

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALPARAÍSO-CHILE



**“EVALUACIÓN DE ROTACIÓN DE
MANDOS FINALES DE CAMIONES DE
CARGUÍO DE MINERAL COMO
ESTRATEGIA DE DISMINUCIÓN DE
COSTOS DE MANTENCIÓN”**

JORGE ANDRÉS HAWAS VARGAS

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESOR GUÍA: DR. ING. PEDRO SARIEGO PASTÉN

PROFESOR CORREFERENTE: ING. LUIS GUZMÁN BONET

Mayo - 2016

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a mis padres, que pese a luchar con mi carácter, siempre estuvieron ahí. A mis hermanos por ayudarme a concretar esta etapa, Yaya por darme la solución y la claridad en cada materia consultada y Elías por hacerme sentir el deber de finalizar esta etapa para concluir los procesos.

A ti Papá un luchador incansable, de esos que ven el error ajeno y que sabe que en el tiempo la verdad prosperará y se hará realidad, algo tan necesario para ti, A ti mamá por mostrarme que lo doméstico es siempre tan necesario como lo que solemos valorar en la sociedad, de ahí aprendí que toda gran tarea no es más que pequeñas tareas y logros diarios que nos llevarán a la consecución de las grandes metas.

A la Universidad por tatuarme el lema Ex Umbra In Solem en el alma, ya que en mi paso por esta fui de la sombra a la luz constantemente y aprendí que por más derrotado que te sientas, siempre debes luchar para ver la luz.

A mis profesores de tesis, les agradezco por ser unos verdaderos guías para la cantidad de ideas que se pueden plantear en un cerebro con tanta volatilidad, gracias por aplicar la disciplina necesaria para una persona acelerada.

A mis compañeros de Universidad por mostrarme el universo de personas existentes en el planeta y que enriquecieron el paso por esta Universidad.

Como olvidarte a ti mujercita, que con cariño me recordaste este deber sin parar, y además entregarme ese pedazo de cielo que es nuestro hijo y que me motivó para cerrar los procesos.

A todos mis abuelos por entregarme el valor del deber con cariño, y a ti Osvaldo que viajaste antes donde todos llegaremos y que siempre quisiste estar en este puesto. Eres tú quien está aquí.

A la familia laboral, esas personas con las que nos relacionamos por el simple hecho de trabajar y que me hicieron saber que esa frase de Gibrán Khalil Gibrán es tan cierta y se puede hacer realidad, “el trabajo es amor hecho visible”, Cristian, Francisco, Belarmino, Héctor, Marco, Ernesto, Luis, Khristopher, Jonathan, César, Patricio, Arnaldo y Alex.

A mis compañeros de balón que colocaron los colores a las sombras diarias y que me permitieron despejar mi mente en momentos tan necesarios.

Dedicatoria

A todos quienes están y estuvieron en este lindo proceso. Faltarían hojas para nombrarlos, pero espero se sientan cómplices de este logro tan importante para mí y mi familia, y que nos hace saber que, en una sociedad, todos dependemos de todos.

RESUMEN EJECUTIVO

Este trabajo se desarrolló bajo un periodo de labores que se llevó a cabo en una Empresa Minera, como “Ingeniero en Entrenamiento”, en el cual se determina que existen espacios para innovar en las estrategias de mantenimiento de la Gerencia de Mantención. Esto tiene que ver particularmente con desarrollar una estrategia de rotación de los mandos finales de los camiones para buscar el aumento de vida útil, trabajo simétrico y ahorro de recursos.

Si bien existen un sin fin de mejoras, innovaciones y oportunidades que son posibles de llevar a cabo, la estrategia que se planteó, introdujo varias ideas, aunar una vasta variedad de áreas y conocimientos existentes en el rubro minero, para sacar adelante esta estrategia. Por ejemplo, requerir el trabajo, experiencia e información de las áreas de planificación, confiabilidad y talleres, además de los conocimientos de elementos de máquinas, del denominado APD (Análisis Programado de Desgaste) y los análisis propios de los fabricantes.

Dentro de los objetivos que se plantearon en este trabajo estuvo el determinar la factibilidad técnica de realizar la rotación y el momento en el cuál se llevará a cabo. Esto es particularmente relevante debido a que determinó el éxito de la estrategia y para ello se analizaron registros de fallas de los componentes, análisis de aceites e información de las rutas de la mina. Todo esto para realizar un buen análisis y lograr exponer toda la información relacionada a la estrategia a ejecutar.

Además de determinar información técnica, formó parte del trabajo determinar el costo de ejecutar la estrategia para exponer claramente las variables valorizadas que disminuirán el beneficio económico que se pretende percibir.

Como último objetivo se determinó y cuantificó el riesgo al que se somete al aplicar la estrategia como parte del plan de mantenimiento, siendo este el último escalón a subir antes de implementar satisfactoriamente cada uno de los puntos previamente descritos.

Abstract

The current project is developed under a period of work carried out in a mining company as engineer in training, in which it is determined that there are spaces for innovation in maintenance strategies for the Maintenance Management. This is related particularly with develop final drive trucks rotation to seek to increase the useful life, symmetrical work and saving resources.

While there are endless number of improvements, innovations and opportunities that are possible to carry out the strategy that was proposed, introduced several ideas, join a wide variety of areas and existing knowledge in the mining sector, to take forward this strategy. For example, require work, experience and information in the areas of planning, reliability and workshops, in addition to knowledge of machine elements called APD (Scheduled Wear Analysis) and own analyzes of the manufacturers.

Among the objectives that were proposed in this work it was to determine the technical feasibility of perform rotation and the moment in which will be made. This is particularly relevant because determined the success of the strategy and components failure records were analyzed, oil analysis and mines route information. All this to make a good analysis and expose all information related to the strategy to run.

In addition to determining technical information, it was part of the work to determine the cost of implementing the strategy to clearly assess the variables that decrease the economic benefit that is intended to receive.

As ultimate goal it was identified and quantified the risks to which it is subjected to implement the strategy as part of the maintenance plan, which is the last step to climb before successfully implement each of the points previously described.

Tabla de contenido

1	Introducción	XI
2	Objetivos, Alcance, Resultados esperados y Estrategia de trabajo	1
2.1	Objetivo General	1
2.2	Ojetivos Específicos.....	1
2.3	Resultados esperados	1
2.4	Alcance	1
3	Estrategia de trabajo.....	2
4	Marco general	3
4.1	Datos Generales	3
4.1.1	Historia (1).....	3
4.1.2	Ubicación (2)	3
4.1.3	Instalaciones y capacidad (2).....	4
4.1.4	Composición del yacimiento (2).....	6
4.1.5	Organización de la empresa	6
4.2	Departamento de Planificación (3)	7
4.2.1	Objetivo del Departamento de Planificación	7
4.2.2	Propósito de Departamento de Planificación	7
4.2.3	Desarrollo del Presupuesto Anual de Mantenición	9
4.2.4	Planificación a Largo Plazo	9
4.2.5	Planificación a corto plazo.....	9
4.2.6	Planificación Diaria.....	10
4.2.7	Procedimientos de planificación	10
4.2.8	Trabajo encomendado.....	11
5	Marco Teórico.....	13

5.1	Camión de carguío de mineral	13
5.1.1	Diagrama Tren de Fuerza.....	13
5.1.2	Plano camión (Vista superior y lateral).....	14
5.1.3	Plano Mando final en corte	15
5.2	Engranajes.....	16
5.2.1	Función	17
5.2.2	Tipos (5).....	17
5.2.3	Fallas (6)	18
5.3	Aceites.....	19
5.3.1	Muestreo de aceites (7)	19
5.3.2	Normas sobre muestreo aceites (7)	19
5.3.3	Determinación del código ISO (recuento de partículas) (7) (8).....	20
5.3.4	Recomendación ISO Caterpillar para sistemas del camión	22
5.3.5	Pruebas de aceite – Análisis Programado de Desgaste (APD) (10).....	23
5.3.6	Espectrofotometría de Absorción Atómica (10)	24
5.3.7	Identificación de la causa y los efectos de desgaste en los componentes	26
6	Descripción de las condiciones de faena.....	30
6.1	Antecedentes del caso	30
6.1.1	Estudio de la ruta.....	36
7	Análisis de la factibilidad técnica para la realización de rotación	42
7.1	Explicación de la hipótesis.....	42
7.2	Factibilidad de realización	43
7.3	Análisis de Factibilidad.....	44
7.4	Comportamiento de la contaminación	56
7.5	Resultado del análisis de la estrategia.....	71

7.6	Sub-análisis Reparados Chile-Reparados Fábrica	77
7.7	Forma de ejecución.....	84
7.7.1	Seguridad	86
7.8	Ampliación a otras faenas.....	86
7.8.1	Benchmarking (Contaminación) - Caso: Manto Verde - CAT 777	88
8	Análisis económico.....	94
8.1	Costo de los recursos	94
8.2	Beneficio económico.....	96
8.3	Impacto de la estrategia en la gerencia de mantención	96
8.4	Influencia en el presupuesto.....	97
9	Conclusión	99
10	Bibliografía	105
	ANEXOS.....	107
	A DEFINICIÓN DE TRABAJOS Y ACTIVIDADES	107
	A.1 PRESUPUESTO ANUAL DE MANTENCIÓN.....	107
	A.2 Planificación a largo plazo.....	108
	A.3 Planificación corto plazo.....	110
	A.4 Planificación diaria.....	113
	B Kolmogorov -Smirnov	114

Tabla de Ilustraciones

Figura 3.1 Esquema estrategia de trabajo	2
Figura 4.1 Mapa ubicación Minera (2)	4
Figura 4.2 Mapa instalaciones (2).....	5
Figura 4.3 Organigrama empresa.....	6
Figura 4.4 Resumen actividades planificación.....	9
Figura 4.5 Diagrama proceso de planificación (3).....	10
Figura 4.6 Resumen encargados, tareas e información de planificación	11
Figura 4.7 Resumen tareas relacionadas a Estrategia	12
Figura 5.1 Diagrama tren de fuerza /1/ (4).....	14
Figura 5.2 Vista superior camión /1/ (4).....	15
Figura 5.3 Vista lateral camión /1/ (4).....	15
Figura 5.4 Plano en corte de mando final /1/ (4)	16
Figura 5.5 Fotografía de parche y vista microscópica (7).....	22
Figura 5.6 Requisito de diseño de limpieza de fluidos (9).....	23
Figura 5.7 Representación (10).....	25
Figura 5.8 Gráfico función de Beer (10).....	25
Figura 6.1 Distribuciones de mandos finales derechos en uso.....	33
Figura 6.2 Distribuciones mandos finales izquierdos en uso	33
Figura 6.3 Distribución mando final derecho cambiados	34
Figura 6.4 Distribución mando final izquierdo cambiados.....	34
Figura 6.5 Histograma mando final izquierdo (Actual)	35
Figura 6.6 Histograma mando final derecho (Actual)	35
Figura 6.7 Límites y obtención de parámetros (13).....	37
Figura 6.8 Evaluación ruta camiones de carguío Compañía Minera (13).....	38
Figura 6.9 Gráfica de parámetros Mining Fleet Productivity Optimization (13).....	40
Figura 7.1 Plano despiece Mando Final.....	42
Figura 7.2 Housing Mando Final	44
Figura 7.3 Histograma horas cambios de componentes.....	45
Figura 7.4 Aplicación Anderson-Darling a distribución.....	46
Figura 7.5 Cambios de mandos finales por año	47
Figura 7.6 Comparación por trimestre	48

Figura 7.7 Mandos Finales totales cambiados por meses	49
Figura 7.8 Gráfico modos de falla (porcentajes).....	51
Figura 7.9 Histograma horas cambios de componentes sin datos normales	54
Figura 7.10 Riesgo V/S horas	55
Figura 7.11 Intervalos de confianza para los elementos del S.O.S.	57
Figura 7.12 Histograma Hierro Compañía Minera.....	58
Figura 7.13Histograma Cobre Compañía Minera.....	60
Figura 7.14 Gráfico de dispersión camión 71 Flota Compañía Minera	61
Figura 7.15 Gráfico Modo de falla: Componentes.....	74
Figura 7.16 Resumen estadístico gráfico componentes reparados en Chile	78
Figura 7.17 Resumen estadístico gráfico componentes reparados en Fábrica.....	80
Figura 7.18 Resumen estadístico gráfico componentes reparados por PTT (Power Train Technologies).....	81
Figura 7.19 Tendencia Fe en flota CAT 777D (Manto Verde).....	89
Figura 7.20 Tendencia Cu en flota CAT 777D (Manto Verde)	90
Figura 7.21 Tendencia Pb en flota CAT 777D (Manto Verde).....	91
Figura 7.22 Intervalo de confianza para elementos muestreo de aceite.....	92
Figura 8.1 Potencial beneficio en la Gerencia de Mantención.....	97
Figura 8.2 Presupuesto Compañía Minera	98

1 Introducción

En las industrias en general existen un sinnúmero de actividades a realizar para mejorar el funcionamiento de estas, logrando en varias ocasiones la innovación gracias a la búsqueda del perfeccionamiento. El presente es precisamente un intento por plantear una mejora dentro de la industria minera, particularmente corresponde a un estudio de factibilidad de realización de una estrategia de mantenimiento.

Este estudio plantea específicamente, dentro de todo lo anexo que pueda generar, determinar la factibilidad técnica de ejecutar la estrategia sobre un componente, analizar la factibilidad económica y los riesgos asociados. Todo esto para aumentar la vida útil y reducir los costos de mantenimiento de una faena en particular, pero siempre tomando en cuenta el universo de empresas con potencial de aplicar esta mejora.

Esta estrategia es particularmente llamativa debido a la situación que atraviesan las empresas mineras producto de la baja en el precio del cobre, y la necesidad por realizar ajustes en los presupuestos de mantenimiento por parte de la Gerencia General y posteriormente ejecutada por el área de planificación.

El interés en analizar esta estrategia, es someter a evaluación una idea nacida desde las tareas encomendadas en el interior del departamento de planificación y que muchas veces queda sin evaluación, dejando de lado una parte importante de las labores y que se refiere a la innovación.

La forma de analizar esta estrategia es investigando las causas de los cambios de reparaciones, analizando desgaste de piezas y partes, revisando experiencias de otras faenas y ejemplos similares, para obtener como resultado la evaluación de cada uno de los factores que intervienen y la visualización de la factibilidad de realización.

Los desafíos a superar se encuentran en la falta de experiencias que desarrollen el estudio, la gran cantidad de variables que afectan el estudio y el acceso a la información.

Por otra parte, medidas como esta intenta impulsar un trabajo en equipo para lograr los objetivos planteados y buscan generar un efecto multiplicador sobre la generación de ideas innovadoras al interior de las empresas

El resultado esperado al ejecutar este trabajo es desarrollar una conciencia de mejora, exponer la información técnica utilizada en el rubro minero y finalmente conocer la factibilidad de realizar la estrategia y las condiciones sobre las cuales se debe realizar.

2 Objetivos, Alcance, Resultados esperados y Estrategia de trabajo

El presente trabajo se ve soportado por los siguientes fundamentos, que delinear el desarrollo posterior

2.1 Objetivo General

Determinar la factibilidad de realizar la rotación de los mandos finales como estrategia para lograr el funcionamiento simétrico del camión, aumento de vida útil del componente y la consecuente disminución del costo de mantención.

2.2 Ojetivos Específicos

- Definir a que faenas mineras aplica la medida.
- Evaluar la factibilidad técnica de realizar la rotación de los mandos.
- Evaluar medidas para priorizar camiones que puedan ser sometidos al cambio, definiendo medidasde evaluación y control.
- Evaluar los riesgos a la seguridad asociados a ejecutar la rotación.
- Determinar el costo y beneficio de ejecutar la rotación.

2.3 Resultados esperados

El resultado esperado de este trabajo de título es que la empresa cuente con toda la información necesaria para implementar finalmente la estrategia y que de esto resulte la extensión de la vida útil del componente en la flota completa de los camiones de la Minera, para así lograr una disminución relevante del costo de mantención de la Gerencia de Mantención.

Además es esperable que este estudio, posterior implementación y comprobación de los resultados permita implantar una cultura de innovación y optimización en la empresa, permitiendo además el trabajo en equipo para sacar adelante otras propuestas.

2.4 Alcance

El alcance del siguiente trabajo esta determinado por el reconocimiento de los factores necesarios para efectuar el estudio de factibilidad técnica, económica y de riesgo de la estrategia antes propuesta.

Este alcance se fija solamente en lo estrictamente necesario y esencial para evaluar la estrategia, considerando que existirán aspectos que se dejarán de lado para realizar solo una primera evaluación de la estrategia.

Considerando lo anterior, se dejará de lado un modelamiento del desgaste de las partes y se tomará en cuenta la información recabada con el personal de mantenimiento principalmente.

3 Estrategia de trabajo

La estrategia general de este trabajo se establece en la **Figura 3.1**:

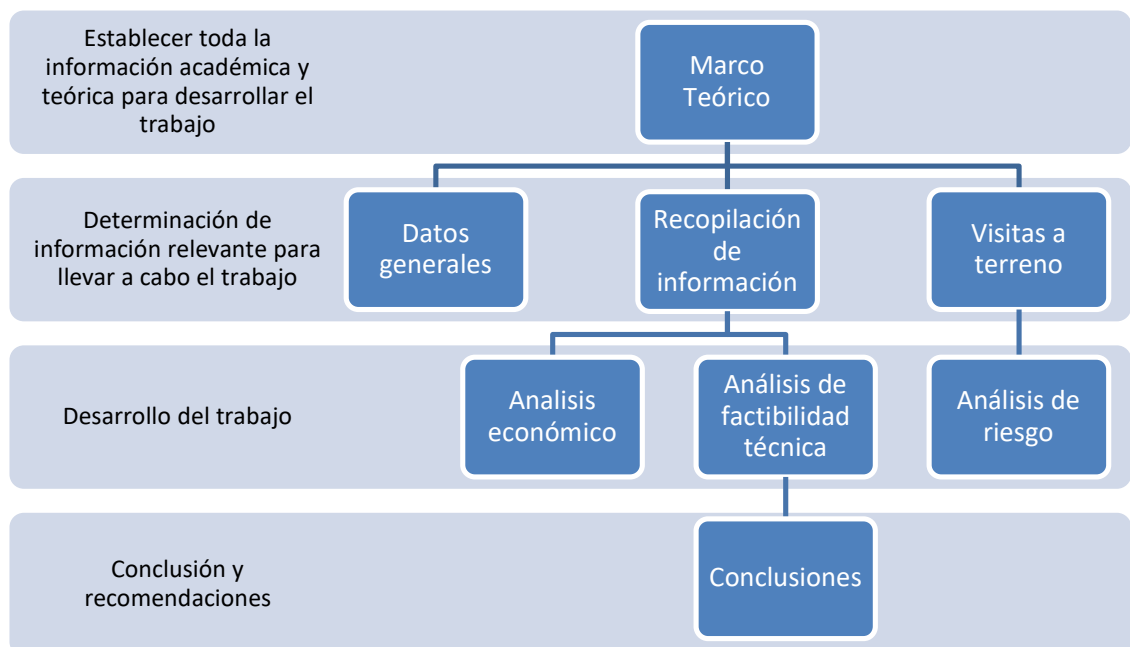


Figura 3.1 Esquema estrategia de trabajo

4 Marco general

4.1 Datos Generales

4.1.1 Historia (1)

La mina fue descubierta en 1987 como un depósito de cobre, oro y óxido de hierro, y comenzó a operar en 1993. Hasta octubre del 2014 la compañía estuvo controlada por una compañía estadounidense (80%) y un consorcio japonés (20%). Un conglomerado canadiense compró la participación de la compañía estadounidense en noviembre del 2014

4.1.2 Ubicación (2)

Compañía Contractual Minera es la empresa que opera la mina de cobre, ubicada en la Región de Atacama (III), en el norte de Chile.

Las minas 1 y 2 que pertenecen a la Compañía, se encuentran a una altitud aproximada de 650 metros sobre el nivel del mar, 20 km al sur de la ciudad de Copiapó y 650 km al norte de Santiago.

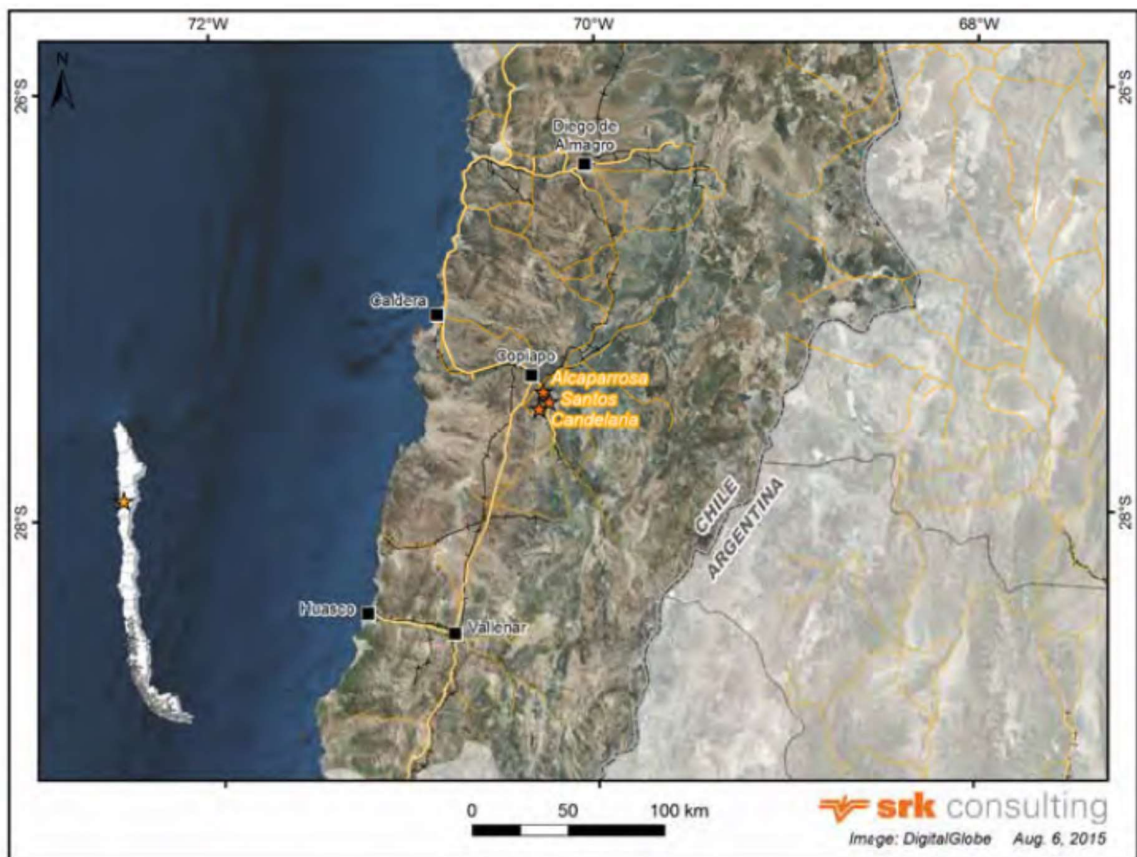


Figura 4.1 Mapa ubicación Minera (2)

4.1.3 Instalaciones y capacidad (2)

Sus instalaciones comprenden una planta de molienda, un concentrador y un puerto.

