que deben ser tomadas en este caso se relacionan con la planificación.

#### 4.2.3 Tiempos de mantenciones

Para las palas son analizadas solo las mantenciones no programadas. Esto se debe a que como el período estudiado solo es un mes y atendida la gran envergadura de estos equipos, en el tiempo estudiado no se presentará ninguna mantención planificada. Esto se ha tomado en consideración posteriormente al plantear medidas para disminuir las horas de mantenciones no planificadas.

Tabla 13 Resumen información de mantenciones de palas

Descripción	Horas palas 34 yd <sup>3</sup>	Horas palas 56 yd <sup>3</sup>	Horas palas 73 yd <sup>3</sup>
Espera Mant. N.P Terreno	0	0	2
Mant. N.P. Terreno	106	37	136
Mant. N.P. Taller	427	251	111
<b>Total</b>	<b>533</b>	<b>288</b>	<b>249</b>

La Tabla 13 resume la información sobre la cantidad de horas que cada tamaño pala fue sometida a Mantención no programada, o debió esperar por ella. En el caso de estos equipos, debido a su gran tamaño es que las Mantenciones de taller no siempre implican llevar todo el equipo al taller, a veces solo parte de éstos es llevado.

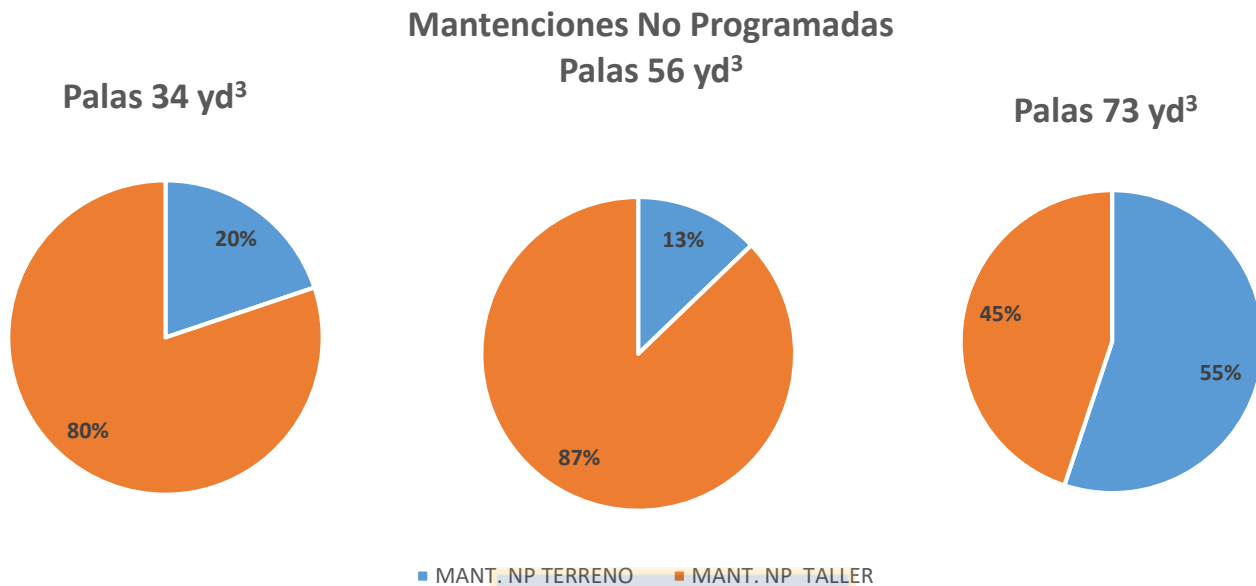


Figura 18 Relación de tiempo dedicado a cada tipo de mantención de palas

En la Figura 18 se aprecia que el mayor porcentaje del tiempo las mantenciones se llevan a cabo en el taller, esto se debe a que las reparaciones suelen ser por partes. Sin embargo se aprecia que en las palas de 73 yd<sup>3</sup> esto no es así, esto puede ser como ya se ha dicho por el gran tamaño de los equipos.

#### 4.2.4 Tiempos fallas

La Tabla 14 resume la cantidad de registros y horas totales de fallas según intervalos de duración de las fallas. Se destaca que los tiempos de falla en las palas, son considerablemente menores a los de los camiones.

Tabla 14 N° de Registros y duración de fallas clasificadas por duración de palas

Fallas Eléctrica/Mecánica	Palas 34 yd <sup>3</sup>		Palas 56 yd <sup>3</sup>		Palas 73 yd <sup>3</sup>	
	N° registros	Horas	N° registros	Horas	N° registros	Horas
0-0.5 hora	14	3	1	0.4	12	3.3
0.5-1 hora	9	6			6	4.1

	Palas 34 yd <sup>3</sup>		Palas 56 yd <sup>3</sup>		Palas 73 yd <sup>3</sup>	
1-5 horas	8	17	3	5.6	6	13.7
más de 5 horas	2	19				
<b>Total</b>	<b>33</b>	<b>45</b>	<b>4</b>	<b>6.0</b>	<b>24</b>	<b>21.1</b>

A continuación, según los motivos establecidos en la Tabla 2, son estudiados cuáles son los más significativos mediante un diagrama de Pareto.