Mina 1 consiste de una mina a rajo abierto y una mina subterránea que provee mineral de cobre a una planta concentradora que se encuentra en el sitio con una capacidad de 75.000 toneladas por día. Mina 2 comprende dos minas subterráneas, 3 y 4. La mina 3 provee mineral de cobre a la planta concentradora del sitio con una capacidad de 3.800 toneladas por día, el mineral proveniente de la mina 4 es tratado en el concentrador de mina 1.

Mina 1 y 2 operan con su propia planta de procesamiento. La planta de procesamiento de Mina 1 recibe mineral desde el rajo, Mina 1 Norte (subterránea) y Mina 4 (subterránea). Esta tiene una capacidad nominal de 75.000 toneladas por día. La planta procesadora Mina 3 recibe

mineral desde la mina subterránea 3 y tiene una capacidad de diseño de 3.800 toneladas por día.



Figura 4.2 Mapa instalaciones (2)

El acceso a las propiedades de la Compañía, son de fácil acceso usando el Sistema de caminos públicos. El personal empleado por Mina 1 y 2 llega principalmente de la comuna de Copiapó. Copiapó es una ciudad moderna con todos los servicios regulares y una población de aproximadamente 160.000 personas.

4.1.4 Composición del yacimiento (2)

La mineralización de sulfuros de cobre y oro en Mina 1 es generalmente conocida como (iron oxide copper gold mineralization). La mineralización de sulfuros ocurre en brechas, cuerpos minerales de forma asimétrica o irregulares en donde el oro se encuentra en vetas entrelazadas, diseminación en andesita y unidad de toba interna. También hay algunos controles localizados a la mineralización, en forma de fallas, brechas, venas y foliación

El conjunto de mineralización en la mina 1, consiste en calcopirita, magnetite, piritita, pirrotita, esfalerita. Biotita, minerales calco-silicatos y feldespato potásico, constituyen los minerales de ganga. Alteración potásica generalizada está asociado a la mineralización.

El rajo opera con una tasa de movimiento de mineral de aproximadamente 270.000 toneladas por día, incluyendo las 66.000 toneladas por día de mineral enviado a la planta concentradora. La ley de mineral del material removido desde el rajo durante la vida útil restante de la mina es 0,57% de cobre.

4.1.5 Organización de la empresa

La empresa se compone de una organización departamental. El organigrama es el siguiente:

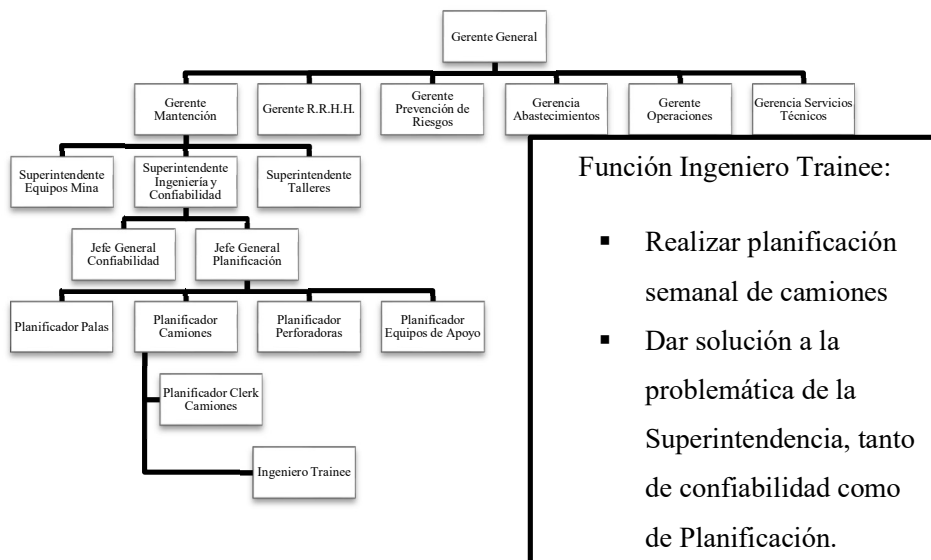


Figura 4.3 Organigrama empresa

La estrategia que se evaluará es planteada desde el cargo de Ingeniero Trainee de la Compañía, que como se observa en el Organigrama corresponde al cargo dependiente de la Gerencia de Mantenimiento, cuyo Superintendente es de Ingeniería y Confiabilidad, cuyo Jefe directo es el Jefe General de Planificación, pero que depende y trabaja a la par con el Planificador de Camiones.

Este cargo se desempeña bajo un Objetivo, Propósito, Definición de trabajos y actividades y una Medición de la efectividad previamente determinados. Estos lineamientos son planteados por la organización para sus faenas a nivel mundial.

Es necesario aclarar que el organigrama expuesto muestra solo parte de los cargos reales que posee la Compañía. Esto fue realizado colocar el énfasis en el área desde donde se plantea la estrategia.

4.2 Departamento de Planificación (3)

El departamento de planificación, es dependiente de la Gerencia de Mantenimiento, y dentro de esta Gerencia planifica la ejecución de todas las actividades de mantenimiento de la faena, tanto programadas como preventivas, predictivas e imprevistas.

4.2.1 Objetivo del Departamento de Planificación

Proporcionar planificación y coordinación del Sistema de Administración de Equipo. La Administración de Equipos Planificada maximizará la capacidad de producción, los tiempos operativos de los equipos, y permitirá la reducción de costos relacionados con fallas internas de los equipos. La Planificación es el primer paso en el proceso de ciclo cerrado que incluye: Planificación, Programación, Ejecución, y Medición y Análisis.

4.2.2 Propósito de Departamento de Planificación

El propósito es:

- Establecer un proceso de Administración de Equipos estandarizado aplicable a todas las operaciones nacionales e internacionales de la Compañía.
- Este proceso proporciona directrices para la planificación, programación, ejecución, medición y análisis del proceso de mantenimiento.

- Esto incluye todos los recursos internos y externos del área de mantención y se aplica a equipos fijos, equipos móviles e instalaciones de la faena.
- El proceso incluirá la administración de servicios contratados de mantención, quedando excluidos aquellos trabajos contratados que no sean funciones de mantención.
- El uso agresivo de Órdenes de Trabajo y su apropiada codificación es obligatorio en todas las faenas de la Compañía, según el propósito del proceso.
- Se medirá el uso de Órdenes de Trabajo en el sistema de apoyo y el Personal de Apoyo a Operaciones del Sistema proporcionará capacitación para el uso de Órdenes de Trabajo y su codificación.
- El Proceso consiste en la Planificación, Programación, Ejecución, Medición y Análisis.

Bajo estos propósitos es que se llega a plantear la estrategia, debido a que esta impacta directamente en cada una de las agrupaciones de trabajos y actividades determinadas por la corporación para la faena.

En el presupuesto de mantención anual, porque busca reducir el presupuesto. En la planificación de largo, corto plazo y diaria, porque en cada una hay un reemplazo de componentes que debe ser planificado y que es parte de la estrategia que se propone en este trabajo. Y además porque en cada una de las planificaciones es necesario aplicar

requerimientos de mantenimiento predictiva y preventiva.

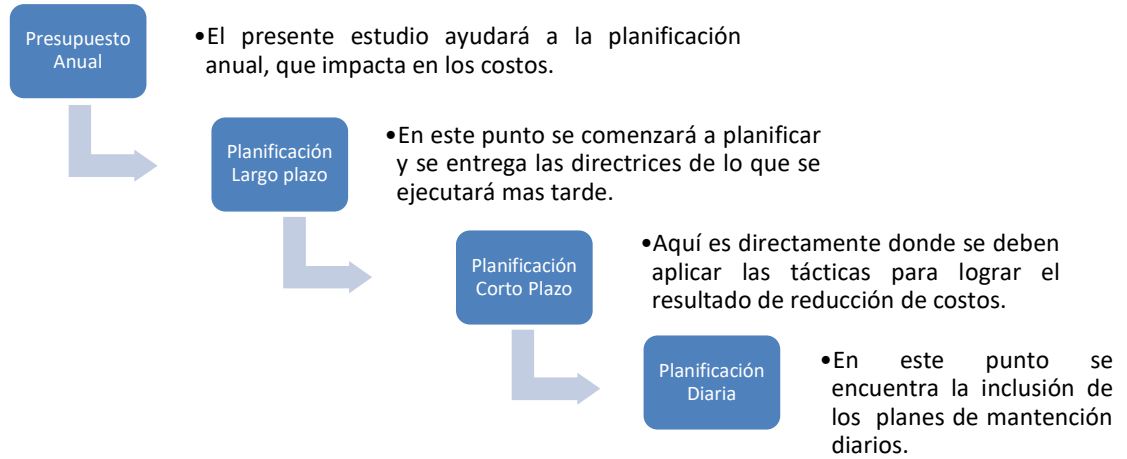


Figura 4.4 Resumen actividades planificación

A continuación, se explica con mayor detalle las actividades del departamento de mantenimiento en donde influye la estrategia en estudio.

4.2.3 Desarrollo del Presupuesto Anual de Mantenimiento

El desarrollo del Presupuesto Anual de Mantenimiento es responsabilidad del Gerente de Equipos, del staff de Mantenimiento y de Contabilidad. Éste debe incluir el presupuesto del año en curso y los planes de mantenimiento a cinco y diez años. El Presupuesto Anual de Mantenimiento es parte del presupuesto anual de cada faena.

4.2.4 Planificación a Largo Plazo

La planificación a largo incluye las actividades del año en curso y las del próximo. Los responsables de la preparación del Plan a Largo Plazo son, el Gerente de Equipos y el Departamento de Mantenimiento.

4.2.5 Planificación a corto plazo

La planificación a corto plazo incluye actividades de planificación menores que las incluidas en el plan a largo plazo, se incluye la planificación semanal, quincenal, semestral, días de

detención y proyectos. Los responsables de la preparación de la Planificación a Corto Plazo son, el Gerente de Equipos y el Departamento de Mantenimiento.

4.2.6 Planificación Diaria

Las actividades de planificación diaria son derivadas del plan a corto plazo y es un listado Órdenes de Trabajos definidas para ser programadas dentro de las actividades de mantenimiento de los próximos días. Los responsables de la Planificación Diaria son el Planificador de Mantenimiento y el Supervisor de Mantenimiento.

4.2.7 Procedimientos de planificación

Los procedimientos de planificación están esquematizados en la siguiente figura, que reúne cada una de las actividades que el planificador debe abarcar. Esta demuestra el ciclo antes mencionado de Planificación, Programación, Ejecución, Medición y Análisis.

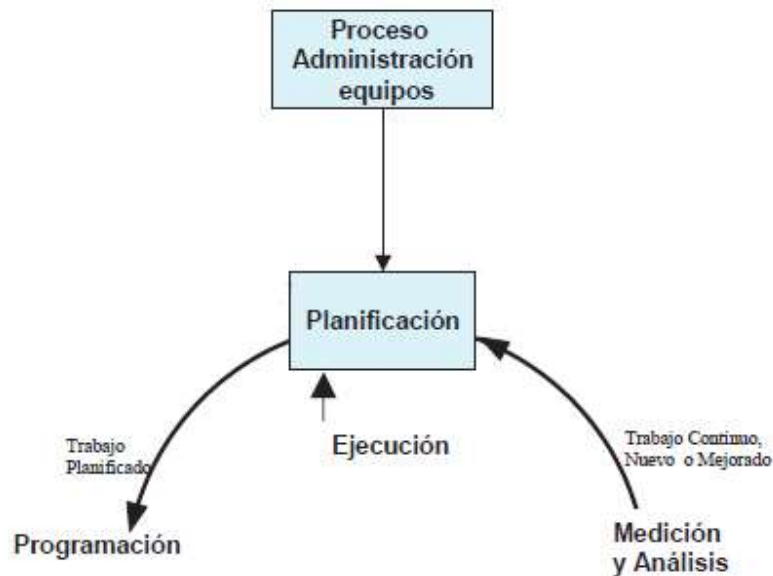


Figura 4.5 Diagrama proceso de planificación (3)

Encargados proceso de planificación	Tareas	Información a disponer
<ul style="list-style-type: none"> •Presupuesto Anual (Gerente de mantención, Depto. de mantención, Contraloría y operaciones) •Largo Plazo (Gerente de mantención, Depto. mantención y Operaciones. •Corto Plazo (Gerente de mantención, Depto. mantención y Operaciones) •Diaria (Planificador, Supervisor de mantención y Operaciones) 	<ul style="list-style-type: none"> •Identificar necesidades de materiales: Compras, bodega, subcontratista de mantención, Fabricantes y proveedores. •Decidir curso de acción a necesidades inmediatas. •Aprobar, Revisar tareas y borrar OT's. •Determinar recursos requeridos y tiempo de entrega. •Reservar recursos •Mantener administración de contratistas. •Realizar planificación de mantenciones. 	<ul style="list-style-type: none"> •Identificadores de grupo •Códigos para equipo/componente •Archivos de equipos •Archivos de componentes •Listado de partes •Grupo de trabajo •Archivos estadísticos •Archivos de monitoreo de condiciones •Capacitaciones •Seguridad •Habilidades del personal •Cumplimiento •Vacaciones y feriados de empleados •Evaluación de desempeño de empleados.

Figura 4.6 Resumen encargados, tareas e información de planificación

El detalle de las actividades que se deben realizar para ejecutar la planificación de la empresa se encuentra en los anexos del trabajo. Sin embargo, de todas las actividades que define la corporación para las faenas de esta, las que aplican a la estrategia en estudio son las que se resumen en el siguiente esquema. Estas actividades se enmarcan dentro del reemplazo de componentes y la utilización de la información proveniente de la ingeniería preventiva y predictiva de la faena.

4.2.8 Trabajo encomendado

Principalmente el trabajo encomendado en el Departamento de Planificación es realizar la planificación semanal de mantención de los camiones de carguío de mineral, dentro de esa tarea, se hizo necesario revisar los indicadores de disponibilidad, las alertas de falla de algunos componentes y la información de contaminación e inspección de los camiones para tomar las decisiones de que equipos ingresarían a mantención la semana siguiente a la determinación del plan. Esta tarea se realizaba con Project para poder especificar los tiempos y el recurso necesario para ejecutar las tareas.

Además, se realizaron actividades en SAP para ingresar las ordenes de trabajo y realizar el pago de las respectivas.

Durante la estadía se realizaron cursos de prevención de riesgos por trabajos en las diferentes áreas de la faena.

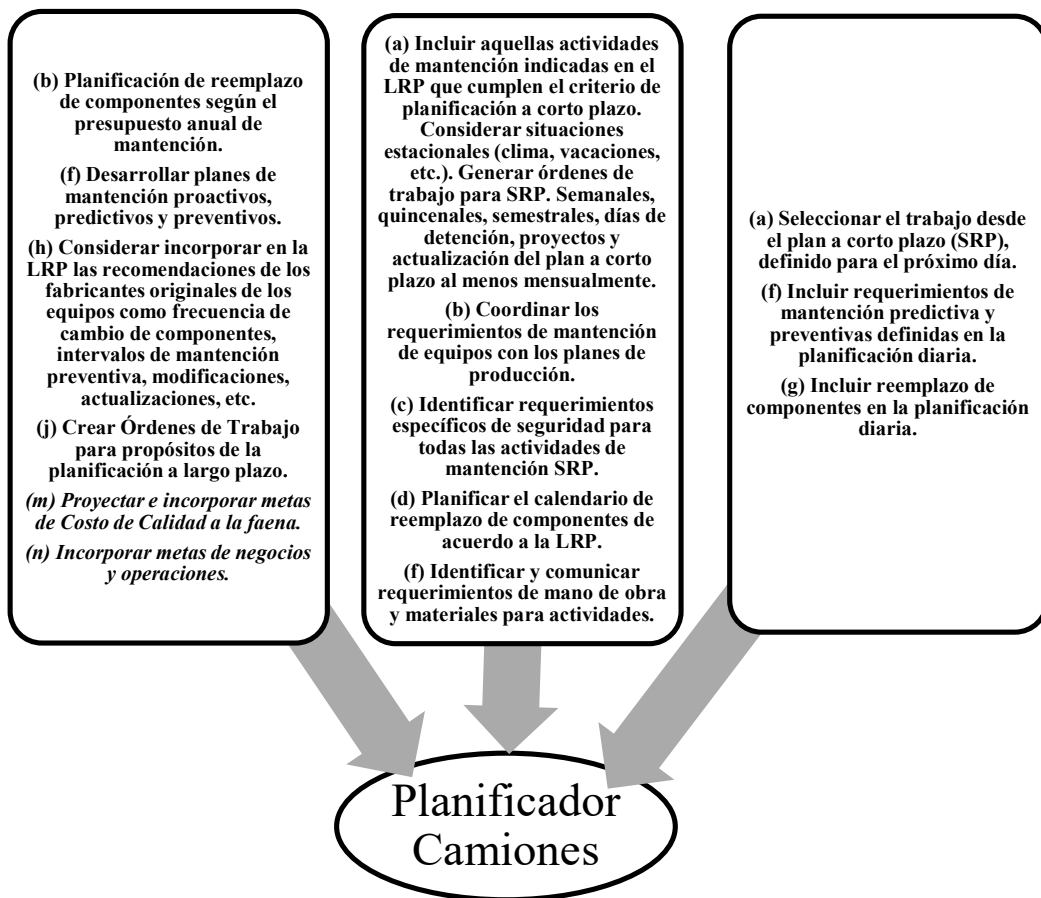


Figura 4.7 Resumen tareas relacionadas a Estrategia

5 Marco Teórico

Para desarrollar este trabajo es necesario revisar varios ítems para comprender el ámbito en el que se trabajará. Por un lado, se encuentra la conformación del componente que se está analizando y por otro la tecnología aplicada al análisis de los aceites y los análisis realizados sobre ellos. Los tópicos a exponer son:

1. Camión CAT 793
2. Engranajes planetarios
3. Muestreo de aceite
4. Análisis programado de desgaste (APD)
5. Espectrofotometría por absorción atómica
6. Código ISO

5.1 Camión de carguío de mineral

El camión que se estudiará es el camión convencional que posee transmisión de potencia mecánica. En orden el camión posee los siguientes componentes desde adelante hacia atrás:

- Motor
- Convertidor
- Transmisión
- Diferencial
- Mandos Finales

5.1.1 Diagrama Tren de Fuerza

Estos componentes permiten al motor transmitir la potencia hacia las ruedas. A continuación, se muestra un diagrama que representa la conformación que se expuso anteriormente. Este diagrama muestra de manera simple cada uno de los componentes dispuestos en el camión.

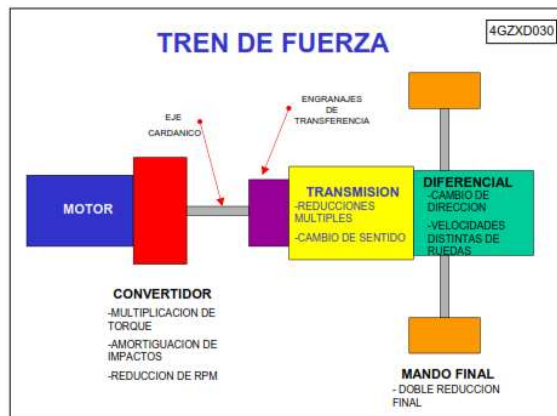


Figura 5.1 Diagrama tren de fuerza /1/

5.1.2 Plano camión (Vista superior y lateral)

Finalmente, para observar gráficamente la disposición de los componentes en el camión se presenta los siguientes diagramas que demuestran el camión desde su vista superior y lateral.

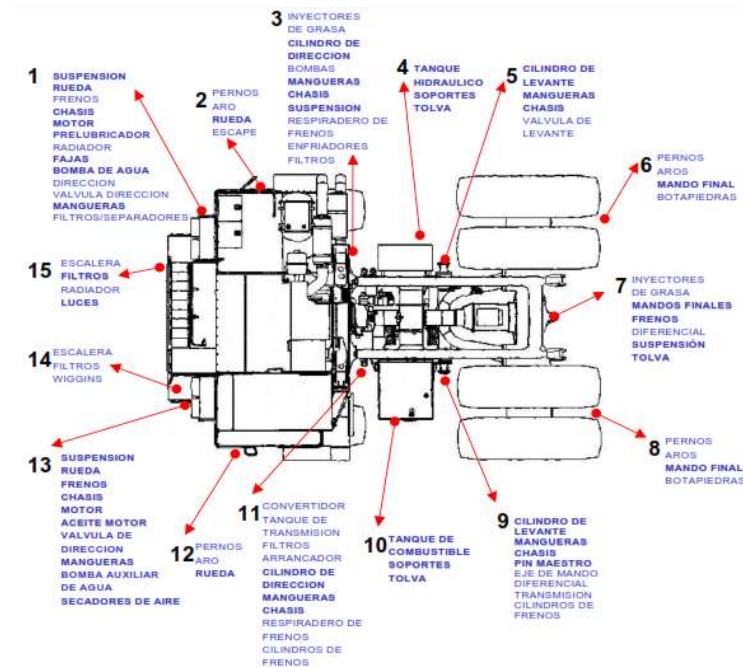


Figura 5.2 Vista superior camión /1/

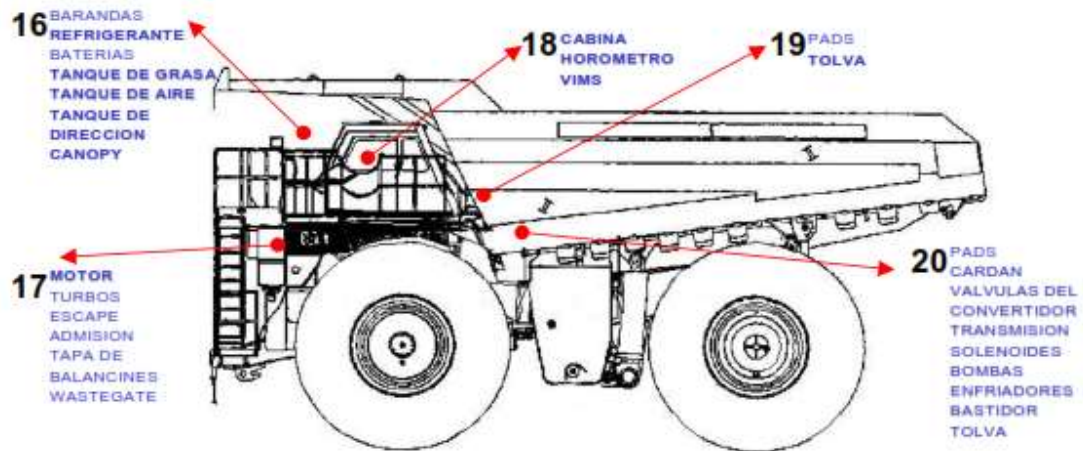


Figura 5.3 Vista lateral camión /1/ (4)

5.1.3 Plano Mando final en corte

Los camiones de carguío de mineral poseen dos mandos finales, uno en cada rueda posterior. Estos componentes transmiten la potencia que proviene desde el diferencial, a través del eje palier, hacia las ruedas para lograr el movimiento de camión. Los mandos finales poseen la engranajes planetarios que permiten realizar la función indicada anteriormente y que en este

camión trabajan con doble reducción. El componente propiamente tal tiene la siguiente estructura:

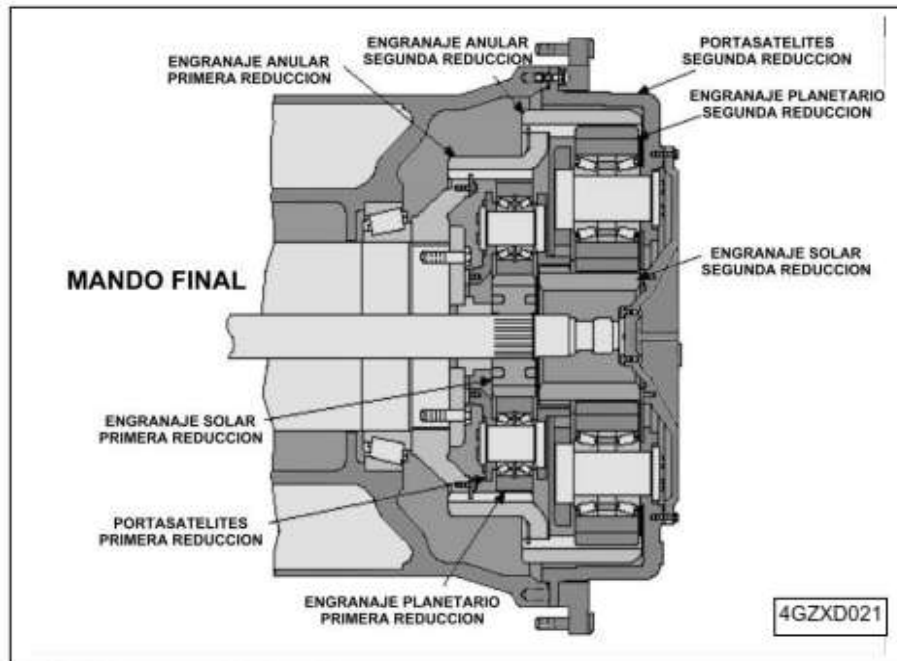


Figura 5.4 Plano en corte de mando final /1/

Los mandos finales poseen un sistema de ejes planetarios que transmiten, como ya se dijo, la potencia desde el eje palier hacia las ruedas, que finalmente impulsarán el camión físicamente.