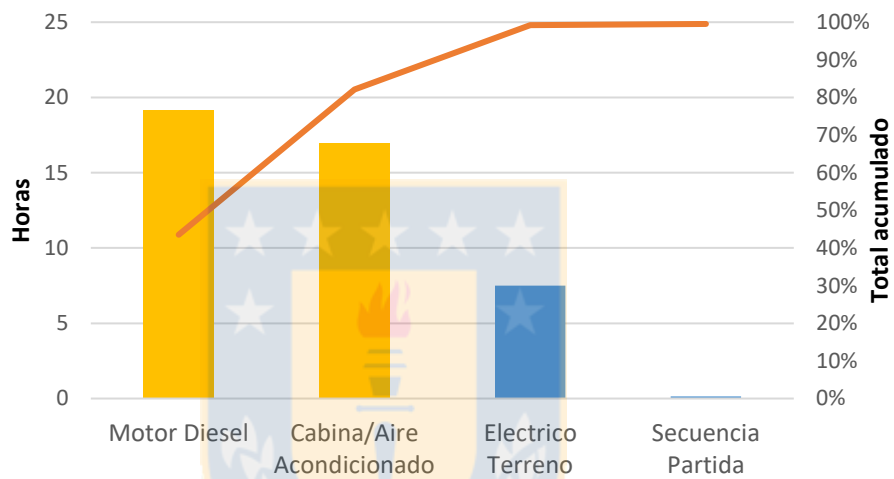


Figura 19 Diagrama de Pareto de fallas palas 34 yd<sup>3</sup>

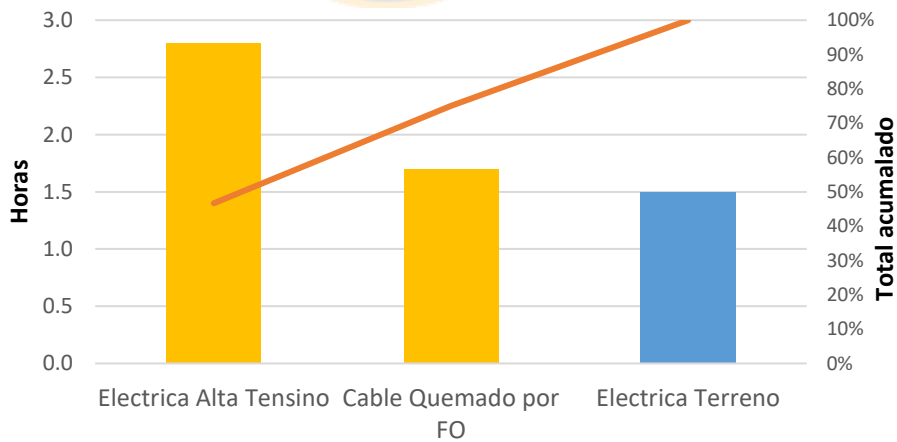


Figura 20 Diagrama de Pareto de fallas palas 56 yd<sup>3</sup>



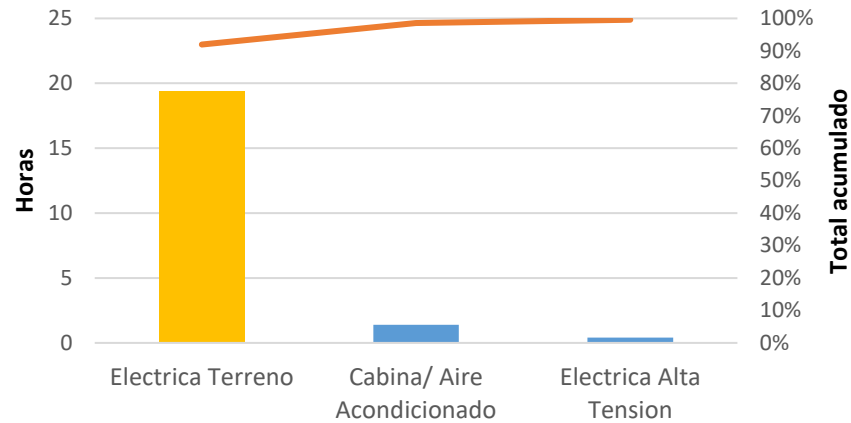


Figura 21 Diagrama de Pareto de fallas palas 73 yd<sup>3</sup>

En las Figuras 19, 20, 21 se aprecia que para los equipos de 34 yd<sup>3</sup> la causa de falla que significa una mayor cantidad de horas improductivas, son problemas relacionados el motor, en cambio en las palas de 56 y 74 yd<sup>3</sup> las fallas más significativas en términos de duración, se asocian a problemas eléctricos.

Tabla 15 N° de registros y duración de fallas de palas

Descripción	Palas 34 yd <sup>3</sup>		Palas 56 yd <sup>3</sup>		Palas 73 yd <sup>3</sup>	
	N° registros	Horas	N° registros	Horas	N° registros	Horas
Cabina/Aire Acondicionado	17	17			5	1.4
Eléctrico Terreno	13	8	2	1.5	17	19.4
Secuencia Partida	1	0.1				
Motor Diésel	2	19				
Cable Quemado por FO			1	1.7		
Eléctrica Alta Tensino			1	2.8	2	0.4
<b>Total</b>	<b>33</b>	<b>44.1</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>24</b>	<b>21.2</b>

La Tabla 15 resume la información de horas y cantidad de registros de cada falla, de ella se destaca la cantidad de horas que los equipos pasan inactivos debido a las fallas de cabina/ aire acondicionado y motor diésel en las palas de 34 yd<sup>3</sup> y las fallas debidas a problemas eléctricos en terreno en las palas de 73 yd<sup>3</sup>.

#### 4.2.5 Posibles estados de los equipos durante *down time*

Los distintos estados en los que se pueden encontrar los equipos al no estar funcionando, son los mismos que para los camiones. En la Figura 22 se muestra cómo se distribuyen los estados por las distintas razones de tiempos inactivos.

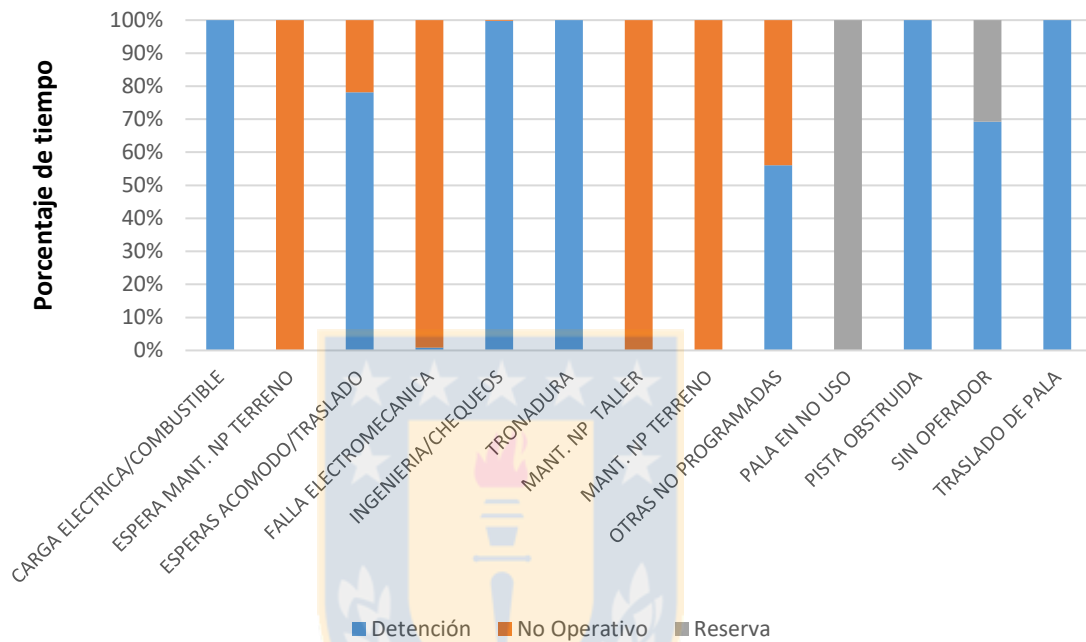


Figura 22 Distribución de estados por motivo de inactividad en palas

De la Figura 22 se destaca que el estado más recurrente es el Detención, lo que suele significar un menor tiempo de inactividad que en los otros estados; además el estado de Reserva es el menos recurrente, lo que implica una mejor planificación de la flota.

## 5 Resultados y discusiones

El alto número de registros y horas que los equipos están inactivos debido a algún tipo de falla en ellos se relaciona directamente con la alta cantidad de horas que éstos pasan en mantenciones no programadas siendo reparados. Además como planteo Klimasauskas [8], existe una relación entre la alta cantidad de fallas y la baja cantidad de horas de mantenciones programadas a las que son sometidos los equipos.

El hecho de que la mantención no programada pueda ser realizada en terreno o en taller, se relaciona con la complejidad de reparación de la falla. Es por esto que es necesario encontrar formas de reducir la cantidad de fallas que requieren que detengamos el equipo y éste deba ser trasladado al taller y/o esperar por repuestos, pues esta es una de las razones que más tiempo inactivo de los equipos produce.

De acuerdo a lo observado en la sección 4, se pudo deducir mediante el método de Pareto, las principales razones de inactividad de los equipos, para las que se estudiaron medidas y así poder mejorar los tiempos improductivos en las áreas de mantenciones no programadas y tiempo de no uso que los equipos por estar sin operador.

A continuación se describieron algunas medidas generales para ambos equipos y algunas particulares para camiones y palas. Las medidas son analizadas en términos del efecto sobre sus disponibilidades y efecto en la producción, cabe destacar que falta realizar un estudio de viabilidad, el cual no se realizó, pues escapa de la finalidad de este estudio.

### 5.1 Propuestas de medidas

#### 5.1.1 Equipos sin operador

El problema de los equipos sin operador, se asocia a problemas de planificación o relacionados a las malas prácticas de los operadores. Algunas de las medidas aplicables para palas y camiones que se proponen para lograr una disminución de tiempo, son las siguientes:

1. Estudiar la planificación de turnos de los operadores, pues en esta área existe un déficit entre lo que se planifica y lo que realmente ocurre. Aunque esta medida parezca trivial los problemas en esta área son evidentes.
2. Contar con personal externo, especialista en mantención y reparación que realice los chequeos de los equipos efectuados al cambio de turno. Así se evita que el operador saliente deba realizar un chequeo y luego el operador entrante deba realizar el mismo trabajo al ingresar al turno. Además de reducir los tiempos de cambio de turno aproximadamente a la mitad, al ser realizado por un especialista en mantención y cuidado de los equipos, también puede ayudar a mejorar la relación entre mantención planificada y mantención no planificada. La persona que realice los chequeos tendrá noción de los parámetros de los equipos diariamente, lo que ayuda a la temprana detección de posibles fallas, por ende se pueden prevenir o estar preparados para cuando éstas ocurran en términos de espacios y repuestos para las mantenciones no planificadas.

### 5.1.2 Mantención no planificada

El impacto de disminuir los tiempos de mantención no programadas es grande en términos de producción, pero implican grandes costos asociados. Esto se muestra en la Figura 3 y fundamenta en la sección 2.3.

Los efectos ya descritos en el estudio de la Universidad Católica de Chile (2005), el cual concluyó que los bajos niveles de planificación de la mantención implicaron que los recursos de la compañía fuera utilizados para mantenciones no planificadas (reactivas), lo que resultó en costos más altos, menor disponibilidad de flota y por lo tanto, una mayor dificultad para programar las mantenciones. Luego, al aumentar la mantención planificada se reducen los costos globales de mantención utilizando los recursos de manera más eficiente [5].

Se proponen las siguientes medidas para ayudar a disminuir los tiempos de mantención no planificada:

1. Respetar efectivamente las mantenciones planificadas.
2. Realizar un estudio respecto a las fallas más recurrentes y las razones de fondo de éstas, para poder abordarlas antes de que el equipo falle.

3. Estudiar la posibilidad de crear un inventario, con los repuestos más utilizados, los que demoran más tiempo en llegar relacionados a las fallas más recurrentes.
4. Contar con personal propio o externo, con disposición permanente, ya sea, presencial o virtual, capacitado para dirigir una mantención no planificada a efectuar por personal que se encuentre en la faena. Que tenga habilidades y capacidad para implementar las primeras etapas de la mantención, reduciendo con ello el tiempo muerto a la espera del personal o repuesto especializado.
5. Finalmente, realizar un estudio con la vida útil de los equipos, debido al gran número de éstos en la flota. Queda en clara evidencia que es posible que esta última esté sobredimensionada y que existan equipos que estén significando más gasto que aporte a la productividad de la empresa.

Las palas, al ser una flota de menor tamaño, pero de diversas capacidades, hace más difícil llegar a un criterio en común para mejorar. Luego de haber realizado los diagramas de Pareto y haber obtenido la cantidad de horas y eventos registrados por cada categoría, se decide proponer medidas para mejorar los tiempos de mantención no programada, ya que estos son los que más horas aportan al no funcionamiento de los equipos. Las medidas son analizadas en términos de disponibilidades y efecto en la producción. El impacto e importancia de disminuir los tiempos de mantención no planificada ya fueron establecidos al estudiar medidas similares para implementar con los camiones. Se proponen respecto a las palas las siguientes medidas:

1. Mejorar el monitoreo en tiempo real y pautas de chequeo de estos equipos, pues se suele priorizar a los camiones en la industria, siendo que el impacto de una pala con mala mantención es mucho mayor.
2. Realizar un análisis crítico de las razones de raíz de las fallas, pues muchas veces éstas pueden ser prevenidas con el hecho de cambiar alguna pieza a tiempo.
3. Relacionado a lo anterior, utilizar el estudio de razones de falla para contar con un inventario de stock adecuado al realizar las mantenciones programadas, en vez de esperar la falla y tener que esperar por repuestos para poder realizar la mantención no programada.

Para ambos equipos se propone trabajar en conjunto con la medida 2 de la sección 5.1.1, ya que al implementar en conjunto el chequeo con un inventario y registro diario de posibles fallas que puedan ocurrir en los equipos puede ayudar a mejorar la planificación de mantenimientos.

Si bien algunas de las medidas pueden ser implementadas sin costo alguno, otras implican una inversión, por lo que se recomienda hacer un estudio de viabilidad de ellas y comenzar la implementación de medidas que requieren cambios internos y no económicos. A continuación se muestra el efecto de disminuir las horas a través de las medidas propuestas, u otras en términos de producción y disponibilidad de equipos.

## 5.2 Efecto de disminuir las horas de equipos sin operador

### 5.2.1 Efecto en camiones

Cabe destacar que varias de las medidas que se relacionan con la planificación pueden ser medidas que no significan gastos para la empresa y pueden tener un gran efecto en la gestión de la misma. Los posibles resultados de disminuir los tiempos inactivos debido a que el equipo se encuentra sin operado, esta reducción fue realizada porcentualmente en términos de horas totales que el equipo estuvo sin operador en el tiempo estudiado. Esto fue ilustrado en la Figura 23 y resumidos en la Tabla 16 Efecto en la producción de disminuir los tiempos de camiones sin operador.

Tabla 16 Efecto en la producción de disminuir los tiempos de camiones sin operador

<b>Disminución Horas S.O.</b>	<b>Horas detención Total</b>	<b>Disponibilidad Equipo</b>	<b>Disponibilidad Flota</b>	<b>Producción (m<sup>3</sup>/mes)</b>	<b>Aumento de Producción</b>
0%	27,200	62%	63%	13,128,866	0%
10%	26,340	63%	65%	13,830,409	5%
25%	25,050	65%	66%	14,455,736	10%
50%	22,899	68%	69%	15,846,457	21%

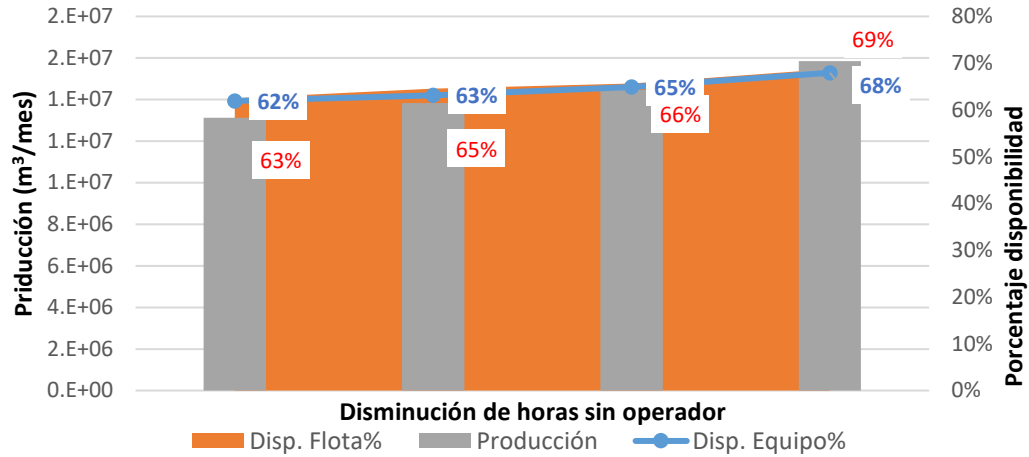


Figura 23 Efecto en la producción de disminuir los tiempos de camiones sin operador

Si bien, el efecto de disminuir las horas en sin operadores de los camiones, pareciera no ser tan significativo en términos de disponibilidad, según lo obtenido en la Tabla 16 al disminuir en un 25% estas horas, se puede aumentar la producción de la flota hasta un 10%.