5.2 Engranajes

Esta sección es incorporada al trabajo, debido a que la hipótesis sobre la que se sustenta esta estrategia, es que el desgaste que poseen los mandos finales y que propicia un cambio prematuro, es producto del desgaste de una de las caras de los engranajes, por lo que, se pretende utilizar las otras caras de los engranajes para alargar la vida del componente como ya se ha explicado con anterioridad. Para esto es que se propicia entender la composición del componente que se está analizando y describirlo de la mejor forma posible para finalmente complementar esto con los análisis de la data del comportamiento y poder concluir.

5.2.1 Función

Los engranajes son piezas fundamentales en las máquinas, estos permiten la transmisión de potencia, y se encuentran en una gran variedad de estas. Desde aviones, pasando por todos los medios de transporte, tanto terrestres y marítimos, hasta reductores de velocidad en plantas.

Las ventajas que poseen los engranajes sobre otros elementos de transmisión de potencia son las siguientes:

- Son relativamente sencillos de construir.
- Pueden transmitir grandes potencias.
- Están universalmente aceptados, por lo que su diseño está normalizado.
- Permiten obtener soluciones flexibles, adaptándose a diferentes necesidades de transmisión de potencia entre ejes

5.2.2 Tipos (5)

Los cuatro tipos principales de engranajes utilizados en las máquinas actualmente son:

- Engranajes rectos: Tienen dientes paralelos al eje de rotación y se emplean para transmitir movimiento de un eje a otro eje paralelo. De todos los tipos, el engrane recto es el más sencillo.
- Engranajes helicoidales: Poseen dientes inclinados con respecto al eje de rotación, y se utilizan para las mismas aplicaciones que los engranes rectos y, cuando se utilizan en esta forma, no son tan ruidosos, debido al engranado más gradual de los dientes durante el acoplamiento. Asimismo, el diente inclinado desarrolla cargas de empuje y pares de flexión que no están presentes en los engranajes rectos. En ocasiones, los engranajes helicoidales se usan para transmitir movimiento entre ejes no paralelos.
- Engranajes cónicos: Presentan dientes formados en superficies cónicas, se emplean sobre todo para transmitir movimiento entre ejes que se intersecan.
 - Engranajes cónicos en espiral: Se cortan de manera que el diente no sea recto, sino que forme un arco circular.
 - Engranajes hipoides: Son similares a los engranajes cónicos en espiral, excepto que los ejes están desplazados y no se intersecan.

- Tornillo sinfín o de gusano: El sinfín se parece a un tornillo. Los engranajes de sinfín se emplean sobre todo cuando las relaciones de velocidad de los dos ejes son muy altas, o sea, de tres o más.

Con estos tipos de engranajes es que se construye conjuntos de engranajes como los conjuntos de engranajes planetarios o epicíclicos. Estos siempre incluyen un engranaje sol, un portador planetario, o brazo, y uno o más engranajes planetarios. Estos mecanismos son inusuales porque tienen dos grados de libertad, lo que significa que, para movimiento restringido, un tren planetario debe tener dos entradas.

En el caso de los mandos finales, el tipo de engranaje utilizado, es el engranaje recto dispuesto en un conjunto de planetarios, por lo que se cuenta con solar, portador planetario, corona y tres engranajes planetarios. Cabe mencionar que poseen 2 reducciones por lo que cuentan con 2 sistemas iguales por mando pero con diferentes diámetros de engranajes.

5.2.3 Fallas (6)

Para comprender el desarrollo que posteriormente tendrá este trabajo, es que se hace necesario conocer los dos principales tipos de falla que presentan los engranajes:

1. Fallas por flexión de los dientes
2. Fallas por picadura de las superficies de los mismos

La falla por flexión ocurrirá cuando el esfuerzo significativo del diente es igual o excede la resistencia a la fluencia o el límite de resistencia a la fatiga por flexión.

Mientras tanto una falla superficial ocurre cuando el esfuerzo significativo de contacto es igual o excede el límite de resistencia a la fatiga de la superficie. Esta falla ocurrida en la superficie de los dientes de los engranajes suele llamarse desgaste. Dentro de estas fallas existen tres tipos:

1. Picadura: Falla superficial por fatiga debida a muchas repeticiones de esfuerzo de contacto elevado.
2. Rayado: Falla superficial por falta de lubricación.
3. Abrasión: Falla superficial que provoca el desgaste debido a la presencia de material extraño.

5.3 Aceites

Los aceites constituyen parte importante de las máquinas y sistemas utilizados hoy en día. Estos realizan varias funciones dentro de ellos, en algunos casos les corresponde la transmisión de potencia y en otros la lubricación. Parte importante es que los aceites utilizados en los componentes, se encuentren limpios y por lo tanto sin impurezas, sin embargo, en la práctica esto es casi imposible debido a que se incorpora contaminación durante el proceso de elaboración o durante el proceso de operación mediante el desgaste de las piezas y partes que componen los diferentes sistemas.

5.3.1 Muestreo de aceites (7)

Con el propósito de lograr el mejor rendimiento y confiabilidad de los equipos al costo más bajo posible es que se busca controlar el nivel de contaminación de los aceites. Para ello se han desarrollado Normas Internacionales, técnicas e instrumentos de determinación de elementos que pretenden establecer una nomenclatura homogénea para finalmente determinar la cantidad, tamaño y tipo de elementos existentes en los aceites, para establecer en qué nivel pueden operar los sistemas evitando las fallas y retardando el reemplazo o reparación.

Un análisis de aceite debería incluir como mínimo:

1. Recuento de partículas
2. Contenido de agua en ppm
3. Viscosidad
4. Nivel de acidez

Además, si es de interés conocer el contenido de aditivos y elementos, debería ser efectuado un análisis espectral.

5.3.2 Normas sobre muestreo aceites (7)

Existen normas establecidas por ASTM, DIN y ISO, pero sin embargo la utilizada en las faenas es la última, ya que, establece las cantidades y tamaños de las partículas existentes en los aceites. Específicamente la Norma utilizada es la ISO 3938 y 4406 que propone escalas de medida de los aceites que permitirán al usuario definir con qué nivel de limpieza mantiene sus los diferentes sistemas de su equipo.

5.3.3 Determinación del código ISO (recuento de partículas) (7) (8)

La determinación del código ISO se basa en los métodos descritos en la Norma ISO 3938 y utilizando las fotografías o representaciones gráficas de la Norma ISO 4406 que deriva en la selección de los códigos respectivos desde las tablas.

El código ISO de un aceite lo componen dos números o tres números separados por una raya oblicua. El primero representa el número de partículas mayores a 5 μm en un cm^3 y el segundo el número de partículas mayores a 15 micrones en 1 cm^3 de aceite. Para el caso en que se informan 3 números separados por rayas oblicuas el primero corresponde a cantidad de partículas mayores a 4 μm , el segundo mayor a 6 μm y el tercero mayor a 14 μm . Es importante destacar que las fallas imprevistas en un sistema que utiliza aceite son causadas a menudo por la existencia de partículas grandes ($>14 \mu\text{m}$) en el aceite del sistema. Por el contrario, las fallas que se desarrollan en forma progresiva, son provocadas por partículas más pequeñas (4-6 μm).

Para aceites nuevos los códigos ISO solicitados por usuarios de aceite hidráulico es 14/12 y 13/16. El último es el más complicado de cumplir debido a que corresponde a una menor cantidad de partículas menores de 5 micrones. Sin embargo, en la práctica los aceites hidráulicos comercializados tienen un nivel de contaminación correspondiente a un código 19/17. En general, para un aceite usado el código ISO encontrado se encuentra en torno a 22/20, código generado en base a la oxidación y el desgaste de piezas, sin embargo, las siguientes tablas permiten una mejor caracterización:

Tabla 1 Referencia de la contaminación para sistemas de aceite hidráulico y de lubricación (7)

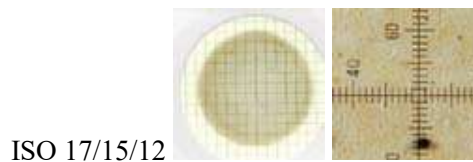
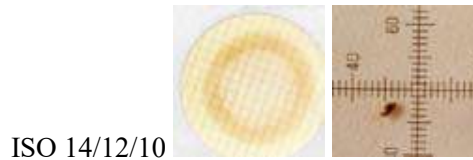
Código ISO	Descripción	Apto para	*
ISO 14/12/10	Aceite muy limpio	Todos los sistemas de aceites	8,5 kg
ISO 16/14/11	Aceite limpio	Servo e hidráulicos de alta presión	17 kg
ISO 17/15/12	Aceite ligeramente contaminado	Sistemas de aceite de lubricación e hidráulicos estándar	34 kg
ISO 19/17/14	Aceite nuevo	Sistemas de media a baja presión	140 kg
ISO 22/20/17	Aceite muy contaminado	No apto para sistemas de aceites	$>589 \text{ kg}$

Tabla 2 Referencia de la contaminación para engranajes (7)

Código ISO	Descripción	Apto para	Factor de mejora	*
ISO 14/12/10	Aceite muy limpio	Todos los sistemas	200 %	8,5 kg
ISO 16/14/11	Aceite limpio	Sistema de engranajes críticos	150 %	17 kg
ISO 17/15/12	Aceite ligeramente contaminado	Sistemas de engranajes estándar	100 %	34 kg
ISO 19/17/14	Aceite nuevo	Sistemas de engranajes no críticos	75 %	140 kg
ISO 22/20/17	Aceite muy contaminado	No apto para sistemas de engranajes	50 %	>589 kg

* kg de partículas sólidas que pasan anualmente por la bomba del sistema, con respecto al código ISO dado.

Algunos códigos con la respectiva membrana de prueba junto a la fotografía microscópica son mostrados a continuación para mantener una idea gráfica de cómo se determinan los códigos en la práctica. (7)



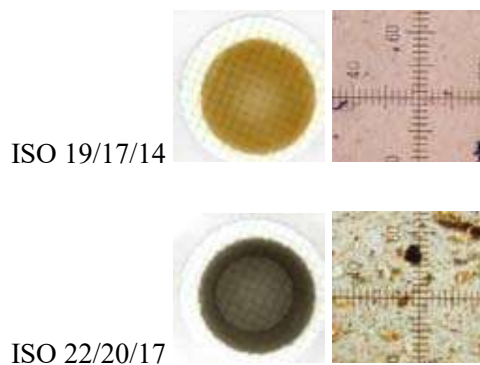


Figura 5.5 Fotografía de parche y vista microscópica (7)

Para realizar los conteos de partículas, es recomendable utilizar sobre 25 cm³ de aceite como muestra. Siendo las partículas mayormente encontradas las de naturaleza silícea, orgánica, óxidos o metales. La determinación de la naturaleza permite conocer el origen de la contaminación para ejecutar medidas de corrección.

Para que estas Normas tengan un sentido, las empresas deben implementar un plan de inspección y muestreo de aceites de los componentes de sus equipos, para establecer una base de datos que permita determinar la tendencia en el desgaste de las piezas en cada uno de los componentes de los equipos.

5.3.4 Recomendación ISO Caterpillar para sistemas del camión

El siguiente recuadro, es un informativo que entrega Caterpillar a los Dealer de las diferentes zonas, para indicar los niveles de limpieza que deben tener cada uno de los sistemas de los camiones. Esto son los Target o niveles objetivo de limpieza en los cuales se deben mantener los componentes de los camiones para prolongar la vida de ellos a los niveles esperados de duración.

797Y Functional Specification Change Request Form													
Requested By: Dick Douglas/Jeff McCullough	Date Requested: 12/8/2006												
Change Request Description													
Change Description (include impacted objectives, deliverables and any new objectives and deliverables)													
Functional fluid cleanliness specs for filtered system performance (except engine). System filtration for steering, hydraulics, transmission and rear axle will be designed to achieve and maintain ISO levels listed in table or cleaner throughout the PM interval. Spec applies after system break-in is complete for new components.													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Compartment</th> <th>ISO Cleanliness Target</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rear Axle Oil</td> <td>18/15</td> </tr> <tr> <td>Steering/Fan</td> <td>18/15</td> </tr> <tr> <td>Brake Control</td> <td>18/15</td> </tr> <tr> <td>Transmission/TC</td> <td>18/15</td> </tr> <tr> <td>Hoist/BK CLG</td> <td>21/17</td> </tr> </tbody> </table>	Compartment	ISO Cleanliness Target	Rear Axle Oil	18/15	Steering/Fan	18/15	Brake Control	18/15	Transmission/TC	18/15	Hoist/BK CLG	21/17	
Compartment	ISO Cleanliness Target												
Rear Axle Oil	18/15												
Steering/Fan	18/15												
Brake Control	18/15												
Transmission/TC	18/15												
Hoist/BK CLG	21/17												
Business Or Technical Justification For Change Request													
Cleaner oil extends hydraulic and powertrain component life. This spec supports the goal of 33% improvement in wheel group B10 life and increases the probability of achieving or exceeding B10 goals for the transmission, steering, and hydraulic systems. Extended component life results in lower cost per ton and lower MARC rates. Large customers are also asking for more capable onboard systems to allow them to manage fluid cleanliness.													
Priority													
<input type="checkbox"/> Top <input checked="" type="checkbox"/> High <input type="checkbox"/> Medium <input type="checkbox"/> Low													
Impact Of Not Making The Change													
Increased risk of shorter B10 life due to increased wear from contamination.													

Figura 5.6 Requisito de diseño de limpieza de fluidos (9)

En la tabla es posible observar que el código de limpieza para el tren trasero (Rear axle Oil), esto quiere decir mandos finales y diferencial, es de un código ISO de 18/15. Esta además es posible observar la advertencia de que un aceite limpio aumenta la vida útil de los componentes, impactando en la disminución del costo por tonelada.

5.3.5 Pruebas de aceite – Análisis Programado de Desgaste (APD) (10)

Caterpillar ha desarrollado planes de mantenimiento constante a los equipos que incluyen tres ejes fundamentales:

1. Mantenimiento preventivo
2. Análisis continuos del estado de los equipos
3. Mantención registro histórico de reparaciones realizadas en los equipos

El análisis continuo está sustentado en los principios y técnicas de la Espectrofotometría por Absorción Atómica. Estas tres tareas intentan disminuir los costos de mantención considerando el reemplazo programado de los componentes según el desgaste que estos estén presentando. Esto porque se considera que los costos de cambiar un componente antes de la falla son menores a los costos de cambiarlo después de ocurrida la falla.

El análisis programado de desgaste es un programa que basado en el análisis periódico de aceite detecta tendencia de desgaste en las piezas de los componentes, permitiendo la detección de fallas antes de que ocurran, otorgando los siguientes beneficios:

- Reducir costos de operación.
- Evitar fallas graves
- Reducir tiempos de detección de fallas
- Aumentar disponibilidad de equipos
- Programar reparaciones
- Apoyar al personal de mantención

Mediante este análisis alarga el tiempo de cambio de los lubricantes y determina en forma más precisa el tiempo de cambio de los componentes mediante la observación de las tendencias de elementos propios de piezas y partes del componente y elementos externos a este. Todas estas acciones y análisis lograrán que el personal de mantención planifique las futuras acciones de mantenimiento y reparación previo a una falla catastrófico y grave.

5.3.6 Espectrofotometría de Absorción Atómica (10)

La espectrofotometría de absorción atómica, es la técnica utilizada por Caterpillar para determinar las cantidades de los elementos presentes en las muestras de aceite de los diferentes componentes de los equipos de las faenas mineras.

La técnica consiste, en palabras simples, en aplicar luz con una longitud de onda en particular sobre un conjunto de átomos disociados para medir la absorción y conocer mediante la diferencia, la cantidad de concentración (p.p.m.) de un elemento existente. Esto se logra sabiendo que un determinado elemento absorbe solo una determinada longitud de onda, por lo que al enviar una precisa longitud de onda y realizar la diferencia con lo medido al final, se conocerá la respectiva cantidad de un determinado elemento.

Para esquematizar la técnica se presenta la siguiente imagen. En ella es posible observar claramente la técnica utilizada.

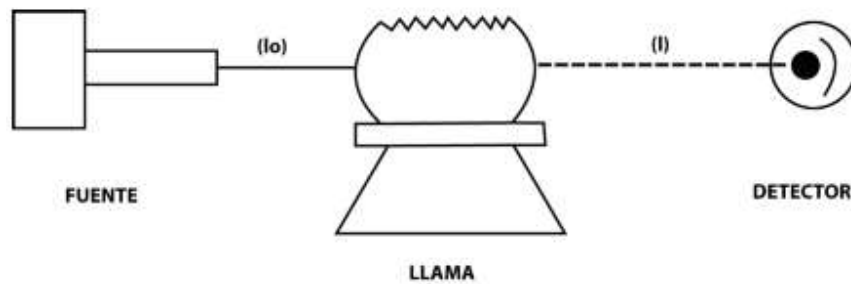


Figura 5.7 Representación (10)

La ley utilizada para determinar la concentración del elemento y realizar una equivalencia con el nivel de luz absorbida es la ley de Beer. Esta plantea una proporcionalidad entre la absorción y la concentración del elemento.

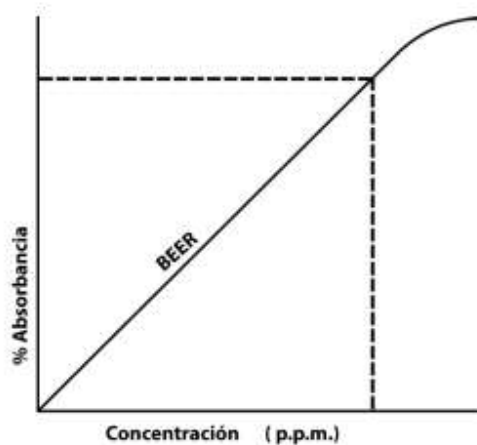


Figura 5.8 Gráfico función de Beer (10)

El equipo que realiza esta función es el espectrofotómetro. Este equipo busca la concentración de partículas de contaminación en P.P.M. (partes por millón) en el aceite. Específicamente los elementos a medir son:

- Hierro (Fe)
- Cobre (Cu)
- Cromo (Cr)
- Aluminio (Al)
- Silicio (Si)

- Plomo (Pb)
- Magnesio (Mg)
- Molibdeno (Mo)
- Sodio (Na)

Conocer las cantidades de elementos presentes en un aceite es solo una primera parte de análisis, el resultado de la determinación de las cantidades de elementos en los aceites, es el establecimiento de patrones de desgaste de los componentes. Es así que sabiendo la composición de cada una de las partes de un componente y evaluando la presencia de un elemento es posible conocer que parte del componente es el que está sufriendo un mayor desgaste.

5.3.7 Identificación de la causa y los efectos de desgaste en los componentes

Los análisis de aceites son un instrumento muy útil para predecir el comportamiento de un determinado componente y es una buena primera aproximación a la determinación tanto del desgaste normal que puede estar teniendo un componente, como también para definir el tipo de falla que está produciéndose y en que pieza del componente.

Sin embargo, frecuentemente se utilizan los análisis de aceite, pero falta que generen esa diferencia en la reducción de los costos de mantenimiento. Esto, porque se utiliza el análisis de aceite con límites genéricos y falta un análisis más particular en cuanto a los elementos que aparecen en los reportes y adaptar los límites a lo que ocurre en una faena en particular.

Para lo anterior, es que se muestra a continuación tres puntos importantes, lo que entrega Caterpillar como los problemas que ocurren y elementos que aparecen en las muestras de aceite junto con el daño que se puede estar produciendo. Esto sumado a la experiencia que entrega Shell de acuerdo a los elementos y las posibles piezas que estarían fallando y finalmente se entregan los límites condenatorios para los componentes en análisis en este trabajo. Cabe destacar que los límites condenatorios son los más ajustados a la realidad de los datos encontrados y demuestran una comparación válida.

5.3.7.1 *Finning: Combinaciones clásicas de elementos de desgaste*

Finning, el representante de Caterpillar indica el objetivo de los análisis de aceite en conjunto con describir la necesidad de comprender los elementos de desgaste que se producen. Ellos explican la procedencia de algunos elementos encontrados en los reportes.

Lo importante de esta información, es que aportará en el análisis posterior que se realizará con la contaminación de los camiones de carguío de mineral de este trabajo y para las decisiones respecto de la estrategia que aquí se está analizando. Para ello, Finning en su página entrega las combinaciones clásicas de elementos de desgaste, los daños potenciales y las probables causas de estas.