### 5.2.2 Efecto en palas

Los posibles resultados de disminuir los tiempos inactivos por encontrarse sin operador de la flota de palas, que podrían ser alcanzados implementando algunas de las medidas propuestas están ilustrados en la Figura 24 y resumidos en la Tabla 17.

Tabla 17 Efecto en la producción de disminuir los tiempos de palas Sin Operador

Disminución horas S.O.	Horas detención totales	Disponibilidad Equipo	Disponibilidad Flota	Producción (m³/mes)	Aumento de Producción
0%	4,929	56%	53%	10,511,990	0%
10%	4,827	57%	60%	12,020,119	14%
25%	4,673	58%	60%	12,311,315	17%
50%	4,418	60%	60%	12,796,643	22%

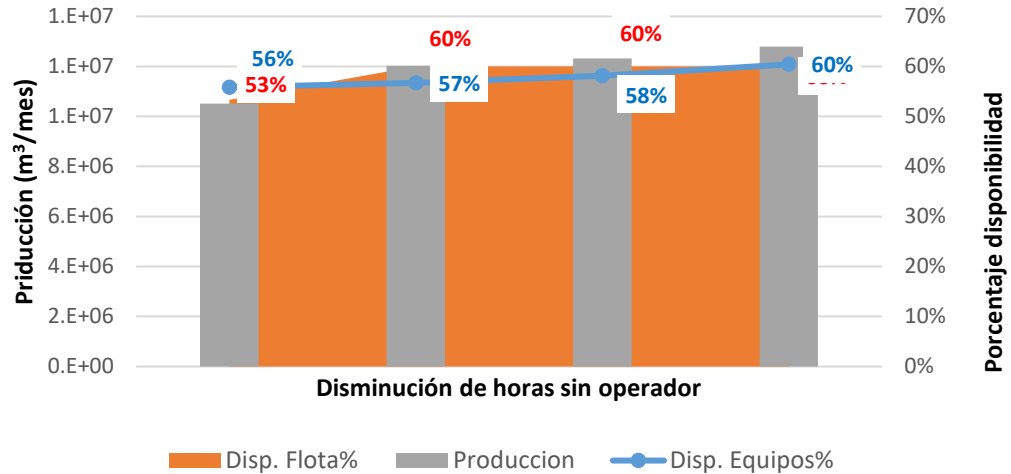


Figura 24 Efecto en la producción de disminuir los tiempos de palas Sin Operador

En éste caso, el efecto de disminuir las horas que los equipos están sin operador es aún mayor, se obtuvo que con aumentar en 100 horas el trabajo de la flota de palas en el mes, se disminuye un 10% las horas de este ámbito aumentando hasta un 14% la producción.

### 5.3 Efecto de disminuir las horas de mantención no programada

#### 5.3.1 Efecto en camiones

Los posibles resultados de disminuir los tiempos relacionados a las mantenciones no planificadas de la flota de camiones, que podrían ser alcanzados implementando algunas de las medidas propuestas están ilustrados en la Figura 25 y resumidos en la Tabla 18.

Tabla 18 Efecto en la producción al disminuir el tiempo de mantención no programada en camiones

Disminución horas MNP	Horas detención totales	Disponibilida d Equipo	Disponibilida d Flota	Producción (m³/mes)	Aumento de Producción
0%	27,200	62%	63%	13,128,866	0%
10%	26,455	63%	64%	13,572,650	3%
25%	25,337	65%	65%	14,138,137	8%
50%	23,474	67%	68%	15,421,542	17%



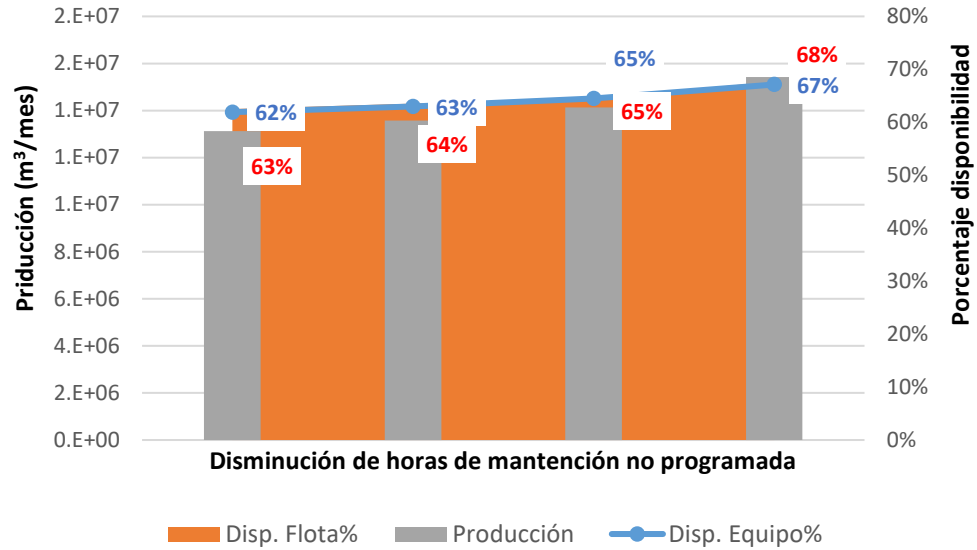


Figura 25 Efecto en la producción de disminuir el tiempo de mantenimiento no programada en camiones

El resultado obtenido al disminuir en un 25% los tiempos de mantenimiento no planificada significó un aumento de la producción se hasta un 8%, esto aparenta no ser ganancia tan grande considerando que disminuir la mantenimiento no planificada implica costos, pero se debe considerar que al disminuir las horas de este ámbito no implica tan solo una mejora en la producción debido al aumento de disponibilidad de los equipos, sino también significa un proceso más continuo y más importante aún mayor seguridad para los operadores.

### 5.3.2 Efecto en palas

Los posibles resultados de disminuir los tiempos relacionados a las mantenciones no planificadas de la flota de palas, que podrían ser alcanzados implementando algunas de las medidas propuestas están ilustrados en la Figura 26 y resumidos en la Tabla 19.

Tabla 19 Efecto en la producción de disminuir el tiempo de mantenimiento no programada en palas

Disminución horas MNP	Horas detención totales	Disponibilidad Equipo	Disponibilidad Flota	Producción (m³/mes)	Aumento de Producción
0%	4,929	56%	53%	12,103,575	0%
10%	4,645	58%	60%	12,879,150	6%

Disminución horas MNP	Horas detención totales	Disponibilidad Equipo	Disponibilidad Flota	Producción (m <sup>3</sup> /mes)	Aumento de Producción
25%	4,220	62%	60%	14,786,372	22%
50%	3,510	68%	67%	16,329,646	35%