Con respecto a los Mandos Finales es dispuesta en la página la siguiente tabla relacionada a estos componentes:

Tabla 3 Causas y efectos de desgaste de componentes (11)

Elemento primario	Elemento secundario	Daño potencial	Problema probable Área/Causas
Sílice (suciedad)	Fierro, Aluminio	Engranajes	Contaminación por suciedad, contaminación por suelos arcillozos
Fierro	Sodio, cromo	Engranajes, rodamientos	entrada de agua, pérdida de precarga

En la Tabla 3 se muestra la relación de la aparición de un elemento específico, que se complementa con la aparición de otros elementos y que permiten determinar la pieza que está fallando.

5.3.7.2 *Shell: Fuentes de elementos de desgaste*

Por su parte, Shell proveedor de aceites, establece otra base de comparación más amplia para determinar las piezas que se ven afectadas al ver algún elemento con una tendencia al alza en los reportes de los análisis de aceite. Esta información se expone a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 4 Correlación elemento en muestra v/s pieza en desgaste (12)

Mandos Finales											
Piezas dañadas/Elemento	Cobre (Cu)	Hierro (Fe)	Cromo (Cr)	Níquel (Ni)	Aluminio (Al)	Plomo (Pb)	Estañó (Sn)	Molibdeno (Mo)	Silicio (Si)	Sodio (Na)	Potasio (K)
Aditivos de Aceite	X									X	
Golillas de Empuje	X						X				
Rodamiento de bronce	X										
Rodamiento		X									
Rodamiento de rodillo/bola			X	X							
Rodamiento de manguillo de aleación					X						
Engranajes		X		X							
Eje Palier		X									
Ejes		X		X							
Cajas		X									
Carcaza				X							
Reten de sello					X						
Entrada de aire					X				X		
Grasa con molibdeno								X			
Grasas con silicio									X		
Aditivo antiespumante									X		
Entrada de agua										X	X
Condensación										X	X

Esta tabla es más completa que la de Finning, por lo que posee un espectro mayor de elementos, esto permitirá complementar el análisis de mejor forma.

5.3.7.3 Shell: Límites condenatorios

Por último, se entregan los límites condenatorios entregados por Shell para los Mandos Finales de Camiones fuera de carretera. Estos mostrarán que tan normales y en buen estado se encuentra el desgaste de los componentes en la flota de la Compañía Minera.

Tabla 5 Límites condenatorios establecido por Shell Lubricantes

Análisis	Método	Unidades	Límite Inferior		Límite Superior	
			Rojo	Amarillo	Amarillo	Rojo
Visc. 100 C	ASTM D445	cSt	-30%	-20%	20%	30%
Contenido de agua	ASTM D6304	ppm	X	X	500	2000
Espectrometría	ASTM D5185					
Aluminio		ppm	X	X	15	50
Fierro		ppm	X	X	40	100
Cromo		ppm	X	X	10	20
Cobre		ppm	X	X	25	50
Plomo		ppm	X	X	10	25
Sodio		ppm	X	X	10	20
Silicio		ppm	X	X	15	20

Con esta tabla será posible comparar los niveles de contaminación existentes en los mandos de la faena y analizar el estado en el que está.

6 Descripción de las condiciones de faena

La faena se encuentra en la Región de Atacama, esta región es principalmente desértica, en la que el clima preponderante es el semiárido. La temperatura media anual es de 18 °C y el punto más relevante, es que la humedad tiende a disminuir en la medida que se traslada hacia el interior de los valles y cordones de cerros transversales. Las temperaturas lógicamente son en promedio superiores en verano y llegando en promedio a los 28 °C, sin embargo, durante el año constantemente se encuentran días en que las temperaturas sobrepasan los 21 °C.

Específicamente en este trabajo se centrará el estudio en la flota de camiones que posee el rajo, es por esto que se hace necesario resaltar que en este se trabaja a Peak Final. Esto se debe al espacio reducido que posee la faena ya que colinda con Tierra amarilla, con el camino público y con la planta de molienda. Esto es particularmente importante por las altas pendientes que deben soportar los camiones y por ende sus componentes. En la práctica el punto más bajo de la mina se encuentra en los 770 m.s.n.m., el chancador y el botadero se encuentran en los 421 m.s.n.m. y 770 m.s.n.m.

Cabe destacar que la calzada por la que circulan los vehículos, particularmente los camiones de carguío de mineral, es la izquierda. Por lo que la berma de los caminos las enfrenta por el lado izquierdo también el camión.

La flota de camiones que posee la Compañía Minera, se encuentra compuesta por camiones fabricados por Caterpillar, específicamente modelo 793, de las series B, C y D. La flota está compuesta por 37 camiones en operación, más aproximadamente 10 camiones fuera de operación por diferentes motivos.

Es importante destacar que la meta de horas de duración de los mandos finales es de 22.000 en este momento, mientras tanto que la anterior fue de 14.000 horas. Por lo que estrategias como esta pueden beneficiar la extensión horaria serán provechosas para la faena.

6.1 Antecedentes del caso

Para desarrollar una solución para la estrategia de mantención de los mandos finales, es necesario exponer algunos antecedentes relacionados a las recomendaciones entregadas por el fabricante del componente, junto con mostrar el comportamiento de la duración actual de los

componentes del tren de potencia en general (desde donde nace la estrategia de mejora) y luego en particular de estos componentes, para finalizar con algunas particularidades a las que se ve sometido el camión y que podrían constituir una evidencia del comportamiento de la duración de los componentes.

Según Caterpillar (9) la forma más eficiente de reducir el costo por hora del tren de potencia es extender la vida de sus componentes, para así utilizar el cien por ciento de su potencial. La forma más eficaz de lograr esto, según Caterpillar, es operar el componente con aceite extremadamente limpio durante toda su vida útil.

Caterpillar afirma que el 70 por ciento del costo total del ciclo de vida de un camión para minería (menos el costo del combustible, neumáticos y operador), se consumen en el tren de potencia. Caterpillar declara que de ese 70 por ciento, el 40 por ciento corresponde al eje trasero (mandos finales y diferencial) (9).

Para lograr extender la vida útil en base a mantener la limpieza del aceite, se han llegado a implementar carros de filtrado de los aceites, logrando así realizar filtrados a los aceites de los diferenciales y mandos finales durante las mantenciones programadas, creyendo aun así que es posible seguir un poco más allá y ejecutar rotaciones en los mandos en el momento preciso para así aprovechar aún más el potencial de estos.

La idea de rotar los mandos nace de un estudio realizado en la Compañía Minera por personal de Dealer, en el cual se analiza la duración de los motores producto de la alta tasa de fallas y gran cantidad de motores cambiados. Es así como se complementa el estudio con medidas para aumentar la vida útil de los motores y además se continúa con el análisis de cada uno de los componentes del tren de potencia. Los resultados determinados luego de realizado este análisis fueron los siguientes:

Tabla 6 Duraciones históricas y actuales de componentes del tren de potencia

Resumen	Promedio actual	Desviación estándar	Promedio de los cambios	Desviación estándar
Motor	4.576	2.712	10.668	3450
Convertidor	5.471	4.099	12.311	3.881
Transmisión	6.044	4.542	9.061	3.901
Diferencial	6.323	4.448	12.051	3.063
MFD	7.169	4612	9.374	3.714
MFI	6.951	4814	10.635	3.166

Luego de obtener esta información se proponen medidas para que los componentes extendieran sus vidas, algunas de las cuales ya las tienen consideradas, se plantea que la diferencia en el desgaste de los mandos podría ser disminuida, y, por lo tanto, llegar con ambos componentes con igual desgaste al fin de su vida útil o reparación, como también extender la vida útil del componente. Para ello es necesario conocer algunas de las causas.

Como resultado del análisis y determinación de diferencias en los desgastes de los mandos, es que nace la inquietud de lograr homogeneidad en el desgaste por lo que se evalúan posibles causas y técnicas para lograrlo. En esta inquietud es que se produce el aporte de personal de taller que hace referencia a que los mandos son intercambiables y que uno derecho se puede utilizar en el lado izquierdo y viceversa. Además, personal de Confiabilidad de la Compañía Minera hace mención en que en base a la experiencia esta estrategia de rotación se ha realizado en otras faenas.

Para esto primero se graficó el comportamiento, a esa fecha, de los mandos finales, lo que dio como resultado las siguientes gráficas:

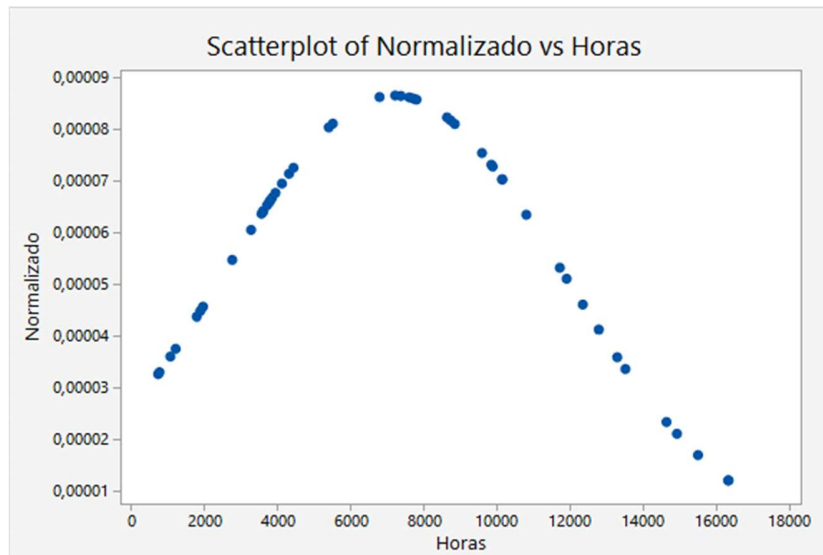


Figura 6.1 Distribuciones de mandos finales derechos en uso

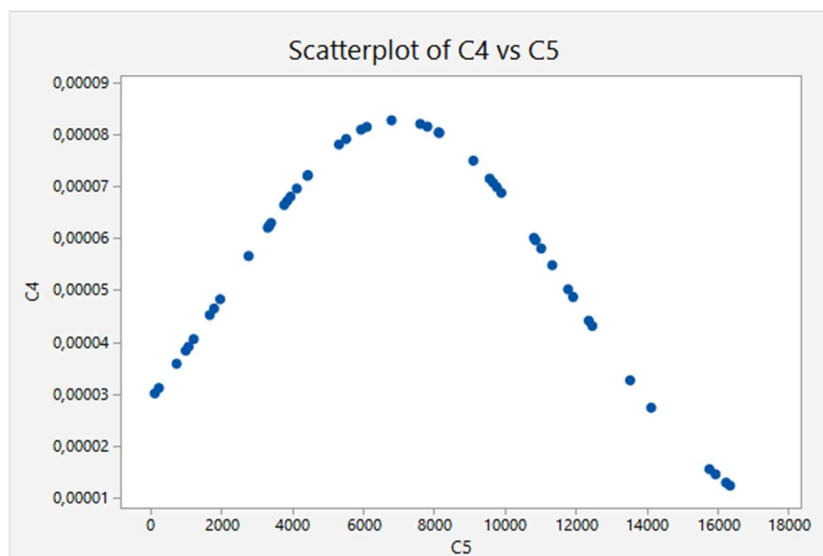


Figura 6.2 Distribuciones mandos finales izquierdos en uso

En ellas se aprecian en primer lugar las horas que llevaban los componentes a esa fecha, de manera de visualizar como lograr el equilibrio en los mandos, paso que lógicamente debería ser posterior pero que de todas maneras se determinó.

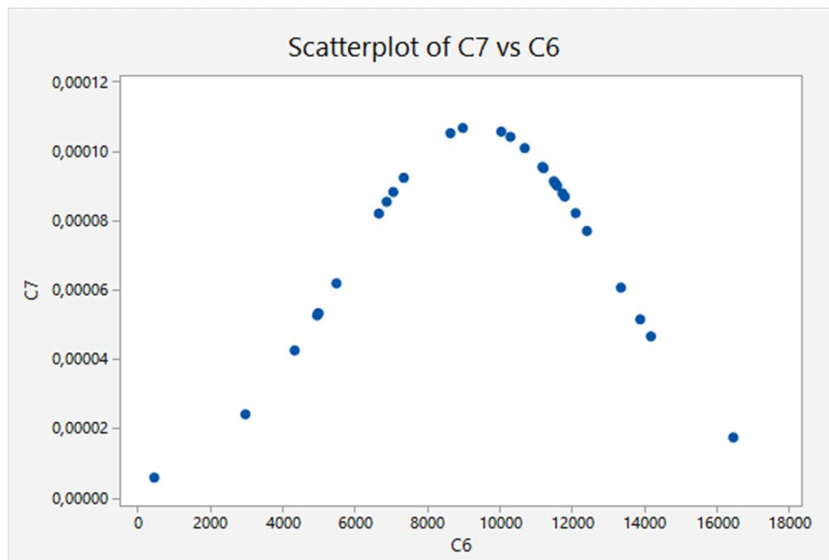


Figura 6.3 Distribución mando final derecho cambiados

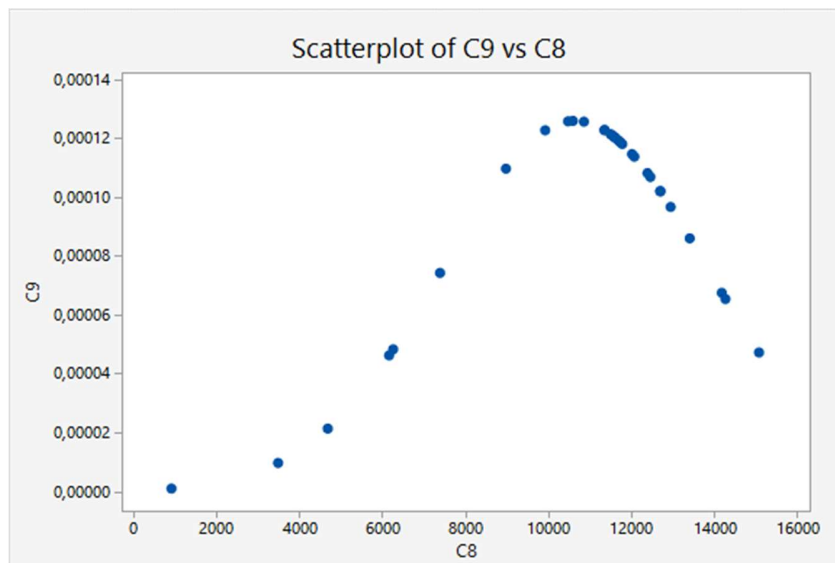


Figura 6.4 Distribución mando final izquierdo cambiados

Luego es posible identificar la duración de los componentes cambiados a esa fecha y en donde se puede apreciar el comportamiento de estos en la realidad determinando las medias y desviaciones estándar mostradas en la Tabla 4.

Tabla 7 Promedio duración mandos (Actual)

Duración Mando Izquierdo	Duración Mando Derecho
10.499 [Horas]	11.053 [Horas]

Dado que los datos utilizados son del periodo 2013-2014, se solicitaron datos para recalculer el desgaste de los mandos finales. El resultado es que los mandos izquierdos tendrían un mayor desgaste que los mandos derechos. Este resultado tendría más lógica, debido a que al circular el camión por la izquierda ese lado estaría siempre expuesto al cerro y berma, beneficiando un mayor desgaste.

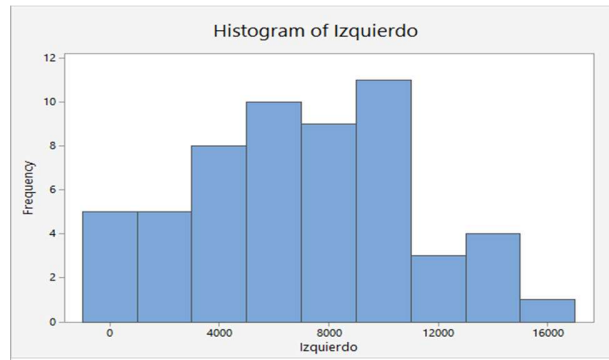


Figura 6.5 Histograma mando final izquierdo (Actual)

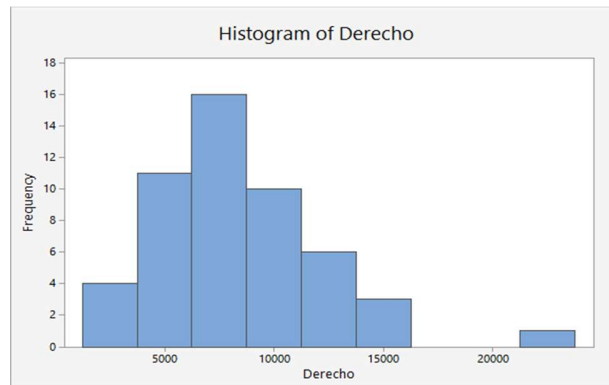


Figura 6.6 Histograma mando final derecho (Actual)

Al disponer de los datos en histogramas, se puede observar la falla de algunos componentes a temprana edad, que la moda es mejor en el caso del mando izquierdo y que sin embargo la distribución de los datos se ve en la tabla de a continuación, demostrando que el 95 por ciento

de los casos se encuentra hasta 13.630 horas para el mando izquierdo y hasta 14.215 horas para el mando final derecho, lo que ratifica el menor promedio del mando izquierdo.

Tabla 8 Evaluación según porcentajes

	'FINAL DRIVELT'	'FINAL DRIVERI'
5%	4046	7145
50%	11502	11487
95%	13630	14215

6.1.1 Estudio de la ruta

Adicionalmente, antes de conocer la factibilidad, los beneficios y riesgos, se plantea un factor que es necesario conocer y que afecta en el comportamiento del desgaste de los mandos, y que es el circuito de la mina.

El circuito y su condición es posible conocerlo gracias al estudio realizado por personal de Dealer el año 2011 (13), en el cual mediante el software Mining Fleet Productivity Optimization (MFPO) se analiza este en la fase de operación:

- Desplazamiento cargado

Este estudio se realiza para identificar oportunidades de mejora en el diseño del circuito, pero en este caso se considera esta información porque se cree útil para la decisión final de la estrategia. Es bastante probable que la forma de la ruta favorezca unos modos de falla en detrimento de otros y esa es la relación que se necesita para conocer si realmente la estrategia tendrá el éxito deseado.

Además de la ayuda del diseño del circuito, como consecuencia directa el software busca objetivos similares a los planteados en este trabajo:

- **Cumplir con la vida útil esperada de los componentes.**
- Mejorar la productividad (incrementando el promedio de velocidad y reduciendo los tiempos de ciclo).
- Reducir el consumo de combustible, mediante la reducción de la resistencia a la rodadura y disminuyendo las discontinuidades en el circuito, que provoca retrasos o cambios de marchas innecesarios.

El Software posee parámetros que son los que se muestran a continuación junto con información de la forma de la mina. Los parámetros que posee el software y que se analizan en este estudio son tres, que son calculados con los valores de las presiones de las suspensiones del camión. Estas presiones son medidas por el computador que controla el camión. De esta manera se determina mediante sumas y restas la exigencia de los componentes del camión. Los tres parámetros son:

1. Machine Rack: Indica torsión en el equipo.
2. Machine Bias: Indica que el equipo distribuye su peso más hacia uno de los lados.
3. Machine Pitch:

Tabla de límites condenatorios que considera el programa FPO y diagrama de cómo se obtiene el Bias y el Rack

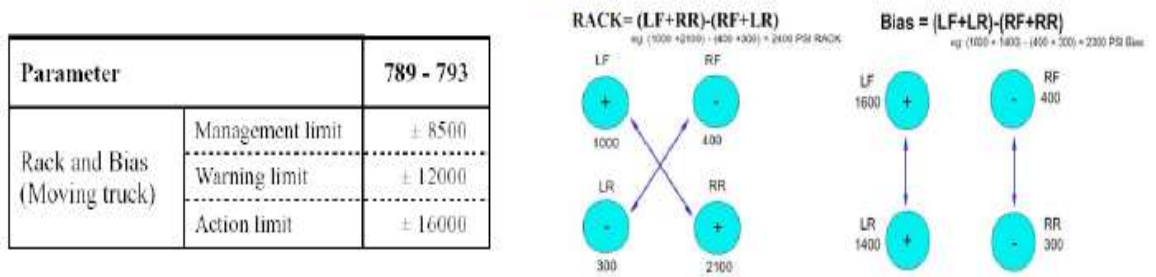


Figura 6.7 Límites y obtención de parámetros (13)

La tabla de la Figura 6.7 indica que los valores deben estar en el rango de -8500 a +8500 para encontrarse en un rango aceptable, en el rango de -12.000 a +12.000 para encontrarse en el rango de alarma y de -16.000 a +16.000 para encontrarse en el rango de acción.

La prueba se realiza con el camión de la flota N° 57 que se desplaza desde la fase 8 y el banco 448 al botadero 780 y el Dataloger del camión indica una carga de 220 toneladas métricas.

El circuito recorrido por el camión dentro del rajo de Mina 1 se demuestra en el gráfico generado producto del circuito recorrido por el camión y se presenta en la Figura 6.8.

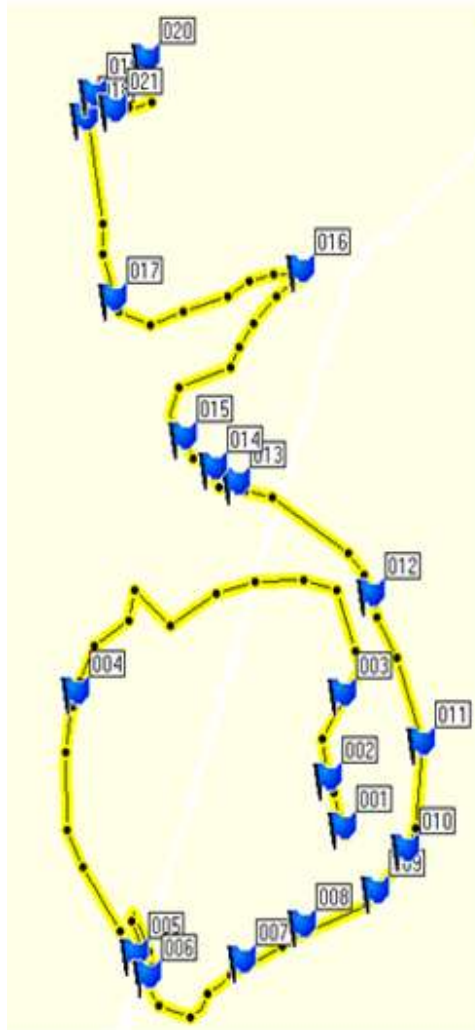


Figura 6.8 Evaluación ruta camiones de carguío Compañía Minera (13)

Tabla 9 Resultados puntuales evaluación ruta (13)

Tramos	Waypoint Inicial	Waypoint Final	Alt Inicial	Alt Final	Dif	Distancia	%P Física	%P efectiva
1	1	2	383	383	0	160	0%	2%
2	2	3	383	373	10	272	-3,7%	-1.7%
3	3	4	373	463	90	1500	6%	8%
4	4	5	463	456	-7	854	-0.8%	1.2%
5	5	6	456	434	22	397	-5.5%	-3.5%
6	6	7	434	418	16	452	-3.5%	-1.5%
7	7	8	418	437	19	246	7.7%	9.7%

8	8	9	437	457	20	289	6.9%	8.9%
9	9	10	457	462	5	171	2.9%	4.9%
10	10	11	462	486	24	334	7.2%	9.2%
11	11	12	486	511	25	481	5.2%	7.2%
12	12	13	511	557	46	600	7.7%	9.7%
13	13	14	557	572	15	115	13%	15%
14	14	15	572	583	11	153	7.2%	9.2%
15	15	16	583	649	66	768	8.6%	10.6%
16	16	17	649	707	58	708	8.2%	10.2%
17	17	18	707	744	37	557	6.6%	8.6%
18	18	19	744	746	2	81	2.5%	4.5%
19	19	20	746	770	24	215	11.2%	13.2%

Tabla 10 Indicadores generales evaluación ruta (13)

Distancia total tramo (metros)	8.353	
Resistencia a la rodadura	2.0%	
Camino (promedio)%	2.0%	
Frente carguío (%)	3.0%	
Frente botadero (%)	3.0%	
%Ciclo en pendiente Up	41.5%	3.464
%Ciclo en pendiente Down	0.0%	0
%Ciclo en plano	16%	1.335
%Ciclo a máxima pendiente Up	1.5%	125
Ciclo a máxima pendiente Down	0%	0

El informe demuestra que el tramo total tiene una distancia de 8.4 kilómetros, el porcentaje de ciclo en pendiente es del 41.5 por ciento que corresponde a 3.5 kilómetros y el porcentaje del ciclo en plano es del 16 por ciento correspondiente a 1.3 kilómetros. Además, en la Figura 6.8 es posible visualizar las pendientes máximas de la ruta, que se encuentran en los puntos 13, 15, 16 y 19, con pendientes de 15, 10.6, 10.2, y 13.2 por ciento respectivamente.

Consecutivamente el informe muestra la gráfica con los puntos de los parámetros calculados y graficados, ya en ella es posible observar cuales son los parámetros y en qué puntos, que exceden los valores determinados como los normales y de trabajo. Esta información es mostrada en la Figura 6.9.

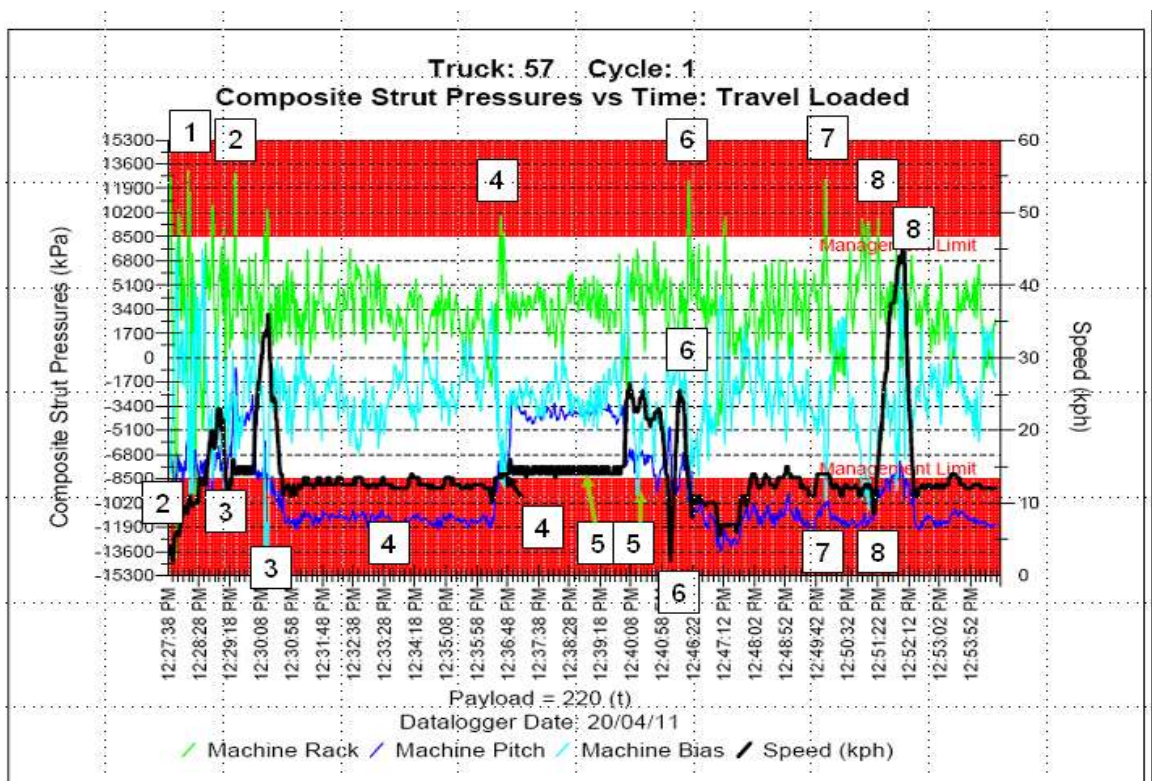


Figura 6.9 Gráfica de parámetros Mining Fleet Productivity Optimization (13)

El análisis de la Figura 6.9 posibilita observar la siguiente descripción de los puntos más relevantes en el trayecto seguido por el camión:

Tabla 11 Descripción de ruta (13)

Punto	Descripción
1	Salida de frente de carguío, el equipo comienza con camino recto donde se encuentra con pasa cables, se observa dos Peak de Racks positivo y negativo (Torsión).
2	Continúa el avance hasta llegar a la curva hacia la izquierda, equipo a baja velocidad de piso 6 km/hr. Se generan Peak de Rack positivo y negativo (Torsión). También se produce Peak de Rack positivo (Alta torsión).
3	Indicio de curva derecha desfavorable, se visualiza en gráfico un Peak negativo de Bias, para dar comienzo a una pendiente pronunciada el cual deja ver Pitch negativo a una velocidad promedio de 12 km/hr.

4	Una vez terminada la pendiente el equipo toma una recta la cual nuevamente genera Peak de Rack positivo y un Peak de Bias negativo, a una velocidad promedio de 15 km/hr. El Pitch se estabiliza dentro del rango (equipo se inclina producto del peralte).
5	El equipo sigue su trayecto donde se observa un aumento en la velocidad de piso por sobre los 22 km/hr generando un Peak nuevamente un Bias negativo, como también un Pitch negativo. Esto es producto de la inestabilidad de piso
6	El equipo baja su velocidad de piso a 2 km/hr aprox. El Pitch comienza a posesionarse en valores negativos con un Peak positivo de Rack por fuera de rango (alta torsión), la velocidad de piso sigue inestable llegando incluso a superar los 20 km/hr, pero nuevamente baja manteniendo un promedio de 12 km/hr
7	Con un promedio de velocidad de 12 km, nuevamente se generan Peak de Rack y Bias claramente identificando la inestabilidad del camino, manteniendo un Pitch negativo.
8	El equipo nuevamente entra en un terreno sin pendiente generando un aumento considerable de la velocidad de piso a 45 km/hr, sin antes generar Peak de Rack y Bias para continuar con un desplome de la velocidad llegando en segundos a caer a los 12 km/hr.

Según el análisis, el circuito se encontraba para esa ocasión en una condición inaceptable, demostrando los índices de severidad calculados por el software, valores superiores a los permitidos para estos equipos por Caterpillar. Estos índices de severidad son denominados como: Pich, Rack y Bias.

Como conclusión del informe, personal de Dealer considera que se está frente a un inminente daño en el chasis y simultáneamente en la suspensión. Esto incluye una variable a considerar en la estrategia a evaluar.

7 Análisis de la factibilidad técnica para la realización de rotación

7.1 Explicación de la hipótesis

Los camiones de carguío de mineral poseen como se mostró en los esquemas del camión, dos mandos finales. Estos se diferencian entre derecho e izquierdo, considerando el derecho e izquierdo según el lado del operador sentado en la cabina.

Según el análisis de los datos realizado desde las bases de datos de la Compañía Minera, el consumo no es homogéneo, por lo tanto, lo que se pretende realizar es el cambio de lado de los mandos, suponiendo que el desgaste se encuentra principalmente en los engranajes y por lo tanto la rotación beneficiará la duración producto de la utilización mayoritariamente de las otras caras de los engranajes.

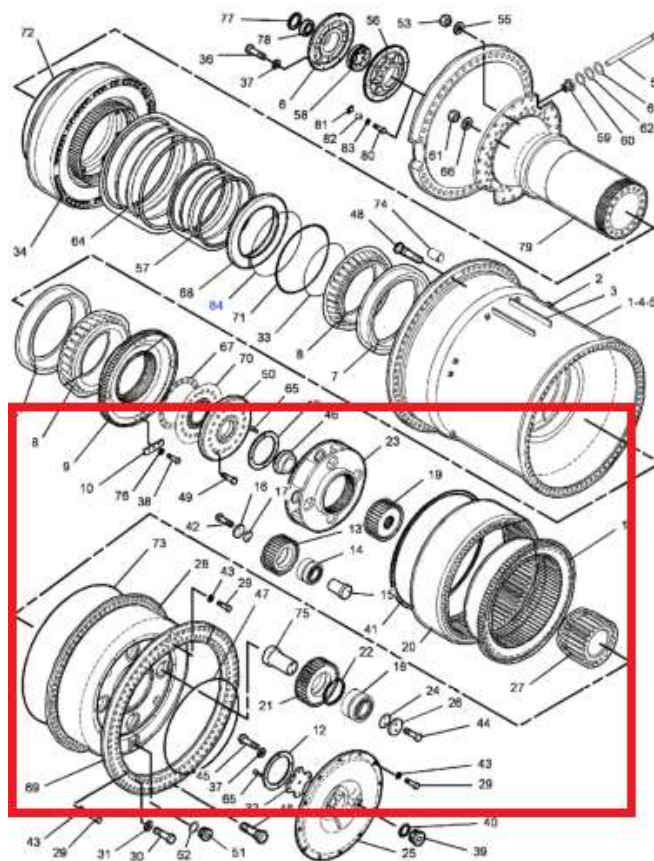


Figura 7.1 Plano despiece Mando Final

La Figura 7.1 resalta el grupo de piezas que se evalúa debiesen ser las de mayor desgaste al realizar la rotación. Entre ellas se encuentra:

- N° 13 Engranaje planetario
- N° 19 Engranaje solar
- N° 11 Corona
- N° 20 Corona
- N° 27 Engranaje solar
- N° 21 Engranaje planetario

La rotación se realizará dentro de la vida útil del componente, evitando llegar al final, dado que se considera riesgoso seguir utilizando un componente que ya está comenzando a fallar para que resista la prueba. Además, es necesario considerar que un componente que posee un desgaste considerable no permite seguir siendo utilizado. Para esto el trabajo se basará en el análisis de los APD.

El comportamiento de los APD se utilizará principalmente porque es una de las formas de medir el desgaste del componente, de modo de tener una referencia del punto que se encuentra el componente dentro de su vida útil.

La estrategia además está sustentada en la experiencia realizada por el Departamento de Mantenimiento de Minera Mantos de Oro, en la cual la flota de camiones CAT 785 fue sometida a la rotación de los mandos, logrando la extensión en su vida útil. Cabe destacar que en esa Minera la utilización de freno era baja y que lo que era relevante era la distancia de aproximadamente 40 km de desplazamiento de los camiones.

7.2 Factibilidad de realización

Un paso básico antes de analizar si es posible, cuando y como realizar la estrategia es exponer la factibilidad de cambiar los mandos de lado.

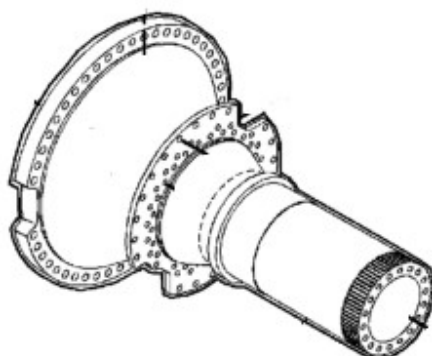


Figura 7.2 Housing Mando Final

El housing es el componente que se fija al camión y que en este caso permite la instalación en ambos lados indiferentemente. De hecho, en la práctica los mandos llegan a la faena sin ninguna clasificación del lado en el que se deben utilizar, lo que ratifica la aseveración anterior.

7.3 Análisis de Factibilidad

El análisis comienza con el estudio de la información de la base de datos proveniente de la empresa contratista Dealer, particularmente de la faena de la Compañía Minera.

Este análisis pretende los siguientes objetivos:

1. Visualizar el comportamiento de las fallas y cambios de los mandos, de modo de poder tomar la decisión final con la mayor cantidad de información posible.
2. Determinar las horas del componente en que se realizará la estrategia en caso de ser factible.

La información recopilada en la base de datos, data de las fechas 17 de enero del 2009 y 20 de agosto del 2015, y posee información de los cambios de componentes de los camiones 793. La información que incluye es:

- Equipo (Camión 1, Camión 2, etc.)
- Componente (Motor, Transmisión, Convertidor, Diferencial o Mandos Finales)
- Posición
- Componente de entrada (Identificación del componente)

- Componente de salida
- Fecha de cambio
- Horas del equipo
- Horas del componente
- Descripción fallas
- Otros

Este análisis lo compone un total de 289 datos recopilados por la empresa contratista y en la cual se encuentran 144 mandos izquierdos y 145 mandos derechos.

El análisis de esta permitirá lograr los objetivos locales antes planteados y que se dirigen a cumplir con los objetivos específicos del trabajo.

Para comenzar a observar la forma en que se encuentran distribuidos los datos y realiza el estudio que posibilite dar respuesta a los objetivos, se grafica en un histograma los cambios de mandos finales, tanto derechos como izquierdos.

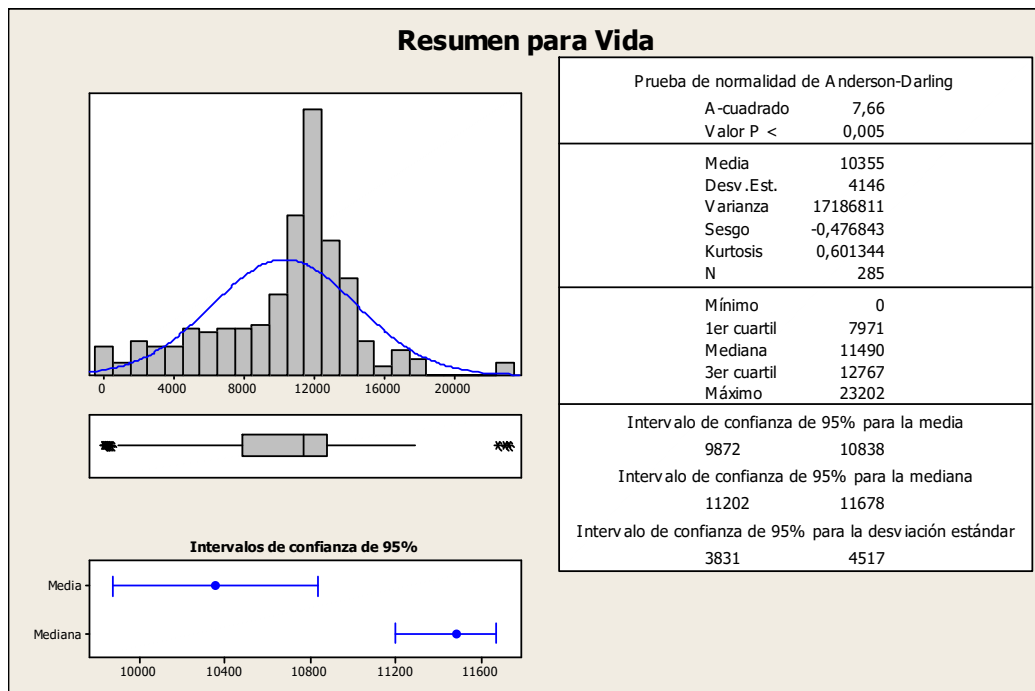


Figura 7.3 Histograma horas cambios de componentes

En el histograma se puede observar que la moda se encuentra en la marca de clase de 12.000 horas y alrededor de ella las siguientes mayores frecuencias de cambios de componentes. Además, existe una gran cantidad de componentes cambiados entre las 0 y las 9.000 horas, sin embargo, después de las 15.000 horas se aprecia una abrupta disminución de los cambios, encontrándose un dato alejado de la distribución y después de las 21.000 horas. Esta primera observación muestra el comportamiento de los datos requeridos, es así como al calcular la media el valor es de 10.357 horas.

Con respecto a los otros datos estadísticos, se verifica la cola izquierda, producto del sesgo negativo. Además, es una distribución con alta concentración de datos entorno a la máxima frecuencia, por la Kurtosis positiva. El 25 % de los mandos ha fallado hasta las 7.951 horas, el 50% a las 11.490 y el 75% a las 12.767. Mientras tanto que el intervalo de confianza para la media se encuentra entre las 9.872 y las 10.838 horas.

Otro punto importante de revisar, es la normalidad de la distribución. Para ello es que se aplica el test de Anderson-Darling para comprobar esta aseveración. Los resultados se pueden ver el gráfico de la figura de a continuación:

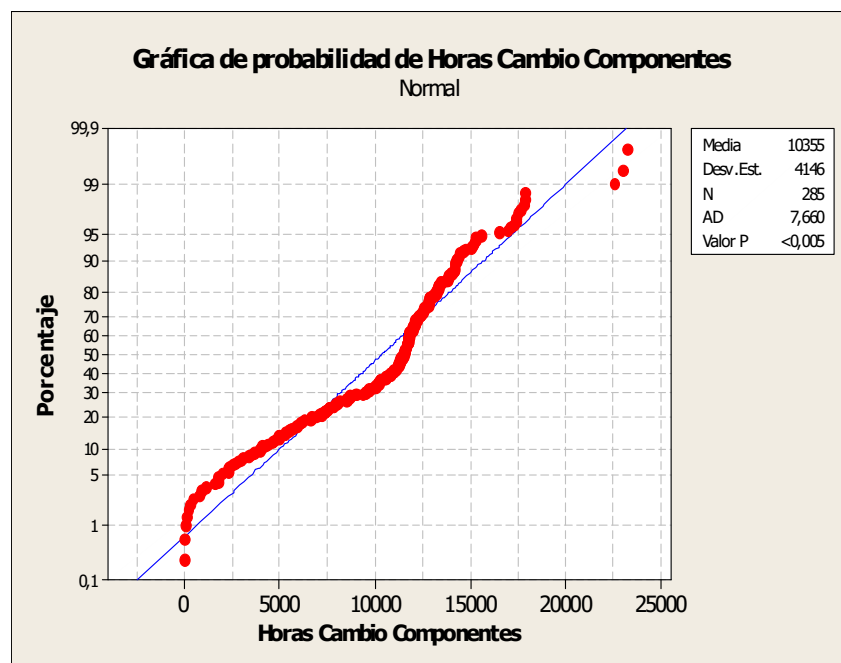


Figura 7.4 Aplicación Anderson-Darling a distribución

De este test, del cual se muestran los resultados en la Figura 7.4, resulta que se rechaza la hipótesis nula, por lo que se descarta que la distribución siga un comportamiento normal.

Otro análisis realizado es de estacionalidad, esto para corroborar el momento del año en que fallan los mandos, y si es que existe una mayor falla en los meses de verano producto de las exigencias del clima del Desierto de Atacama y las temperaturas a las cuales se ven sometidos los equipos producto de ellas.

Primero se exponen las cantidades de Mandos cambiados en los respectivos años, comenzando desde el 2009 hasta lo que va del año 2015.

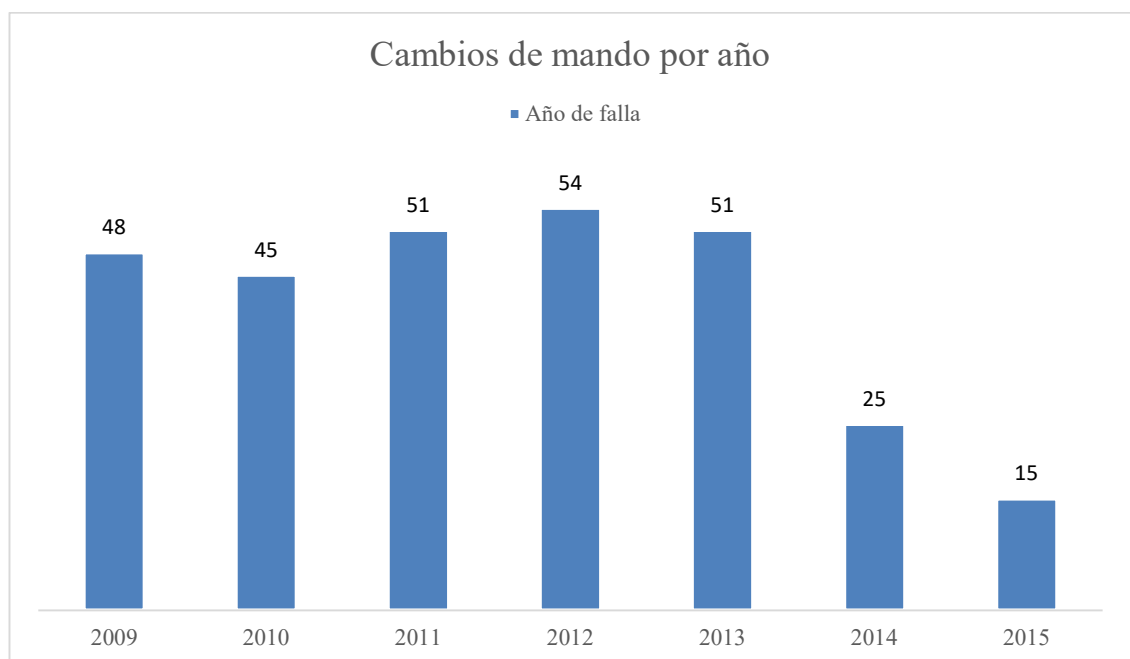


Figura 7.5 Cambios de mandos finales por año

En este gráfico es posible apreciar que, en los primeros cinco años, no es posible visualizar una gran variación en la cantidad de mandos cambiados. Sin embargo, el año 2014, se aprecia una abrupta caída hasta la mitad en la cantidad de los Mandos cambiados los años anteriores. Esto refleja la política de mantenimiento que está siguiendo la empresa desde ese año para este componente y otros más. La política consiste en cambiar el componente por falla y no por vida

útil o tiempo, esto debido a la necesidad de disminución de costos encomendada por los controladores de la faena, producto de la disminución en el precio del cobre.

Por otra parte, cabe destacar además que el target de duración para los mandos finales paso desde las 14.000 horas, hasta las 22.000.

Ahora, al revisar por trimestre, se puede notar que no existe una preponderancia de los meses de verano por sobre los otros meses del año en el cambio de los Mandos Finales, por el contrario, existe un descenso en la cantidad de componentes cambiados. Por lo tanto, se descarta que exista una influencia de las condiciones climatológicas en los cambios de componentes.