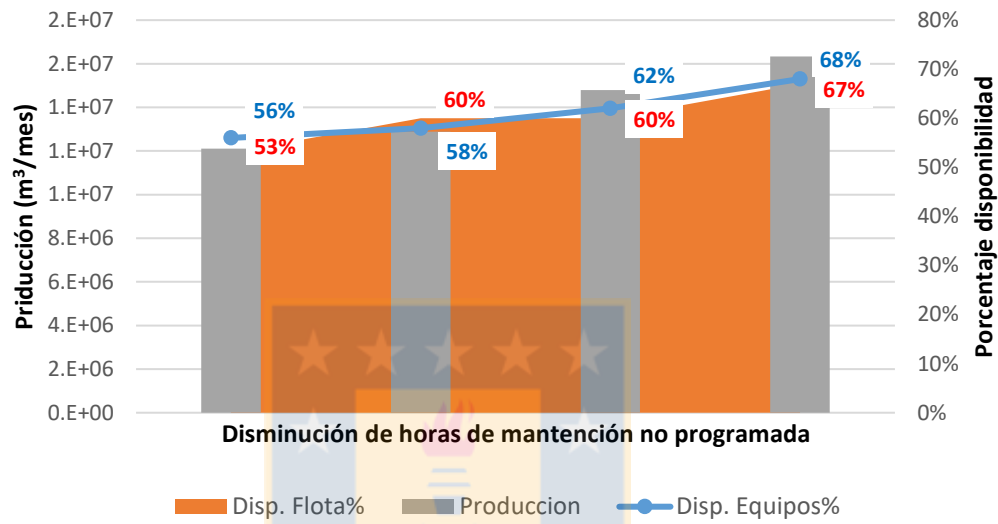


Figura 26 Efecto en la producción de disminuir el tiempo de mantenimiento no programada en palas

Debido al menor tamaño de la flota, en este caso el impacto de haber aumentado la disponibilidad incluso en un 6%, significa un aumento de la producción de hasta un 22%, lo que como se estableció en la Tabla 19 significa un aumento de aproximadamente 1.5 millones de m<sup>3</sup>/mes.

#### 5.4 Discusión y alcances de los resultados

Al observar en conjunto las tablas y figuras desplegadas en la sección 5.3, se observó que el impacto de implementar medidas para mejorar los tiempos de mantenimiento no planificada y los tiempos en que los equipos están sin operador, pueden significar un notorio incremento en términos de producción de la mina. Más aún que si se lograra disminuir la cantidad de horas que los equipos están inactivos por estos motivos en un 25%, la producción de camiones y palas mejora notoriamente. Además al implementar estas medidas se logró una producción por parte de ambas

flotas que mejora el *match* pala camión. El aumento de disponibilidad y producción obtenidos en la condición recién descrita se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20 Mejor match de resultados pala- camión

<b>Equipo</b>	<b>Disminución horas</b>	<b>Horas detención totales</b>	<b>Disponibilidad Equipo</b>	<b>Disponibilidad Flota</b>	<b>Producción (m<sup>3</sup>/mes)</b>	<b>Aumento de Producción</b>
<b>Camiones</b>	25%	23,186	68%	69%	15,752,627	20%
<b>Palas</b>	25%	3,925	65%	67%	15,258,441	44%

Por otro lado, al disminuir estos tiempos se logró disminuir la cantidad de camiones en no uso de 38 a 31; es decir, que se recupera 7 equipos y la cantidad de palas de 7 a 5, recuperando dos equipos en términos de disponibilidad. Si bien este estudio solo considera la disponibilidad de los equipos y de la flota, sirve para dimensionar cómo tal vez con el hecho de agregar un puesto de trabajo, puede provocar un gran impacto en la disminución de tiempos de detención de los equipos, lo que trae consecuencias positivas en lo que respecta a la producción.

## 6 Conclusiones

Después de realizado el ordenamiento, normalización y análisis de parámetros básicos en la operación de carguío y transporte de una faena minera, con la información contenida en la base de datos proporcionada para la realización de este estudio, ha sido posible percibir en primer lugar que estas áreas son sensibles a factores externos que no siempre son controlados de manera adecuada en función de una mejor producción.

Sin embargo, al ser conocidas y estudiadas algunas de las variables que afectan el carguío y transporte; y con ello la producción de estos equipos, fue posible plantear diversas medidas que ayuda a mitigar parte de los efectos causados el tiempo que los equipos se encuentran sin operador y en mantención no planificada, pues como se mostró estas son las razones que más afectan la disponibilidad del equipo y de la flota. Considerando lo expuesto, resulta de gran importancia tener completo conocimiento de cuáles son las causas de raíz de los tiempos improductivos que afectan las condiciones óptimas de operación de los equipos; como así mismo, conocer y registrar oportunamente los eventos que pudieran producir fallas en dichos equipos.

Se logró mostrar que las principales razones de no uso están ligadas a dos áreas importantes de los servicios mineros como lo son las mantenciones de los equipos, y planificación respecto a la operación de ellos, y que al implementar simples medidas se puede mejorar ambas en conjunto. Específicamente la cantidad de horas que los equipos pasan sin operador, es un problema asociado a la planificación y errores humanos. Esto está siendo tratado en cierta forma con la automatización de equipos. Por otro lado, la mantención de los equipos sigue siendo un tema tabú y estudiado en la industria, para lograr encontrar métodos certeros de predicción y equilibrio entre mantenciones planificadas y no planificadas. Se estableció que al implementar medidas para disminuir las horas de inactividad en los ámbitos estudiados se puede mejorar la cantidad de equipos que funcionan en un mes y así aumentar la productividad de la faena.

Además 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.

Este estudio sirvió además para visualizar que no sólo se deben aplicar medidas considerando parte de las variables que afectan al transporte y carguío, como en este caso fue estudiado la disponibilidad y su impacto en términos de producción, y como esta se ve afectada por diversas causas. Se recomienda el estudio de implementación de estas u otras medidas que se estimen pertinentes, ya que el efecto de disminuir los tiempos de inactividad de los equipos, pueden ser de gran impacto en la operación.



## 7 Referencias

- [1] BOZORGEBRAHIMI, E.; HALL, R. A.; BLACKWELL, G. H. Sizing equipment for open pit mining—a review of critical parameters. *Mining Technology*, 2003, vol. 112, no 3, p. 171-179.
- [2] LÓPEZ, M. Análisis y gestión de costos en explotación minera a cielo abierto. Santiago : Departamento De Ingeniería De Minas, Fcfm, Universidad De Chile, 2008.
- [3] ZEGARRA, Manuel. Indicadores para la gestión del mantenimiento de equipos pesados. *Ciencia y Desarrollo*, 2016, vol. 19, no 1, p. 25-37
- [4] ROJAS, J.H. *Por Qué Cambiar La Forma De Hacer Minería En Chile : Una Oportunidad Para Reinventar Nuestra Oferta Profesional En La Industria*. Santiago : Balboa Press, 2017.
- [5] KNIGHTS, P. F.; OYANADER, P. Best-in-class maintenance benchmarks in Chilean open pit mines. *CIM Bulletin*, 2005, vol. 98, no 1088, p. 93.
- [6] PEDRAZA, Ricardo Sánchez; CÁCERES, Heidi Alexandra. Análisis de los datos mediante herramientas gráficas. *Revista de la Facultad de Medicina*, 2000, vol. 48, no 2, p. 104-110.
- [7] KOCH, R. *El principio 80/20: El secreto de lograr más con menos*. s.l. : Grupo Planeta (GBS), 2009.
- [8] KLIMASAUSKAS, Rubén. Mantenimiento en minería. *Primera–Mendoza2007*, 2013.
- [9] DHILLON, B.S. *Mining Equipment Reliability, Maintenance and Safety*. s.l. : Springer- Verlag London Limited, 2008. p. 57-62.
- [10] HEKMAT, A. *Dump Trucks-2*. Concepción : s.n., 2016.
11. CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE (CODELCO). *CODELCO Operational and Financial Results*. Santiago : s.n., 2016.
12. Komatsu America Corp. 2009. Electric Drive Truck 930E. USA : s.n., 2009.
13. STENSTRÖM, Christer, et al. Preventive and corrective maintenance—cost comparison and cost—benefit analysis. *Structure and Infrastructure Engineering*, 2016, vol. 12, no 5, p. 603-617.
14. Sinfonte, Jesús y Reyes-Picknell, James. *Reliability Centered Maintenance- Reengineered*. s.l. : CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business, 2017
15. Pizarro, Nelson. *Entrega de Resultados Primer Semestre 2016*. s.l. : Codelco. *Preventive and corrective maintenance – cost comparison and cost—benefit analysis*.