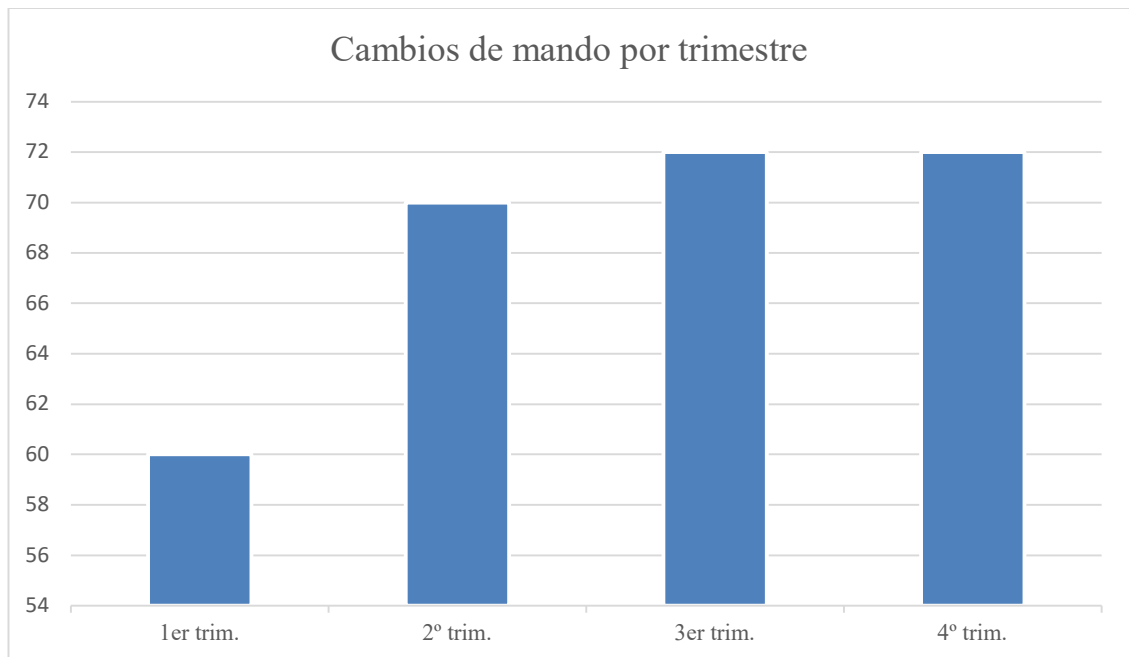


Figura 7.6 Comparación por trimestre

Finalmente, y para descartar que exista alguna diferencia al observar más en profundidad los datos, se grafica la cantidad de componentes reemplazados durante el año y el resultado es similar y estable, visualizándose la misma disminución de la Figura 7.6, durante los meses de verano.

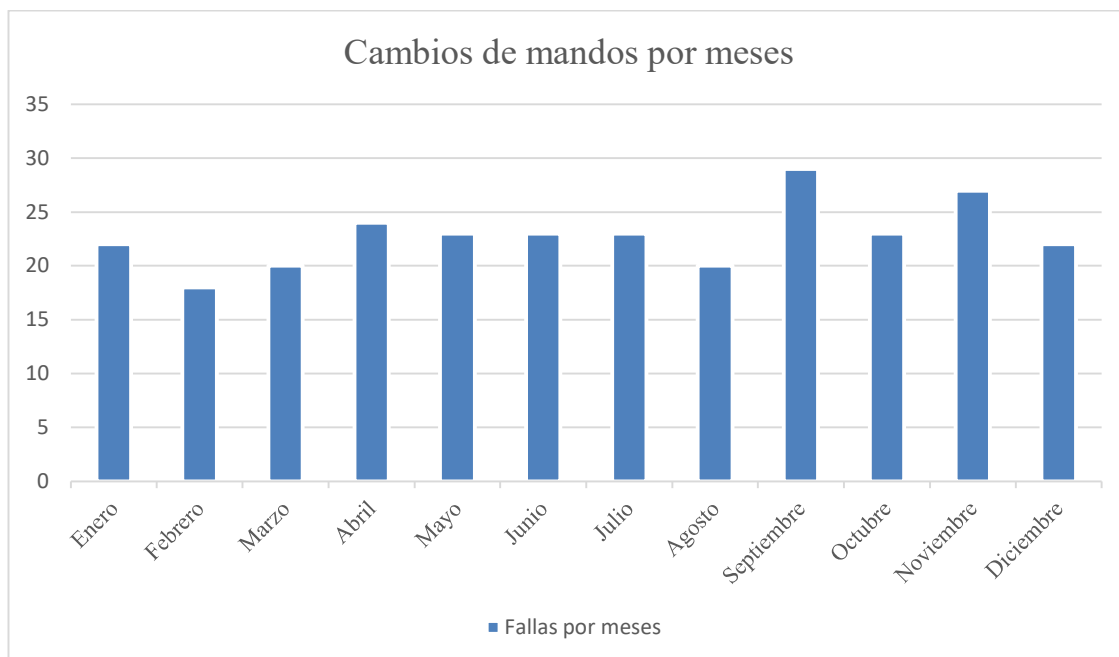


Figura 7.7 Mandos Finales totales cambiados por meses

Es necesario decir que se consideró desde el 2009 hasta el 2014 para estos últimos dos gráficos, debido a que el año 2015 no se encuentra completo, por lo que sería distorsionar la realidad al considerar algún periodo de un año nada más.

De esta base de datos, además, es posible extraer información relativa a los modos de falla de los mandos finales disgregando esta base de datos según los modos de falla asignados para este trabajo. Esto será utilizado para visualizar el comportamiento de los componentes al interior de la faena.

Los modos de falla asignados son cuatro (4) y en ellos se clasifican cada una de las fallas asignadas por el personal de mantención. Esto significa que a la información ingresada por personal de Dealer al realizar un cambio, establece en la planilla de Excel (Base de datos) una serie de datos. Dentro de las columnas aparece una que explica las observaciones y que se designa como “Descripción Falla”. De ella se extraerá la descripción que será clasificada en cuatro modos de falla que se muestran a continuación con cada una de las descripciones de falla que se incluirán en cada una de ellas.

Componentes

- Primera reducción
- Segunda reducción
- Rodamientos
- Palier
- Pasador rodamiento planetario
- Anillo separador
- Juego planetario
- Fuga sello espejo
- Fuga línea 505
- Paquete freno
- Pernos de anclaje
- Solar
- Wheel
- Housing

Contaminación

- Contaminación, condición y presencia de particulado.
- Alto particulado y particulado Nivel 3.
- Contaminación línea 505
- Particulado rejilla
- Tapón magnético
- Particulado mayor

Ocasionales

- Falla catastrófica
- Falla prematura
- Mando descentralizado
- Ventilado
- Fisurado y quebrado.
- Ruido anormal
- Trabamiento
- Temperatura

- Traspaso aceite hidráulico
- Frenado

Normales

- Horas – Vida útil
- Rebuild

Una vez establecida esta clasificación, es designado un modo de falla a cada uno de los cambios realizados en la base de datos de los cambios de los componentes, específicamente a los mandos finales. De esta clasificación es que se puede extraer el gráfico de la Figura 7.8, el cual es un gráfico de torta que demuestra cómo se comportan los modos de falla al interior de la faena.

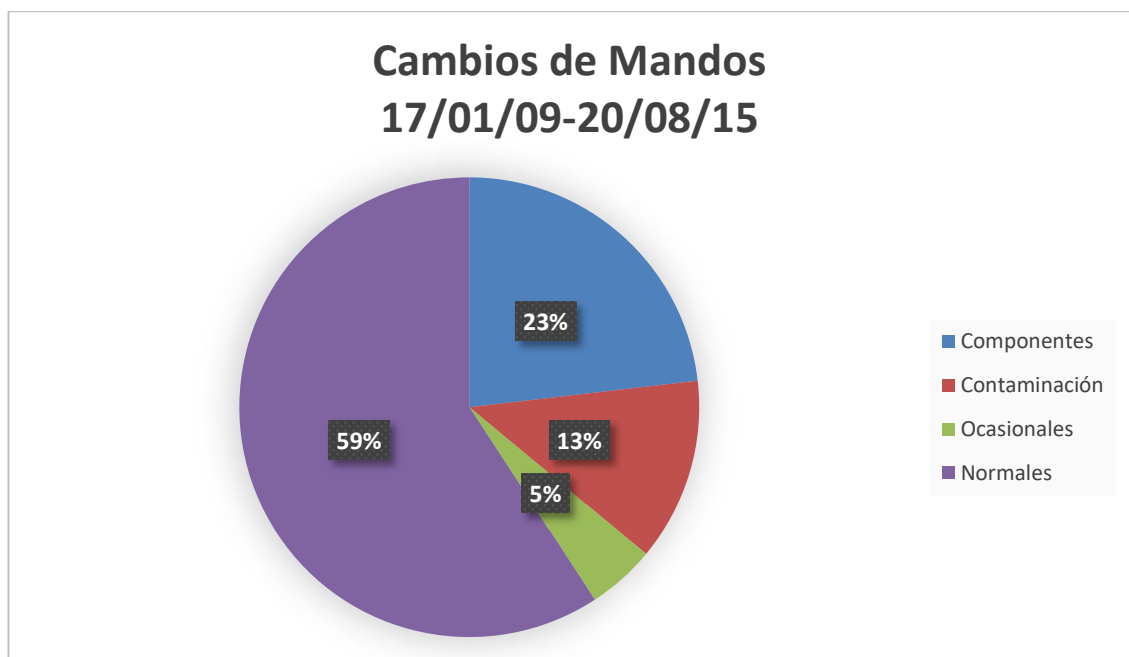


Figura 7.8 Gráfico modos de falla (porcentajes)

Lo llamativo de este gráfico es que la mayoría de los componentes se cambia por recomendación del Dealer, lo que haría presumir, que la estrategia de la empresa mandante es el cambio por vida útil de los componentes y no por falla.

Al revisar esta información, es posible observar que la mayoría de los mandos, el 59 por ciento, se cambió por cumplimiento de las horas que consideró el Dealer, él lo catalogó como Horas y Vida útil. Esto da un amplio margen para introducir estrategias que puedan utilizar las horas del componente que no son utilizadas y mejoren esa extensión.

Luego el 23 por ciento de los cambios se realizaron producto de alguna falla determinada en una pieza del mando final, información útil para saber la forma específica de fallar de los mandos en la faena, especificando aún más que los modos de falla.

El 13 por ciento de los cambios se realizaron por diagnóstico producto de la presencia de contaminación, evaluando que el mando debía ser cambiado debido a que alguno de sus piezas estaba teniendo un desgaste que alteraría su funcionamiento y podría generar una falla catastrófica en el componente, dejando el camión detenido en algún punto de la mina, resultado que es indeseado para el correcto funcionamiento de la mina.

Finalmente, el 5 por ciento de las fallas y correspondiendo a la designación, lo que hace saber que las clasificaciones de los modos de falla fueron los correctos, se produce por el modo de falla designado como Ocasionales. Estas fallas corresponden a las fallas marginales y que se producen solo en algunas ocasiones, que se podrían clasificar como abruptas, espontáneas y por lo tanto no planificadas.

Para la estrategia que se está evaluando, esta información permite:

- Primero determinar que existe posibilidad de utilización del componente más allá del tiempo que actualmente se está utilizando.
- Además, es posible identificar claramente en un 23 por ciento de los casos los mandos finales que fallan por los componentes y que sería posible extrapolar hacia el total de la población. Saber que componentes no es posible aplicarles la estrategia.
- Y es posible determinar en el comportamiento del modo de falla por contaminación de los mandos. Lo anterior permite determinar la factibilidad y los casos en los cuales se puede recurrir a la rotación de los mandos para lograr la extensión en su vida útil.

Esto se reflejará en la mayor utilización y disminución de costos al introducir la estrategia en la faena, manejar el desgaste y alargar la duración del componente.

En esta parte el interés es determinar principalmente, a qué horas se debe realizar las acciones para lograr los resultados determinados en los objetivos. Como primera forma de determinar esto, con la clasificación ya obtenida, se obtendrán los promedios de cada uno de los modos de falla para ver el comportamiento.

Tabla 12 Promedios de modos de falla

Promedio de cambios de mandos según modo de falla			
Normales	Componentes	Contaminación	Ocasionales
12.095 [Hrs]	7.233 [Hrs]	7.731 [Hrs]	8.224 [Hrs]

De los promedios de cambio de cada uno de los modos de falla se observa que los mandos cambiados por el modo de falla Normales tiene un promedio de 12.095 horas lo que está dentro de las metas determinadas por el Dealer y que se condice con una mayor duración que es justamente lo que se espera de un funcionamiento normal del componente.

Los siguientes modos de falla arrojan conclusiones interesantes, ya que, los mandos fallados por el modo de falla Componentes y los fallados por el modo Contaminación, poseen medias similares por lo que se podría decir que los mandos fallan prematuramente en torno a las 7.500 horas. Esto entrega información relevante para la determinación final de la hora de revisión o ejecución de acciones.

Por último, el modo de falla Ocasionales, que correspondía al modo con menor porcentaje de ocurrencia dentro de la base de datos, tiene un promedio de 8.224 horas, lo que significa que en este modo los mandos duran un poco mas que en el caso de las fallas por Componentes y Contaminación. De todas maneras este modo se podría considerar que se encuentra en conjunto con el de Componentes y Contaminación, ya que fallan prematuramente antes de las 12.000 horas de los Normales.

En este punto es que se toma la decisión de considerar solamente los datos de los componentes fallados por los 3 modos de falla prematuros (Contaminación, Componentes y Ocasionales), esto porque los otros mandos (Normales) si bien se reemplazan, esta acción se realiza por política de la empresa de evitar cambiar por falla del componente, por lo que no entregaría mayor información al análisis que se realiza para determinar el momento de ejecución de la

rotación u otra acción. Es así como de los 289 datos, el análisis continuará solo con 107 datos y que corresponde al 41 por ciento del universo de datos.

De este universo de 107 datos, se muestra el histograma respectivo de la Figura 7.9, para observar preliminarmente la forma en que se distribuyen los datos.

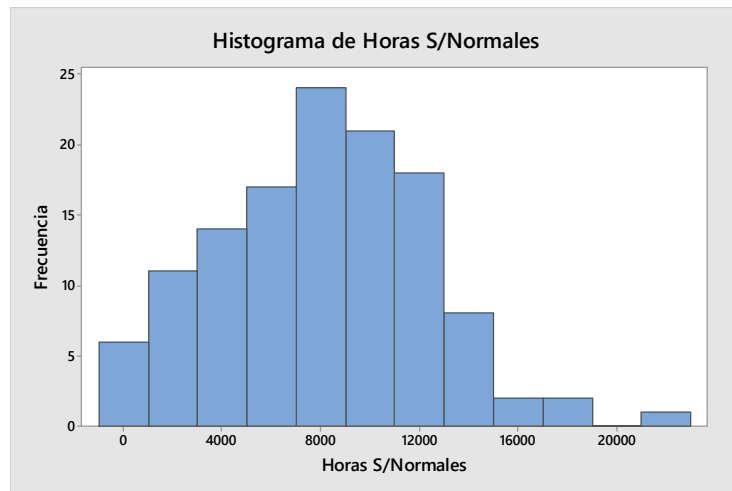


Figura 7.9 Histograma horas cambios de componentes sin datos normales

De este histograma es posible observar que los datos se agrupan en torno a las 8.000 horas y que van en un aumento regular en la frecuencia de ellos desde las 0 horas. Luego de la marca de clase 8.000 se observa el descenso constante de los cambios realizados. A diferencia del histograma elaborado para toda la data, la moda cambia desde las 12.000 horas, descendiendo hasta las 8.000 horas.

Con los datos seleccionados se complementa el análisis de factibilidad que entrega la siguiente distribución de datos al calcular el promedio y desviación estándar de los 107 datos.

La distribución posee una media de 7.674 horas y una desviación estándar de 3.945. De todas maneras con estos datos y esta distribución es posible obtener el riesgo en que se incurre al realizar la rotación a las diferentes horas del componente.



Figura 7.10 Riesgo V/S horas

En la Figura 7.10 se observa que el riesgo se comporta de forma casi lineal. Este es el riesgo de cambiar el componente avanzando las horas, lo que ayudará a decidir en qué momento se quiere ejecutar la rotación, y el riesgo en que se incurre.

Por lo tanto desde la Tabla 12, acompañada del gráfico de la Figura 7.10, es posible determinar la zona en la cual se debe realizar la rotación u otra acción en los componentes que se encuentren desviados de una operación normal. Según los promedios los modos de fallas contemplados van desde las 7.233 horas y se extiende hasta las 8.224 horas y la media de todos los datos contemplados se encuentra en las 7.674 horas, lo que significa que las medidas ejecutadas deben ser pesquisadas antes de ese rango y media.

Por otra parte, el gráfico de la Figura 7.10 indicaría que como debe ser antes de las 7.233, se podría utilizar el rango de las 6.000 hasta las 7.000 horas, lo que implicaría ejecutar la medida con un riesgo en el rango de 34 al 43 por ciento.

Esto implicaría que los mandos deben ser seguidos con mayor acuosidad entre la instalación y las 6.000 horas para revisar su comportamiento y planificar una intervención en torno a esas horas.

El siguiente paso es definir con la información de contaminación que comportamiento tiene las fallas relacionadas con los engranajes y de esta manera dejar estipulado en cuales de los mandos

se produce la falla por engranajes. También se hace necesario determinar el comportamiento de la contaminación previa a la falla, de tal manera de saber en el momento de la operación, que mandos deben ser revisados y rotados.

7.4 Comportamiento de la contaminación

La idea de la rotación se sustentará en el análisis de los resultados de los APD realizados a los mandos finales de los camiones. Esta idea pretende varios objetivos:

- Determinar un punto intermedio en el desgaste de los mandos finales de manera de realizar la estrategia entremedio de su vida útil para que esta sea exitosa. Esto como complemento de la elección de horas de cambio anterior.
- Determinar el comportamiento del desgaste.
- Determinar cómo fallan los mandos por el modo de falla asociado a las ruedas dentadas.
- Definir si es que en otras faenas el comportamiento es distinto a lo que sucede en la faena en estudio.

Para lo anterior se solicitan los registros de la contaminación de los camiones. Estos registros son solicitados al personal del Centro de Reparación de Dealer en Copiapó. La base de datos de contaminación recibida es del periodo 3 de enero del 2007 hasta el 2 de diciembre del 2010 y corresponde a la Faena de la Minera en estudio. La base de datos posee un recuento de 4.331 datos para ser analizados, pudiendo incluso a llegar a los 6.499 datos al incluir a los diferenciales, 2.168 datos más, tomando en cuenta de que comparten aceite similar, lo que en un comienzo se desechará para centrarse únicamente en los mandos.

La base de datos posee la información necesaria para definir lo que sucede con la contaminación a medida que transcurren las horas de operación del componente, esto es:

- Identificación del camión (Nº)
- Componente
- Horas del equipo (Horómetro)
- Evaluación del aceite

- Medida de elementos (Bario, Calcio, Cromo, Cobre, Fierro, Plomo, Magnesio, Molibdeno, Níquel, Fósforo, Potasio, Silicio, Plata, Sodio, Estaño, Titanio, Zinc, V100, W, A, F e ISO)

Esta información debe ser analizada de manera de lograr los objetivos planteados en un principio, de determinación de las diferentes variables para establecer la factibilidad técnica. De aquí se obtiene las tendencias de los elementos y el comportamiento de los elementos en los componentes, por lo tanto, se analiza el funcionamiento de los elementos dentro de la población, como el comportamiento en particular en los camiones.

Para comenzar, se dispone de los elementos muestreados en los S.O.S. en una gráfica de intervalos de confianza para observar los tramos en los que se mueve cada uno de los elementos. Esta información se plantea para los 16 elementos que entrega el informe. Esto se muestra en la Figura 7.11.

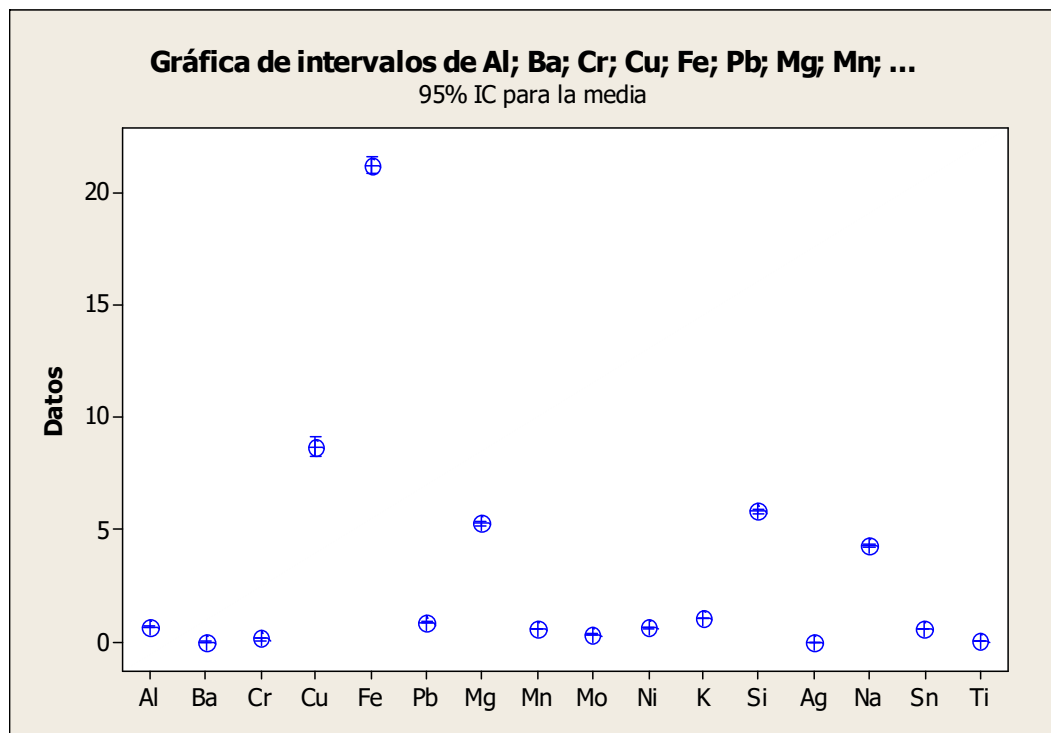


Figura 7.11 Intervalos de confianza para los elementos del S.O.S.

El gráfico demuestra que los elementos con mayor presencia en las muestras de la flota son el Cobre, Fierro, Magnesio, Silicio y Sodio. De ellas las dos primeras con mayor cantidad de ppm en las muestras son el Fierro y el Cobre. Ahora, utilizando la información entregada por Shell Lubricantes, esto demostraría un desgaste esperable, en el caso del Fierro, de engranajes, eje palier, rodamiento, caja o housing. Por su parte en el caso del Cobre, se demostraría un desgaste de golillas de empuje, rodamientos de empuje o aditivos del aceite, que en este caso es poco probable.

Con la información, los primeros elementos graficados serán el Fierro y Cobre. La aparición de estos elementos es producto de los materiales con que están confeccionados los mandos y algunos sellos. Posteriormente esto se corroborará con la exposición de la información en gráficos.