## 8 Anexos

### ANEXO A: Información para cálculos de camión

Distancia Media Eq. (km)	Velocidad Media (km/hr)	Capacidad Promedio (m3)
14	35	190

### ANEXO B: Ejemplos de cálculos

1. Ejemplo de cálculo tiempo de ciclo camión

$$\text{Tiempo de Ciclo Camiones (TCC)}(hr) = \frac{DME}{VM}$$

$$\text{Tiempo de Ciclo Camiones} = \frac{14 (Km)}{35 \left(\frac{Km}{hr}\right)}$$

$$\text{Tiempo de Ciclo Camiones} = 0.4 \text{ hora} = 24 \text{ minutos}$$

2. Ejemplo calculo producción máxima flota de camiones

$$\text{Producción Maxima (Prod. Max)} (m^3/mes) = \frac{Q}{TC} \times 24 \times 31 \times N^{\circ}F$$

$$\text{Producción Maxima} = \frac{190(m^3)}{0.4(hr)} \times 24 \frac{(hr)}{(día)} \times 31 \frac{(día)}{(mes)} \times 96(\text{equipos})$$

$$\text{Producción Maxima} = 33,926,400 (m^3/mes)$$

3. Ejemplo calculo producción máxima pala

$$\text{Producción Maxima (Prod. Max)} (m^3/mes) = \frac{Q}{TC} \times 24 \times 31 \times N^{\circ}F$$

$$\text{Prod. Maxima} = \frac{24(m^3)}{33(seg)} \times 60 \frac{(seg)}{(min)} \times 60 \frac{(min)}{(hr)} \times 24 \frac{(hr)}{(día)} \times 31 \frac{(día)}{(mes)} \times 9(\text{equipos})$$

$$\text{Producción Maxima} = 17,531,345 (m^3/mes)$$

4. Ejemplo calculo disponibilidad promedio camión

$$\text{Disponibilidad(Disp\%)} = \frac{(HTF - DTF)}{HTF} \times 100\%$$

$$\text{Disponibilidad} = \frac{(71424(\text{hr}) - 27200(\text{hr}))}{71424(\text{hr})} \times 100\%$$

$$\text{Disponibilidad} = 62\%$$

5. Ejemplo calculo disponibilidad pala

$$\text{Disponibilidad(Disp\%)} = \frac{(\text{HTF} - \text{DTF})}{\text{HTF}} \times 100\%$$

$$\text{Disponibilidad} = \frac{(6696(\text{hr}) - 3493(\text{hr}))}{(6696(\text{hr}))} \times 100\%$$

$$\text{Disponibilidad} = 48\%$$

6. Ejemplo calculo disponibilidad de flota de camiones

$$\text{Disponibilidad Flota (F.Disp\%)} = \frac{\text{Redondear}((N^{\circ}F - \left(\frac{DT}{HT}\right)); 0)}{N^{\circ}F} \times 100\%$$

$$\text{Disponibilidad Flota} = \frac{\text{Redondear}((96 \text{ Equipos} - \left(\frac{27200(\text{hr})}{744(\text{hr})}\right)); 0)}{96 \text{ Equipos}} \times 100\%$$

$$\text{Disponibilidad Flota} = 61\%$$

7. Ejemplo calculo disponibilidad de flota de palas

$$\text{Disponibilidad Flota (F.Disp\%)} = \frac{\text{Redondear}((N^{\circ}F - \left(\frac{DTF}{HT}\right)); 0)}{N^{\circ}F} \times 100\%$$

$$\text{Disponibilidad Flota} = \frac{\text{Redondear}((9 \text{ Equipos} - \left(\frac{3493(\text{hr})}{744(\text{hr})}\right)); 0)}{9 \text{ Equipos}} \times 100\%$$

$$\text{Disponibilidad Flota} = 44\%$$

8. Ejemplo calculo producción camión

$$\text{Producción (Prod)} (m^3/\text{mes}) = \text{Prod. Max} \times \text{F.Disp\%} \times \text{Disp\%}$$

$$\text{Producción} = 33.926.400 (m^3/\text{mes}) \times 61\% \times 62\%$$

$$\text{Producción} = 12,910,187 (m^3/\text{mes})$$



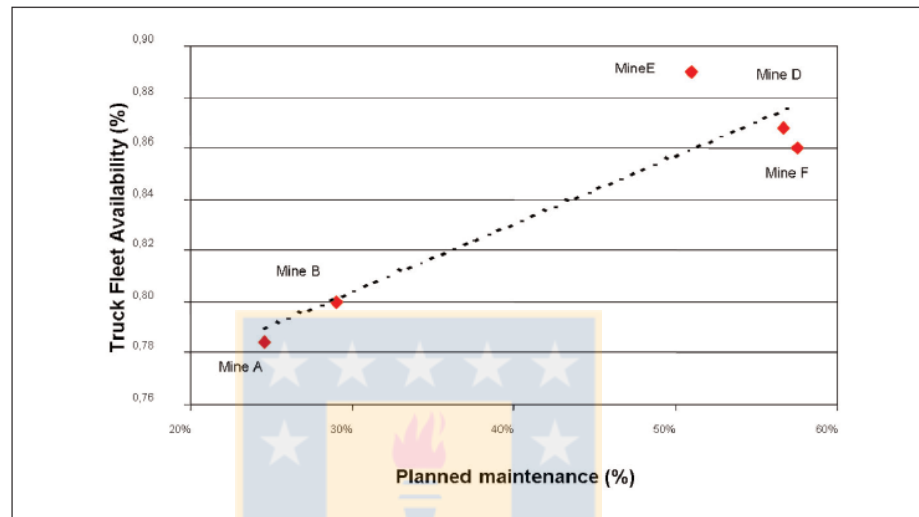
## 9. Ejemplo calculo producción pala

$$\text{Producción (Prod)} (m^3/\text{mes}) = \text{Prod. Max} \times F.\text{Disp}\% \times \text{Disp}\%$$

$$\text{Producción} = 17.531.345 (m^3/\text{mes}) \times 44\% \times 48\%$$

$$\text{Producción} = 3,727,588 (m^3/\text{mes})$$

## ANEXO C:



## ANEXO D: Tabla horas detención y N° de registros por equipo

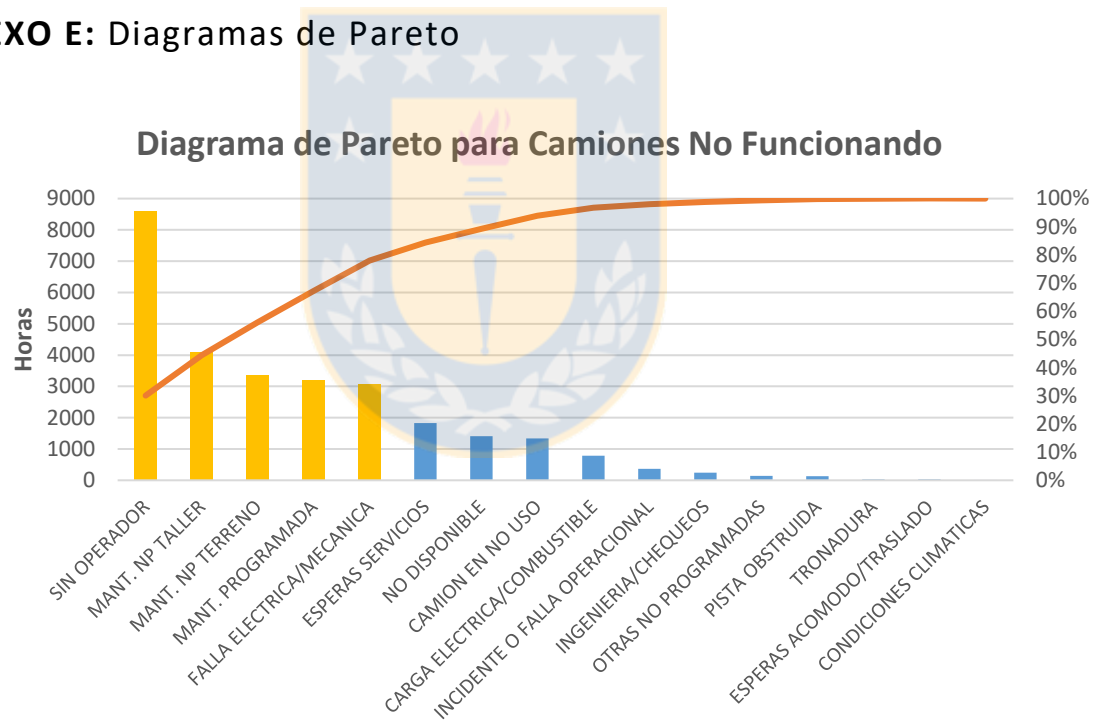
Motivos	Horas no produciendo	N° registros
Sin operador	8603	12417
Mant. Np taller	4091.7	190
Mant. Np terreno	3362	1449
Mant. Programada	3185.7	328
Falla Eléctrica/ Mecánica	3063.3	375
Esperas servicios	1829.5	448
No disponible	1409.8	18
Camión en no uso	1338	4624
Carga eléctrica/combustible	785.5	2458
Incidente o falla operacional	368.2	54
Ingeniería/cheques	247.3	518
Otras no programadas	137.4	570
Pista obstruida	133	1406
Tronadura	29.7	117
Esperas acomodo/traslado	26	191
Condiciones climáticas	0.3	7
<b>Total</b>	<b>28610</b>	<b>25161</b>

<b>Palas 34 yd<sup>3</sup></b>	<b>Horas no produciendo</b>	<b>N° registros</b>
Carga eléctrica/combustible	37	62
Espera Mant. Np terreno	13	9
Esperas acomodo/traslado	89	406
Falla Eléctrica/ Mecánica	45	33
Ingeniería/chequeos	7	32
Mant. NP Taller	1538	62
Mant. NP Terreno	712	339
Mantenión programada	50	1
Otras no programadas	81	72
Pala en no uso	50	57
Pista obstruida	112	495
Sin operador	492	821
Traslado de pala	284	166
Tronadura	32	31
<b>Total</b>	<b>3543</b>	<b>2586</b>

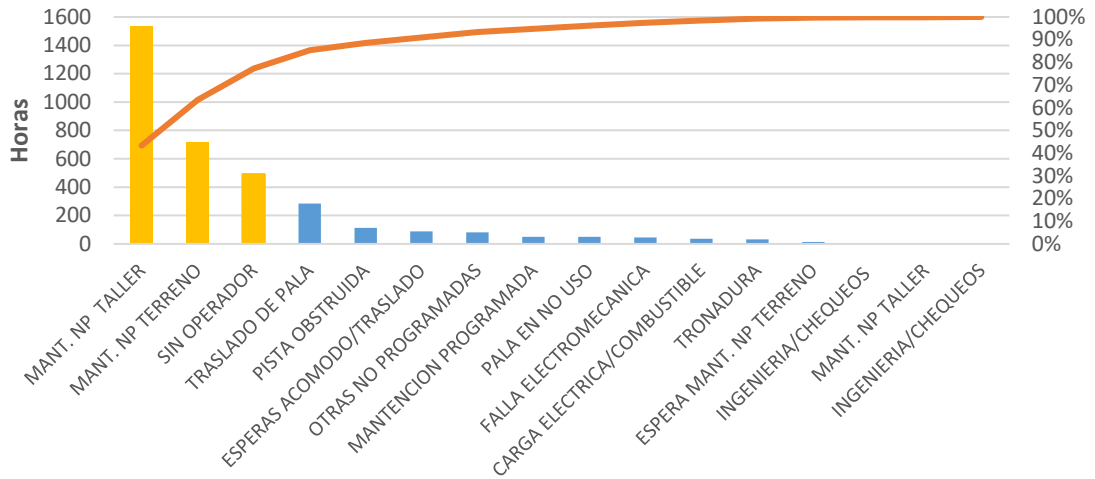
<b>Palas 56 yd<sup>3</sup></b>	<b>Horas no produciendo</b>	<b>N° de registros</b>
Falla Eléctrica/ Mecánica	6.0	4
Esperas acomodo/traslado	25.1	157
Ingeniería/chequeos	0.4	6
Mant. Np taller	230.1	8
Mant. Np taller	21.1	5
Mant. Np terreno	36.9	68
Otras no programadas	16.6	16
Pala en no uso	8.2	3
Pista obstruida	24.3	145
Sin operador	165.5	272
Traslado de pala	15.5	33
Tronadura	19.8	19
<b>Total</b>	<b>569.4</b>	<b>736</b>

Palas 73 yd <sup>3</sup>	Horas no produciendo	N° de registros
Sin operador	365	595
Mant. Np terreno	136	148
Mant. Np taller	111	20
Pista obstruida	81	409
Esperas acomodo/traslado	57	387
Traslado de pala	44	27
Pala en no uso	34	14
Tronadura	29	26
Otras no programadas	21	33
Falla Electrónica/ Mecánica	21	24
Ingeniería/chequeos	6	14
Espera Mant. Np terreno	2	2
<b>Total</b>	<b>907</b>	<b>1699</b>