En este punto, una forma de visualizar en forma simplificada la contaminación, es mirar el histograma de cada uno de los elementos. Por ejemplo, para el Fierro, elemento esencial en la construcción de los mandos el histograma se grafica a continuación.

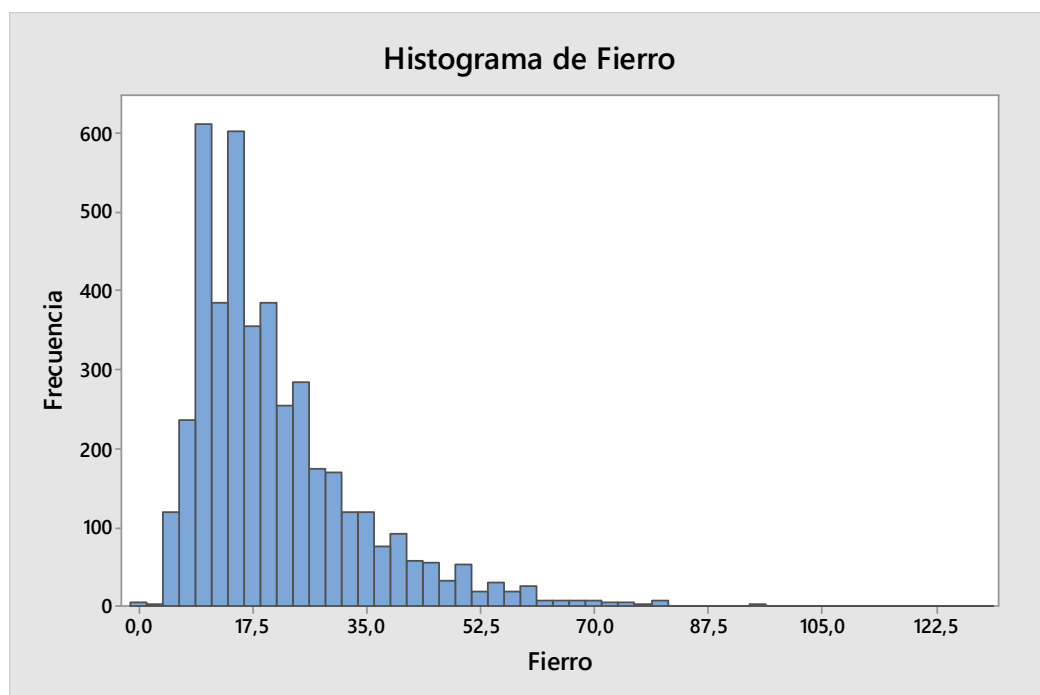


Figura 7.12 Histograma Fierro Compañía Minera

En este histograma es posible visualizar una primera vista de la distribución de los datos en las diferentes marcas de clase. En este se observa de forma cuantitativa cuanto se repiten los datos en una determinada marca de clase. Como resultado se observa que el fierro tiene dos valores con alta frecuencia dentro del histograma que serían 10 ppm y 15 ppm. Estos valores se repiten con una frecuencia de aproximadamente 600 datos. Esto quiere decir que en torno a esos valores existe una tendencia por las muestras para encontrarse alrededor de estos valores. En estas dos marcas de clase, existe una marcada predominancia con respecto a las demás, debido a que las siguientes marcas de clase se encuentran en frecuencias por debajo de los 400 datos. El promedio de la población es de 21,2 ppm de Fierro.

Esta primera vista de los datos hace posible reconocer que las muestras de aceite están en torno a las 20 ppm y que se mantienen en ese rango, pero y que a medida que los valores aumentan las frecuencias disminuyen, por lo que puede implicar que las tendencias del fierro se encuentran en ese rango o que cuando comienzan a aumentar el componente es reemplazado. Esto se determinará al realizar el cruce entre las bases de datos Cambio de Componentes y la base de datos Contaminación.

Más común es utilizar un intervalo de confianza, que decir directamente que el promedio es un valor específico. Así se dice que la media, tiene un 95 por ciento de confiabilidad de estar entre los valores de 18.77 y 23.63 ppm de fierro. Esto corrobora la afirmación anterior de que la media se encuentra en torno a las 20 ppm.

Con respecto al cobre el histograma se muestra en la Figura 7.13. El cobre es el segundo de los elementos mostrados, ya que algunos sellos se encuentran hechos de este material.

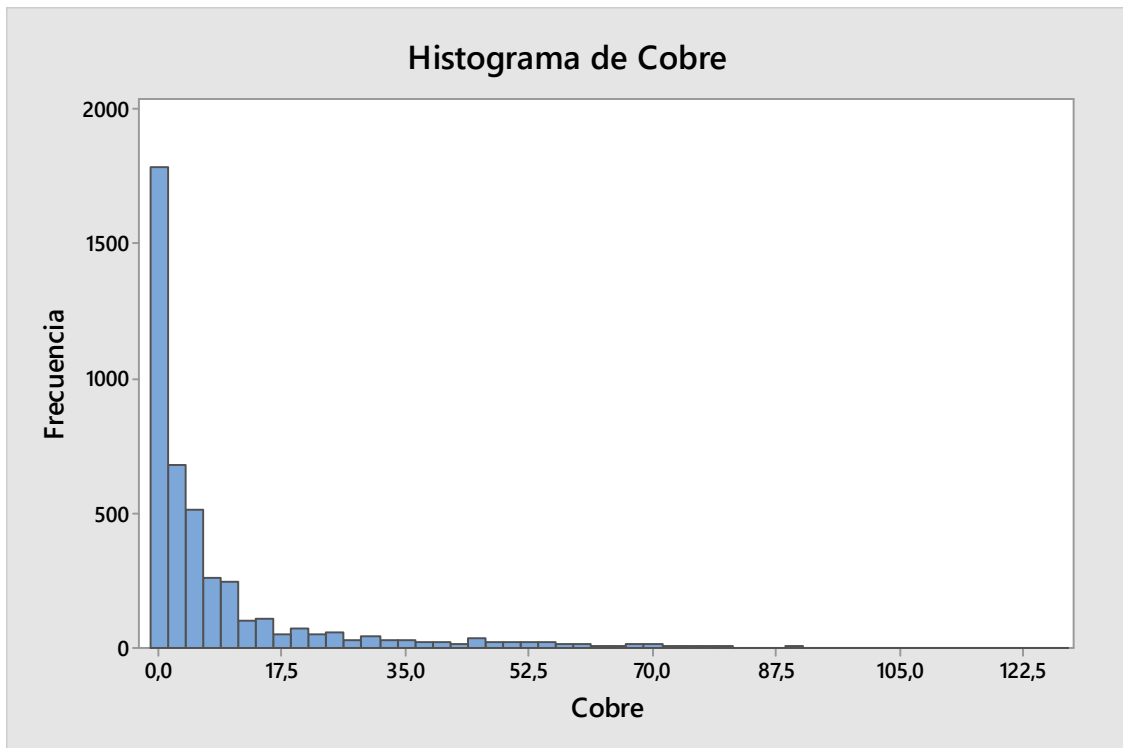


Figura 7.13 Histograma Cobre Compañía Minera

La Figura 7.13 muestra la tendencia del cobre en la población. En el histograma se observa que la moda se encuentra en cero por lo que la mayoría de las muestras tomadas se encuentran en este valor y sin presencia de cobre producto del desgaste de piezas y partes del material. Casi 1000 muestras más que la siguiente frecuencia mayor es la frecuencia de la moda. Luego es posible observar que desciende rápidamente antes de la marca de clase 17,5 ppm. Por lo tanto, los valores se ordenan más cerca de 0 ppm siendo el promedio 8,8 ppm. Sin embargo, existen datos que empujan el promedio hacia adelante. En este caso, el cobre posee valores máximos cercanos a los 90 ppm. Lo interesante de observar esta data, es que se puede obtener por ejemplo referencias de componentes que tengan un aumento considerable de la presencia de cobre y asociarlo a la falla que presentará más adelante.

Al igual que en el caso anterior la media de la población posee con un 95 por ciento de confianza, la posibilidad de encontrarse entre 7.66 y 9.88 ppm.

Ahora, luego del análisis de los datos de la población y continuando con determinar el comportamiento de la contaminación en los camiones para determinar la factibilidad de la

estrategia en estudio, se realiza el análisis del comportamiento de la contaminación en un camión en particular. Esto permitirá explicar algunas de las ideas a desarrollar mas adelante y que darán por cerrado el análisis de factibilidad técnica.

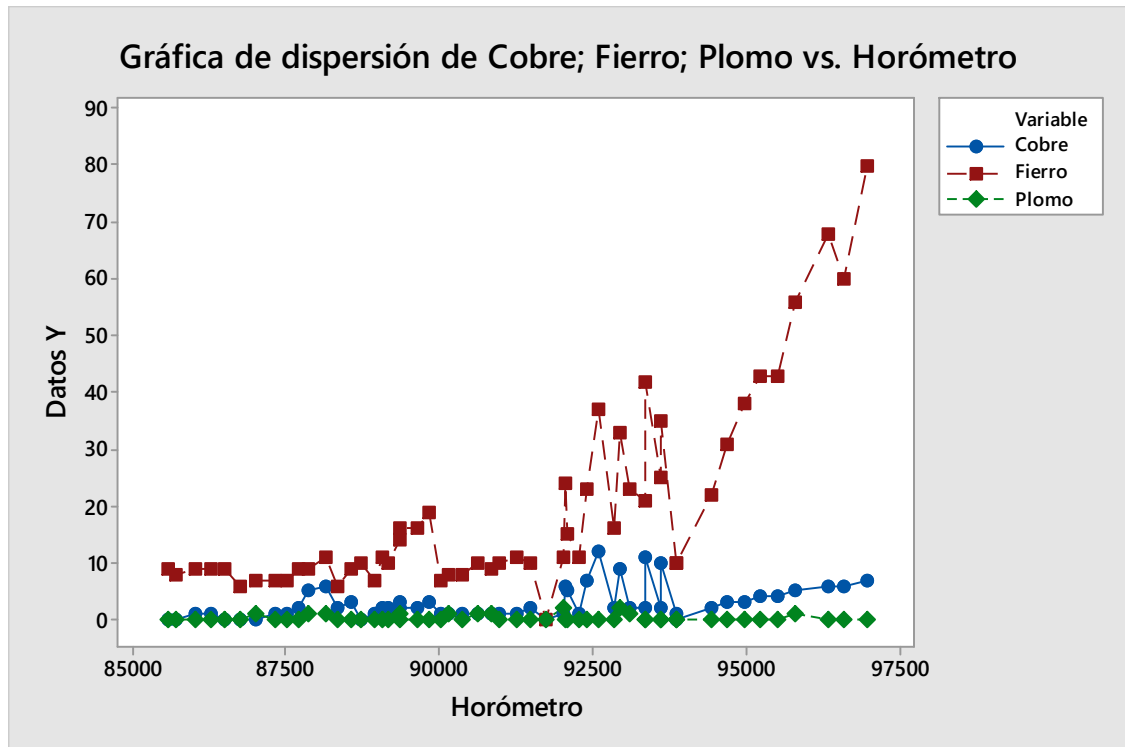


Figura 7.14 Gráfico de dispersión camión 71 Flota Compañía Minera

Al revisar los datos de contaminación de un camión en particular se observa cómo avanza el desgaste de los elementos en el interior del componente. Para este camión en particular expuesto en la Figura 7.14 camión 71 de la flota que posee la minera en la actualidad, se observa la dispersión de los datos de cantidad de elemento (ppm) para tres elementos (Fierro, Cobre y Plomo). Estos elementos controlados en los análisis de aceites comparado con el horómetro de camión, o sea, la utilización del componente son los que aparecen en el gráfico de dispersión.

En el gráfico es posible visualizar un comportamiento esperable en los desgastes de los camiones, ya que, en un comienzo las muestras de aceite demuestran un comportamiento estable y con valores que fluctúan bajo las 10 ppm para el fierro, valores de 0 para el cobre y el plomo, pese a presentar un leve aumento pasadas las 2.500 horas de funcionamiento para el cobre. En este punto es posible visualizar una de las primeras observaciones, el aumento del

cobre, está acompañado de un aumento en el Fierro. Posteriormente, y en el transcurso hacia las 5.000 horas de funcionamiento se produce un aumento significativo y hasta el doble del valor previo de Fierro, llegando cercano a las 20 ppm. Luego se produce un descenso a valores normales y finalmente llega a una etapa de alteración sin un patrón definido y con aumentos y descensos continuos en los valores de Fierro, llegando a valores de 40 ppm. Este vaivén se produce por un espacio de 2.000 horas. Posteriormente a esto se produce un abrupto descenso y un posterior ascenso constante en los valores del Fierro por un espacio de 3.500 horas, con un gran desgaste para el componente, debido a que los valores del Fierro llegan a valores de hasta 80 ppm. El comportamiento que presenta el gráfico de la Figura 7.14, muestra lo que pareciese ser un patrón de desgaste, es lo que se espera que resulte de este estudio. Sin embargo, primero se someterá a análisis la totalidad de los datos existentes, para luego obtener conclusiones a cerca de lo que ocurre con la flota de camiones de la Compañía Minera.

El estudio de esta data es importante y válida porque como puede apreciarse, la ventana de análisis es de 12.500 horas, y como pudo comprobarse con la base de datos de cambios de componente, la mayor duración de los componentes se encuentra en los modos de falla Normales, los cuales corresponden a los componentes que se cambian por vida útil y que poseen en promedio una duración de 12.095 horas, lo cual hace factible que el análisis que se realiza se encuentra dentro de los tiempos de duración permitiendo ver el comportamiento durante la vida de los componentes.

El siguiente paso es evaluar cómo se traduce el comportamiento de cada camión en particular, dentro del patrón de comportamiento y que es lo que se utilizará para realizar la evaluación de los cambios de componentes o su rotación.

Para evaluar el comportamiento se utilizará la base de datos de contaminantes y se cruzará esta con la base de datos de cambios de componente. De esto se obtendrá un universo de camiones que poseen ambas informaciones, o sea, que aparecen en ambas listas y estas serán analizadas para obtener el patrón de comportamiento.

El aporte de este cruce de información, es identificar dentro de las gráficas de contaminación de cada camión, el lugar en donde se produce el cambio y observar cómo se comportó la contaminación hasta antes del cambio del componente.

Al realizar el cruce de los datos fue posible determinar que los camiones que poseen factibilidad de ser estudiados y evaluados son los siguientes:

Tabla 13 Camiones coincidentes en las bases de datos

Camión 51	Camión 55	Camión 59	Camión 02	Camión 81	Camión 85	Camión 89
Camión 52	Camión 56	Camión 60	Camión 03	Camión 82	Camión 86	Camión 90
Camión 53	Camión 57	Camión 61	Camión 04	Camión 83	Camión 87	Camión 91
Camión 54	Camión 58	Camión 01	Camión 80	Camión 84	Camión 88	

Esa factibilidad se da, porque los datos de estos camiones se encuentran en la base de datos de cambio de componentes, y la base de datos de contaminación.

Las bases de datos a las que se hace mención, corresponden a extensiones de tiempo diferentes, pero, sin embargo, ellas se traslapan en el espacio de tiempo del año 2009-2010.

La idea es cruzar la información de ambas bases de datos y sobre ese cruce determinar, por ejemplo:

- A. Valores en los cuales se mantiene normal los valores de los elementos
- B. Como se comporta la contaminación antes de la falla.
- C. Los tiempos de duración de los componentes según el comportamiento de la contaminación.
- D. Las velocidades de desgaste de los elementos
- E. A aumento de los respectivos elementos, de qué forma falla el componente.
- F. Como se comporta la contaminación según el modo de falla
- G. Como finaliza la contaminación en los mandos con modo de falla Normales.

Por ejemplo, para el grafico de la Figura 7.14 el valor normal de la contaminación, pareciese ser la que se mantiene entre las 85.000 y 88.750 horas y cuyo valor es de 10 ppm de Hierro, 0 ppm de Cobre y 0 ppm de plomo, luego una fase leve de desgaste es el que se produce desde ahí y hasta las 90.000 horas (5.000 horas del componente), sabiendo que se habla del

horómetro del camión y no del componente, y que genera un aumento en el Fierro hasta las 20 ppm, del Cobre hasta las 3 ppm y el plomo 0 ppm.

El comportamiento antes de la falla se desarrolla con una subida leve, una subida crónica y aleatoria y una posterior subida abrupta y constante.

Respondiendo a la letra c se puede decir que el componente dura 11.000 horas antes de la falla y que una vez que comienza el aumento de la contaminación sostenido este está designado a cambiarse.

Las velocidades de desgaste son de 4 ppm/1000 horas en un desgaste normal, 12 ppm/ 1000 horas en un desgaste, 18 ppm cada 1000 horas para con comportamiento aleatorio para pre-falla y 28 ppm para un desgaste en falla.

Toda esta información recopilada para un camión (camión 72), fue posible gracias al cruce de la información para este camión de las dos bases de datos.

Ahora, al extrapolar este análisis a la totalidad de la flota y los camiones que coinciden en ambas bases de dato los resultados son los siguientes.

Primero, vale la pena establecer como se llevará a cabo este análisis. La idea es verificar el comportamiento de los mandos finales, a medida que pasa el tiempo. Por lo tanto, a medida que aumentan las horas de utilización del componente, se irá monitoreando como se produce el desgaste del componente, de modo de poder establecer como es el patrón de desgaste de los mandos y para lograr apoyar la información recopilada desde las duraciones de los componentes.

Todo esto se realiza, además, con el fin de complementar la toma de decisiones de las áreas de mantención, tanto de Dealer, como de la Compañía Minera, porque si bien existen medias de falla de los mandos en los diferentes modos de falla, el personal necesita una herramienta en línea para poder verificar momento a momento en qué proceso se encuentran para ejecutar alguna acción. Por lo tanto, esto les permitirá.

1. Saber cuándo un mando está comportándose de manera anormal.
2. Ejecutar las medidas necesarias para lograr que el mando recupere su ritmo de desgaste normal.

3. Planificar adecuadamente la rotación o cambio del componente.

Para lograr esto, se hizo necesario, como se explicó anteriormente, cruzar las bases de datos de -Cambio de Componentes- y de -Contaminación-. Todo esto, sabiendo que las bases de datos corresponden a periodos de tiempo diferentes, por lo que solo es posible considerar algunos camiones, ya expuestos también anteriormente.

Los datos de la base de datos Cambio de Componentes que quedan al cruzar esta con la base de datos de contaminación, y sacar los datos de años que no existen en esta última base de datos, son 93. Recordando que la base de datos de Cambios de componentes estaba compuesta por los 289 datos que representaban inicialmente la muestra y de los cuales se realizaron los análisis previos. Lo anterior significa, que, del total de la muestra, se utilizaron el 32 por ciento de esta.

De estos 93 datos se espera poder obtener información relevante que permita apoyar la toma de decisiones del personal de mantenimiento, y cumplir los objetivos del análisis de la contaminación.

Ahora, si bien los datos de los camiones se encuentran en ambas bases de dato, es necesario corroborar que la data de contaminación se encuentre disponible para toda la vida de los mandos, o sea, que, durante toda la duración de los componentes, existan datos de contaminación, en lo posible incluso horas después de realizado el cambio de componente. Esto se realiza revisando la duración de la data de contaminación para cada camión, y comprobando que sea mayor al intervalo de duración de los componentes para cada camión también. De esta forma se comparará el primer dato de inicio de la data contaminación con el primer dato de la data cambio de componente, esto para un camión, y comprobando que el primero sea mayor al segundo, y así viceversa con el dato final de contaminación y el dato del cambio de componente. Vale la pena recordar que como el primer dato de cambio de componente muchas veces no existe, este se reconstruye restando la duración del mando a la hora de cambio.

Entonces, esto es posible realizarlo debido a que existen 2 datos similares en cada base de datos, y estos son el número del camión y el horómetro del camión, que es necesario recordar

que no corresponde a la duración del componente, si no, que a las horas de utilización que lleva la máquina a lo largo de su vida desde que se construyó.

Como resultado de la verificación de la coincidencia de los intervalos para cada camión en una y otra base de datos, es posible utilizar 36 datos, lo que corresponde a un 11 por ciento de la muestra total.

Entonces para poder saber cuándo un componente se está comportando de manera adecuada, normal y óptima, se hace necesario obtener intervalos de confianza, para la media del elemento de desgaste más representativo del comportamiento de la contaminación. Estos intervalos se calcularán para cada camión, para que este represente lo que sucede en particular con el camión, de tal forma de tomar en cuenta variables que puedan estar dejándose de lado como la antigüedad del camión, daños acumulados, utilizaciones, por nombrar algunos ejemplos.

El elemento de desgaste seleccionado, es el Fierro. Esto porque el fierro como se ha comprobado es el primer elemento que alarma el desgaste en los mandos finales, dada la construcción de la mayor parte de sus piezas, y además porque presenta las mayores amplitudes que son posible observarse y por lo tanto analizar. Es necesario mencionar que el intervalo de confianza se calcula tomando en cuenta que los datos representan una distribución normal.

Entonces, posterior al cálculo de intervalo de confianza para cada camión, del elemento fierro, se procede a determinar los valores que se encuentran fuera del intervalo de confianza. Con esto será posible determinar cuándo un mando se está comportando de manera normal o anormal. Esto se realiza ubicando la vida del mando en la contaminación, contabilizando las horas en las cuales no se presentan superaciones al límite superior del intervalo de confianza para el camión y luego sumando las horas en las cuales inicia y finalizan los aumentos de fierro en la vida útil del componente. Es necesario destacar, que esta parte se realizó con gráfico, camión por camión y que simplemente se observaron los intervalos en donde se aumenta el valor del fierro por sobre el límite máximo, dejando de lado muestras de ese mismo intervalo que presentaran valores menores, debido a que se consideró que eso puede deberse a los cambios del aceite y no necesariamente por un cambio en la condición del componente.

Para finalizar se realizaron, luego de los recuentos en los camiones, el cálculo del promedio y los respectivos intervalos de confianza para la duración de los componentes considerados, para

las horas en funcionamiento normal y para las horas en funcionamiento anormal. Esta información es presentada a continuación:

Tabla 14 Comportamiento contaminación

	Hr. Componente	Hr. Normales	Hr. Anormales
Todos	9.126	6.576	2.551

En la Tabla 14 se encuentra el cálculo de los componentes que cumplían con las condiciones para ser analizados, por lo tanto, cumplían con que el intervalo de duración del mando estuviese dentro del intervalo de duración de la contaminación y además los camiones se encontraban en una y otra base de datos, como ya se expuso. Y los resultados muestran que la media de los mandos seleccionados se encuentra cercana a la media de la totalidad de los 289 datos de la base de datos de componentes, recordando que esta se encuentra en 10.355 horas, 1.229 horas bajo la media de la muestra total. Ahora, con respecto a los datos a analizar de duración de horas bajo comportamiento normal y anormal, es posible determinar que el 72 por ciento del tiempo de operación del componente en promedio este se encuentra trabajando bajo un trabajo normal, lo que corresponde a 6.576 horas promedio y solo el 28 por ciento de las horas promedio, o sea, 2.551 horas los mandos se encuentran operando bajo condiciones de desgaste.