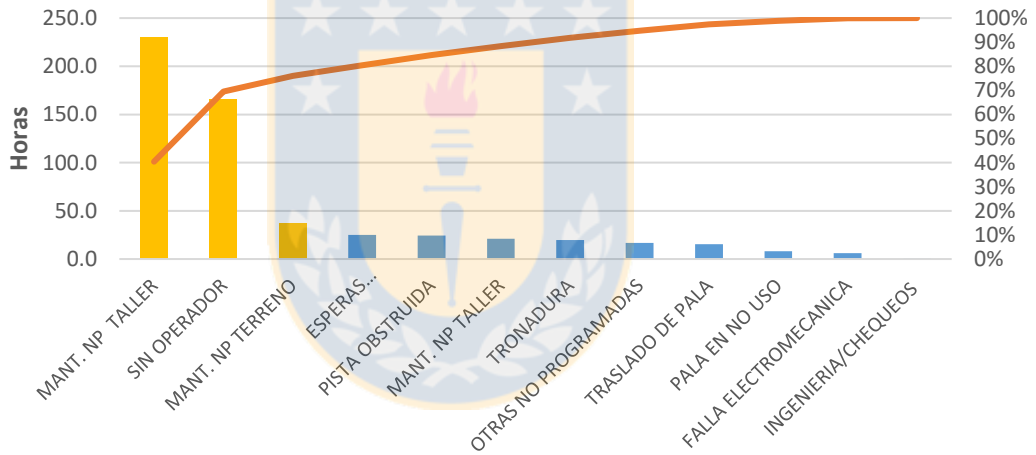
## ANEXO E: Diagramas de Pareto



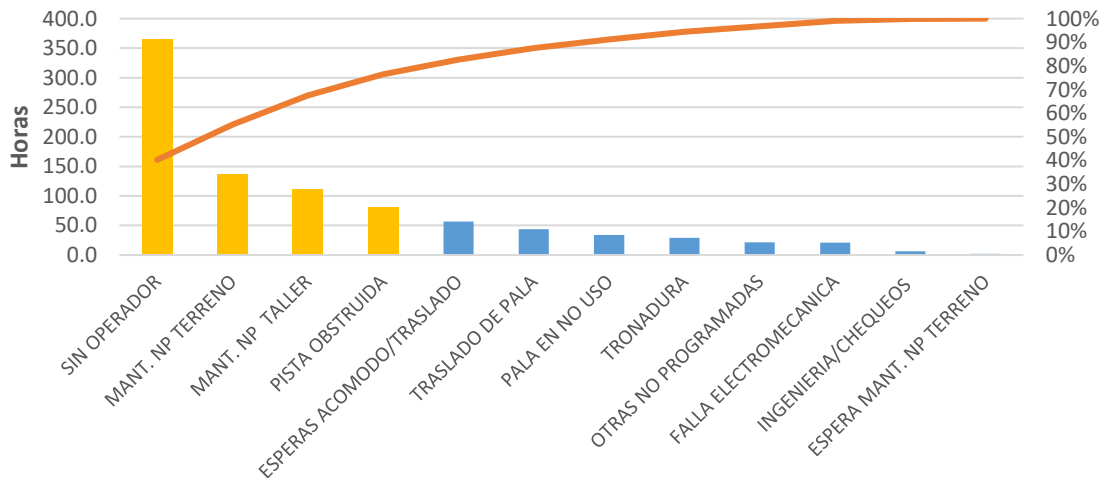
**Diagrama de Pareto Palas 34 yd<sup>3</sup> No está Funcionando**



**Diagrama de Pareto Palas 56 yd<sup>3</sup> No está Funcionando**



**Diagrama de Pareto la Palas 73 yd<sup>3</sup> No está Funcionando**

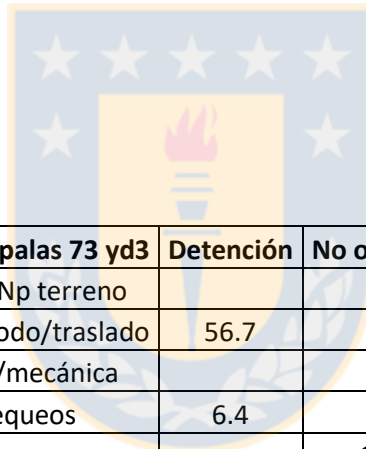


## ANEXO F: Tablas con horas por estado

Descripción camiones	Detención	No operativo	Reserva
Camión en no uso			1338.0
Carga eléctrica/combustible	785.5		
Condiciones climáticas			0.31
Esperas acomodo/traslado	26.0		
Esperas servicios	61.2	1768.2	
Falla eléctrica/mecánica	4.2	3059.1	
Incidente o falla operacional	1.5	366.8	
Ingeniería/chequeos	116.0	131.4	
Mant. Np taller		4091.7	
Mant. Np terreno	1.0	3361.0	
Mant. Programada		3185.7	
No disponible		1409.8	
Otras no programadas	132.2		5.2
Pista obstruida	133.0		
Sin operador	4629.5		3973.4
Tronadura	29.4		0.3
<b>Total</b>	<b>5919.4</b>	<b>17373.7</b>	<b>5317.2</b>

Descripción palas 34 yd3	Detención	No operativo	Reserva
Carga eléctrica/combustible	36.7		
Espera Mant. Np terreno		12.9	
Esperas acomodo/traslado	51.4	37.2	
Falla eléctrica/mecánica	0.6	44.2	
Ingeniería/chequeos	7.1	0.0	
Tronadura	32.3		
Mant. Np taller		1538.0	
Mant. Np terreno		712.2	
Mantenimiento programada		50.1	
Otras no programadas	51.9	29.5	
Pala en no uso			50.1
Pista obstruida	112.5		
Sin operador	341.0		151.2
Traslado de pala	283.7		
<b>Total</b>	<b>917.2</b>	<b>2424.1</b>	<b>201.3</b>

Descripción palas 56 yd3	Detención	No operativo	Reserva
Esperas acomodo/traslado	25.1		
Falla eléctrica/mecánica		6.0	
Ingeniería/chequeos	0.4		
Tronadura	19.8		
Mant. Np taller		251.2	
Mant. Np terreno		36.9	
Otras no programadas	3.8	12.8	
Pala en no uso			8.2
Pista obstruida	24.3		
Sin operador	111.7		53.8
Traslado de pala	15.5		
<b>Total</b>	<b>200.5</b>	<b>306.9</b>	<b>62.0</b>



Descripción palas 73 yd3	Detención	No operativo	Reserva
Espera Mant. Np terreno		1.8	
Esperas acomodo/traslado	56.7		
Falla eléctrica/mecánica		21.1	
Ingeniería/chequeos	6.4		
Mant. Np taller		111.0	
Mant. Np terreno		136.2	
Otras no programadas	11.2	10.1	
Pala en no uso			33.8
Pista obstruida	80.9		
Sin operador	255.8		109.3
Traslado de pala	44.0		
Tronadura	29.0		
<b>Total</b>	<b>483.9</b>	<b>280.3</b>	<b>143.1</b>

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN - FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**Departamento de Ingeniería Metalúrgica**  
 Hoja Resumen Memoria de Título

<b>Título: IMPACTO DE LA DISPONIBILIDAD EN EQUIPOS MINEROS DE CARGUÍO Y TRANSPORTE LIGADO A SUS MOTIVOS DE DETENCIÓN</b>	
<b>Nombre Memorista:</b> Francisca Natalia Tapia Soto	
<b>Modalidad</b>	<b>Profesor (es) Patrocinante (s)</b>   <b>Prof. Asieh Hekmat</b>
<b>Concepto</b>	
<b>Calificación</b>	
<b>Fecha</b>	
<b>Prof. Roberto Fustos T.</b>	<b>Ingeniero Supervisor:</b>
	<b>Institución:</b>
<b>Comisión (Nombre y Firma)</b>	
<b>Prof. Rene Gómez P.</b>	<b>Prof. Roberto Fustos T.</b>
<b>Resumen</b>	
<p>La operación de carguío y transporte es la que tiene asociado un mayor porcentaje de costos, esto en parte se atribuye a su alto costo capital, y los diversos factores que elevan los costos operacionales, condiciones del equipo, condiciones climáticas, entre otros. La parada de una pala o un camión en la operación minera, resulta en un incremento en el costo operacional de la misma, debido al aumento de los costos adeudados por la pérdida de productividad y la inactividad de los equipos y operadores que coinciden.</p> <p>Por este motivo, 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.</p> <p>El estudio se realizó en una flota de 96 camiones Komatsu 930 y una flota de 15 palas de 3 capacidades distintas (34 yd<sup>3</sup>, 56 yd<sup>3</sup>, y 73 yd<sup>3</sup>); y se creó tres categorías para facilitar el estudio y poder ver las principales razones que afectan la disponibilidad del equipo debido a su inactividad. Estas categorías son: mantenencias, tiempos improductivos y fallas eléctricas/mecánicas. Además, dentro de estas tres categorías existen tres posibles estados en los que se pueden encontrar los equipos al no estar en funcionamiento normal, estos son: estado de detención, estado de reserva y estado no operativo.</p> <p>Al realizar el análisis se determinó que las dos razones que aportan más horas a los tiempos inactivos de los equipos son, las mantenencias 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 mantenencias 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 <i>match</i> pala-camión, entre otros beneficios.</p>	