La idea del cálculo anterior es ir a lo particular, y mostrar lo que sucede momento a momento en el mando de modo de complementar la toma de decisión. Es así como la información recabada permite observar que es antes de las 6.576 horas promedio en que se debe ejecutar la rotación o realizar otra acción tendiente a aumentar la vida útil del componente. Por otra parte, existe una ventana de 2.551 horas promedio, dentro de las cuales es posible planificar el cambio, la limpieza, o monitorear específicamente el modo de falla del mando para clasificarlo en algún patrón y conocer con certeza el momento ideal de reemplazo.

También es importante segmentar los datos en este punto, o sea, mandos por fallas normales y por fallas prematuras. Para así determinar particularmente cuanto es el tiempo de funcionamiento normal y anormal en cada uno de los respectivos modos, sin embargo, de la totalidad de los datos, es necesario decidir cuáles son prematuros y cuales son considerados normales. Para esto se utiliza la información ya determinada desde la planilla de componentes en la cual se decidió que los mandos con modos de falla Componentes, Contaminación y

Ocasionales, son los considerados con falla. Por lo tanto, se calcula el intervalo de confianza para la media de duración de componentes, del grupo de datos considerados en estos tres modos de falla.

Tabla 15 Limites de confianza para media modos de falla Contaminación, Componentes y Ocasionales

Prematuros	Inferior	6.927
	Superior	8.422
	Nº datos	107

De este cálculo se obtiene que el número de datos considerados en este, es de 107 y que los límites son los que se muestran en la Tabla 15. Para discriminar los mandos fallados prematuramente y los por causas normales, se utilizará como corte el límite superior del intervalo de confianza calculado para los promedios de los componentes para los tres modos de falla citados. Por lo tanto, los mandos fallados prematuramente se encontrarán hasta las 8.422 horas. Todos los mandos encontrados desde ese punto hacia adelante, se considerarán fallados normalmente. Por lo tanto, con esta clasificación ya es posible calcular los intervalos de confianza para una y otra clasificación.

Los datos analizados, mantienen la preponderancia de la muestra. Esta información se expone para tener en conocimiento de qué es lo que se está analizando y además para notar la semejanza con la muestra total y corroborar la validez de la sub muestra considerada.

Tabla 16 Información Submuestra

	Nº	% Sub muestra	%Total muestra
Componente	4	11	12
Contaminación	11	31	20
Normal	20	56	61
Ocasionales	1	3	7
TOTALES	36	100%	100%

Con la Tabla 16 se demuestra que el comportamiento de la sub muestra extraída es similar al comportamiento de la muestra y que por lo tanto son válidas las conclusiones obtenidas de la

sub muestra. Esto se refiere a que el orden de los porcentajes de cada modo de falla son los mismos, sin embargo, varían un poco estos.

Pese a esta primera comparación, al seleccionar solo una porción de los resultados de la base de datos se hace necesario verificar que ambos conjuntos de datos poseen el mismo comportamiento estadístico, para que las conclusiones obtenidas sean verídicas. Para lo anterior, se aplica el test de Kolmogorov – Smirnov (14) el cuál entrega como resultado $h=0$, lo que significa que se aprueba la hipótesis nula, de que, ambos conjuntos de datos son similares.

Con lo anterior se aprueba la utilización de las conclusiones extraídas en el trabajo con respecto al conjunto de datos del cruce de las bases de datos.

A continuación, se presentan los promedios y los intervalos de confianza de las horas de duración, normales y no normales, para los mandos que fueron posible analizar y que presentan medias dentro del intervalo de modos de falla Contaminación, Componentes y Ocasionales.

Tabla 17 Intervalos de confianza fallas prematuras

		Hr. Componente	Hr. Normales	Hr. Anormales
	Promedio	4.920	3.094	1.826
	Desv. Est.	2.487	1.869	1.622
Intervalo de confianza	Límite Inferior	3.519	2.042	913
	Límite Superior	6.320	4.147	2.739

Esta tabla permite observar claramente el comportamiento del desgaste del mando final y, por lo tanto, ser más preciso con el momento de ejecución de las actividades. Esto quiere decir, que los mandos duran aproximadamente cuando fallan de manera prematura, por contaminación, algún componente u ocasionalmente, 4.920 horas en promedio. Siendo el promedio de horas en funcionamiento normal de 3.094 horas y en funcionamiento anormal de 1.826 horas. Esto permite identificar el rango dentro del cual es posible encontrar un mal funcionamiento del componente, en promedio y no para la totalidad de los componentes vale la pena recordar y, por lo tanto, conocer la holgura con la que se puede planificar un cambio en el caso que un componente comience a presentar el desgaste prematuro. Además, esto permite identificar que

mandos se encuentran dentro de un comportamiento anormal y no es posible aplicar la rotación y cuales se encuentran en un comportamiento normal y por lo tanto vale la pena evaluar la rotación.

Sin embargo, pese a que es posible identificar que los promedios se encuentran en esos valores, se calcularon los intervalos de confianza para el promedio, las horas normales y anormales. De esto cabe destacar, que desde las 2.042 y hasta las 4.147 horas, es posible que se encuentre la media del funcionamiento normal y por lo tanto no existe reflejo de aumento de la contaminación en las muestras, sin embargo, desde ese momento y entre las 913 y las 2.739 horas posteriores, y cuando se inicia el aumento de la contaminación, el mando funciona en condición anormal hasta ser reemplazado, según la experiencia demostrada por lo datos.

De la Tabla 17 vale la pena destacar que los mandos a lo menos poseen una duración de 2.042 horas con funcionamiento normal y después comienza a entrar en la zona donde puede comenzar el comportamiento de desgaste más acelerado.

A continuación, se presenta la misma información, pero para los mandos cambiados por modo de fallas normales.

Tabla 18 Intervalo de confianza fallas normales

	Hr. Componente	Hr. Normales	Hr. Anormales
Promedio	11.504	8.543	2.960
Desv. Est.	843	2.697	2.799
Límite Inferior	11.147	7.402	1.776
Límite Superior	11.860	9.685	4.145

En esta se observa que el promedio de funcionamiento de los componentes con comportamiento normal es de 8.543 horas con la contaminación dentro de los rangos normales de desgaste, mientras que el promedio de comportamiento en desgaste y, por ende, en el cuál los valores de la contaminación superan el intervalo de confianza máximo es de 2.960 horas.

Con esta información, ya es posible tomar decisiones y concluir a cerca de la estrategia aquí sometida a estudio. El avance en el estudio y los resultados permiten observar el comportamiento y modelar lo que sucede con en base a información concreta y extraída desde

el mismo lugar en donde se pretende poner en funcionamiento la estrategia y por lo tanto da solidez al resultado aquí obtenido.

7.5 Resultado del análisis de la estrategia

Con la información ya obtenida, es posible extraer un resultado previo de la factibilidad de la realización de la estrategia de rotación de los mandos finales de los camiones de carguío.

Según la información expuesta en la sección anterior, se determinó que los mandos son posible rotarlos entre las 6.000 y las 7.000 horas de funcionamiento con un riesgo de entre el 34 y el 43 por ciento de que falle. Esto permite que la medida sea ejecutada 600 horas antes del promedio de falla de los componentes que sí fallan en la base de datos que poseen un promedio de 7.674 horas, y no sobre los que son cambiados por decisión solamente del Dealer. Por lo tanto, si se realizara la medida se ejecutaría entre las 6.000 y las 7.000 horas.

Con la información anterior se conoce los momentos en los que fallaban los componentes y a grandes rasgos la forma en la cual fallan los mandos, pero sin embargo no era posible determinar cómo se estaba comportando el desgaste de cada componente de la flota. Por lo tanto, se hizo necesario observar lo que ocurría con las muestras de aceite como se planteó en los objetivos específicos, para de esta forma entregar una herramienta para ir descartando momento a momento los componentes que quedarán fuera de la estrategia y cómo evolucionan. Es por eso que se logra conocer que los componentes, se encuentran con una contaminación normal, cuando esta se encuentra en valores de entre las 17 y 24 ppm de fierro, valores obtenidos al calcular el promedio de los intervalos de confianza de los respectivos camiones existentes en ambas planillas. Las muestras de cobre, plomo u otros elementos no se consideran, ya que son poco significativas para la visualización del desgaste.

En este punto existen dos flancos diferentes, el primero, solucionar la desviación que podría estar sucediendo en los mandos con fallas prematuras y que estén relacionadas con el desgaste en los engranajes del mando final, y el segundo, prevenir las fallas y aumentar la duración de los mandos finales que presentarán fallas normales y que además son cambiados producto de decisión local.

En el primero de los casos es necesario observar el momento en que comienza la contaminación, que según los datos entregados por los intervalos de confianza podría empezar

entre las 2.042 y 4.147 horas y que se extendería entre 913 y 2.739 horas, esto ayuda a centrarse en las horas en las cuales se debe observar el desgaste para ejecutar la decisión de rotar los componentes. Es posible incluir dentro de estos intervalos para complementar, inspecciones a los mandos para poder ejecutar de buena forma la rotación, sabiendo por ejemplo que existe un rango de a lo menos 3 mantenciones para inspeccionar el componente antes de que se haga necesario cambiarlo.

En el segundo caso, el inicio de la contaminación, se encuentra posterior a la decisión de rotación, según los promedios de cambio, esto es, que los mandos se rotarían con entre un 34 y 43 por ciento de riesgo de falla entre las 6.000 y 7.000 horas, pero sin embargo el inicio del aumento de la contaminación se produce entre las 7.402 y 9.685 horas y el desarrollo de la contaminación se encuentra entre las 1.776 y 4.145 horas, esto permitiría en el caso que se compruebe mediante la prueba de que los mandos extienden su vida útil, realizar la medida, sin la presión de que se está desarrollando un desgaste peligroso para el éxito de la estrategia.

La factibilidad de realizar no ha sido probada, ya que, si bien existen comentarios a cerca de la ejecución en otras faenas, estos no pudieron ser comprobados en el transcurso de este trabajo. Sin embargo, se hace necesario conocer que tan real será la mejora y el aumento de vida útil de los mandos. Para eso, se debió buscar más información del comportamiento particular y específico de los mandos. Para ello se solicita información al centro de reparación y se expande el modo de falla Componente porque es el que permite visualizar que pieza o parte falla específicamente en el mando final.

Para determinar las fallas más recurrentes es solicitada información al centro de reparación de componentes de Dealer, que es el proveedor de Caterpillar en la región. Este centro de reparación está ubicado en la ciudad de Copiapó y repara los mandos finales provenientes desde la Compañía Minera. Cabe destacar que existen otros centros de reparación en Chile, pero que sin embargo se comienza por este que es el representativo de los datos del estudio que se está realizando.

Producto de la visita se logra determinar que los mandos finales sufren desgaste particular al requerimiento que posee el componente dentro de la faena según la ruta que transita el camión y que fue expuesta en el estudio de la ruta (sección 6.1.1), y esto se refiere a desgaste principalmente en los conjuntos de frenos, anchor brake, pistón de servicio, plato de carga

(Retainer) y Maza (Hub). Esto significa que el desgaste se produce en piezas del mando diferentes a las contempladas inicialmente, o para las que la rotación generaría un beneficio. Esto sin nombrar que se está considerando la mayoría, pero no la totalidad, por lo que caben algunos casos en los que la estrategia podría ser aplicable.

Esta información no fue posible corroborarla con ítems de reparación promedio u otro dato. Solo se rescató de la información entregada por personal técnico que asegura las reparaciones más frecuentes se producen por la falla de aquellas piezas.

Tal y como se expuso en la sección 6.1.1 la ruta de la faena posee una severidad alta, lo que provoca que los componentes exigidos comúnmente no sean los engranajes, a tal punto que no se genera un desgaste en estas piezas que se requerían para este estudio, sino que el desgaste se produce en estas piezas solo en ocasiones. Además, las pendientes, los ángulos de giro y la irregularidad del suelo, provocan que particularmente el componente mando final, en esta faena, tenga una baja duración y el lugar donde se concentra el desgaste es en los frenos y piezas de plato de carga y maza.

La información recabada reduce la utilización de la medida en la Minera porque el principal desgaste no se encuentra en los engranajes, pero sin embargo deja abierta la posibilidad a realizarla en una mayor cantidad de camiones en otras faenas en las cuales los componentes puedan desgastarse de otra forma y que por lo tanto la estrategia de la rotación tenga el resultado esperado producto de la utilización de la otra cara del engranaje.

Ahora, al volver a analizar la información de las bases de datos, recabada desde el personal de Dealer del contrato de la Compañía Minera, fue posible rescatar los componentes que fallan. Como se explicó anteriormente se clasifico en cuatro modos de falla, de los cuales uno de ellos es Componentes. Esta clasificación podría indicarnos otra aproximación a la forma en que se comportan las fallas en general de la totalidad de los mandos cambiados.

Los datos incorporados en el modo de falla Componentes corresponden a 32 de los 289 datos totales y corresponden al 11 por ciento, con esto se aclara la forma del comportamiento de las fallas comunes de los mandos finales en la Minera.

Al clasificar estos datos, se grafican en un gráfico de torta se aprecia el siguiente resultado:

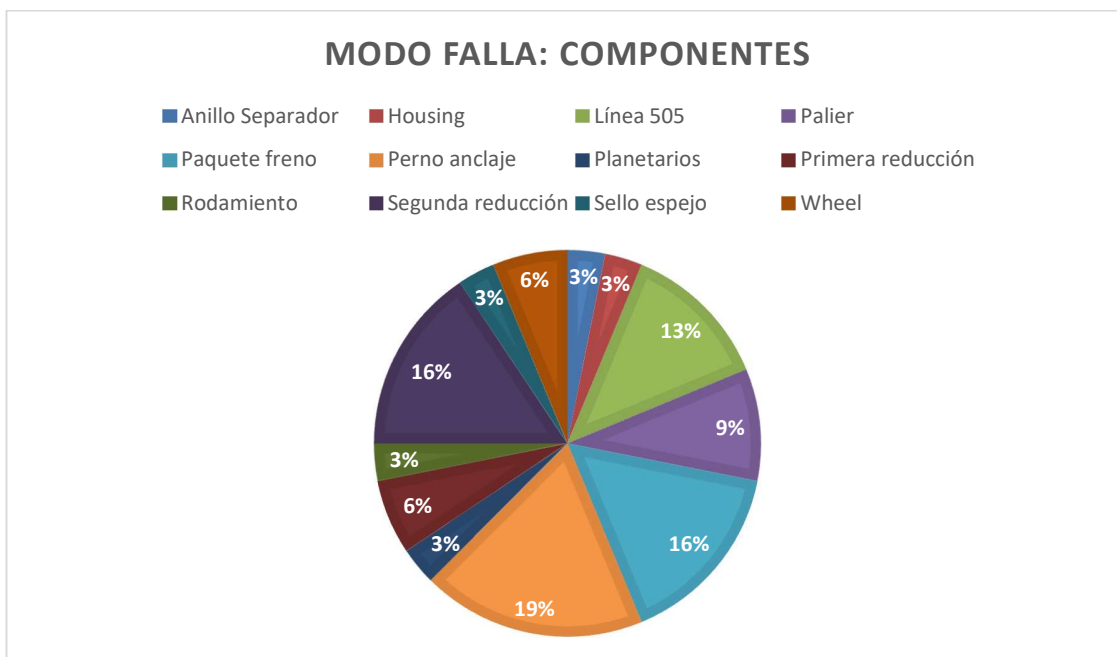


Figura 7.15 Gráfico Modo de falla: Componentes

En el gráfico de la Figura 7.15 se puede apreciar varias conclusiones que corroboran la información entregada por el centro de reparación de Dealer en Copiapó. Por ejemplo, existe una serie de fallas dentro de las cuales se encuentra el conjunto de freno, falla denominada como recurrente por el centro de reparación. La falla por paquete de freno posee un 16 por ciento de las fallas totales del modo de falla Componentes. Lo anterior indica que la información entregada por el centro de reparación se condice con la realidad. Además, la falla que se repite con mayor frecuencia dentro del modo de falla Componentes, es la de los pernos de anclaje que ejemplifica que los mandos no fallan en su mayoría por fallas en las coronas, satélites y solares. Juntos entre estas dos primeras fallas acumulan el 35% de las fallas catalogadas como componentes.

Al revisar las fallas asociadas a los componentes de interés para el trabajo, es posible observar que existen tres fallas asociadas, que corresponden a Primera reducción, Segunda reducción y Planetarios. Cada una de estas fallas posee un 6, 16 y 3 por ciento respectivamente de fallas en el modo de fallas componentes. Esto es asociado a que en total en un 25 por ciento de los 32 casos sería posible mejorar la condición mediante la rotación de los mandos finales, evaluando que esta medida sea completamente factible.

Si bien al clasificar los modos de fallas y recibir la información por parte de Centro de Reparación, es posible que se cree la idea de que es poco factible realizar la estrategia, fundamentalmente porque se encontrarían fallando por otras piezas del mando final el componente, lo que desecha la estrategia, y además porque el volumen del que se está hablando al realizar la clasificación es menor. Considerar que son 8 casos en los casi 6 años existentes en la base de datos y de un total de 289 datos existentes para evaluación, hace pensar que es casi innecesario someter a evaluación la estrategia.

De todas maneras, cabe destacar que es posible que la estrategia tenga mayor cabida en la flota debido a que puede que una parte de los componentes clasificados por contaminación correspondan a fallas relacionadas con los engranajes. Además, es necesario considerar que los componentes con vida útil cumplida también puedan aplicarse la estrategia, esto debe corroborarse en un segundo estudio, que contenga los análisis de las reparaciones de los mandos finales.

En un comienzo, la realización aparece como una buena opción para extender la vida útil de los componentes, de forma fácil uno pudiese decir que para que los mandos continuaran con una extensión de tiempo, sabiendo que estos se desgastaban con mayor rapidez de un lado que del otro producto del análisis previo de las duraciones de estos, solamente sería necesario realizar una rotación de los componentes, utilizar ambas caras de los engranajes y ya está. Sin embargo, al abrir el abanico de variables que intervienen en la idea y luego en la evaluación de la estrategia se comienza a sopesar realmente cada uno de los factores que intervienen en tomar una decisión así.

Es así como en un primer momento se considera que realizando la evaluación de los componentes en sus horas de falla solamente y acompañándolo de la contaminación sería suficiente para dar el visto bueno a la realización de la estrategia que nace del área de mantenimiento por lo que se espera que sea inmediatamente factible de realizar. Sin embargo, al cabo de tener los datos y comprobar que esta base de datos considera más información que puede ser procesada para acompañar y mejorar el fundamento, es que se decide a complementar el trabajo, manteniendo los objetivos y el alcance, pero utilizando la totalidad de la data.

Al procesar la información existente en la base de datos se hace posible visualizar que existe un ítem relevante dentro de la información disponible, y tiene relación con el modo de falla. Si

bien a primera vista esta posee una variedad de clasificaciones, pero se observan naturalezas similares y es por ahí que se parte desarrollando la idea de determinar clasificaciones que terminan siendo cuatro. Estas cuatro clasificaciones o modos de falla que agrupan a los comentarios colocados por el proveedor en el momento del reemplazo del componente, permiten clasificar las fallas y observar información relevante.

La observación en gráficos de la información clasificada en los modos de falla hace posible determinar que los mandos se estaban cambiando por anticipado a lo que el proveedor informa por target de duración para este componente. Además, se agrega que los componentes en su mayoría son cambiados por esta razón en la Minera.

Otro de los puntos relevantes es que una de las clasificaciones relacionada con los componentes permite visualizar que los mandos finales fallan en solo un 25 por ciento por algunas de las piezas del estudio, esto quiere decir, en los engranajes, por lo que la rotación solo sería válida en esos componentes. De todas maneras, es interesante considerar que a lo anterior se deben sumar los casos en que el componente se cambia por modos de fallas normales y que también serán considerados para aplicar la rotación ya que son componentes con un potencial de continuidad de operación.

Finalmente, los componentes catalogados como modo de falla contaminación, también poseen el potencial de ser rotados dependiendo del comportamiento.

Como se apreció la posibilidad en el modo de falla componentes es acotada y según lo expresado por el personal de Dealer que repara los componentes en donde se hace saber que la mayoría de los mandos no falla por problemas en los engranajes, es que se debe complementar la decisión con el análisis de la contaminación siguiendo los parámetros designados en este estudio.

De todas maneras, y fuera del alcance de este trabajo, se encuentra el análisis en detalle de otros parámetros y variables que pudiesen no haber sido considerados en este estudio. En ellos, deben encontrarse como ya se mencionó, las revisiones a las reparaciones de los mandos de forma más exhaustiva. Además, idealmente se hace necesario someter el componente a algún análisis de esfuerzos mediante un software que permita realizar esta función. Esto para observar el comportamiento de los mandos y saber a ciencia cierta cuales son las razones de los desgastes

en las diferentes mineras que puedan aplicarse esta medida. Además, esto permitiría saber cuales son los esfuerzos que realiza el camión en la mina y donde se encontrarían, para ser solucionados.

Por otra parte, para complementar aún más este estudio, es necesario realizar mediciones a los componentes del mando en las mantenciones. Esto quiere decir, medir los engranajes en las mantenciones, para determinar físicamente el desgaste que van teniendo estas partes y la relevancia en el desgaste al interior del componente.

Como suma al estudio, pudiese considerarse además un análisis de las revisiones de los tapones magnéticos, esto para complementar de mejor manera los modos de falla de los componentes. Esto porque según la información que se pudo recabar en la visita al centro de reparación en Copiapó, existen variables como el color de la contaminación existente en estos elementos, que indicarían cual es el tipo de falla que se está presentando en el componente.

Finalmente, es necesario incluir información del comportamiento de la contaminación en otras faenas para determinar las factibilidades y determinar patrones de comportamiento para otros lugares, condiciones y geometrías de las minas. Sin perjuicio de esto, más adelante se incluye información que pueda dar un indicio de lo que está sucediendo en otra faena y el campo de aplicación en Chile para esta estrategia.

7.6 Sub-análisis Reparados Chile-Reparados Fábrica

Al margen del análisis realizado para la totalidad de la flota, se ejecuta un análisis segmentando los componentes, según la procedencia, esto quiere decir si el componente es nuevo, reparado en Chile o reparado en Fabrica. Esto para observar si existe alguna particularidad en el desempeño de uno y otro estableciendo si existen mejoras en una u otra elección.

Como primera parte se expone las cantidades de componentes reparados según su procedencia en las diferentes clasificaciones encontradas:

Tabla 19 Clasificación según producción

Clasificación	Cantidad	Porcentaje
Sin datos	169	59.3%
Línea 505 (Chile)	94	33%
Línea 511 (Fábrica)	16	5.6%

PTT (Power Train Technologies)	6	2.1%
Total	285	100%

Por lo tanto, del total de la base de datos, será analizada el 40.7% ya que de ellos se precisa la procedencia y será posible lograr el objetivo buscado de conocer el comportamiento dependiendo de la procedencia.

Al igual que con la base de datos de componentes de la flota, se observará el comportamiento, estableciendo un entendimiento inicial de los datos. En este caso se mirará en particular en cada uno de los segmentos dependientes del lugar de reparación del componente.

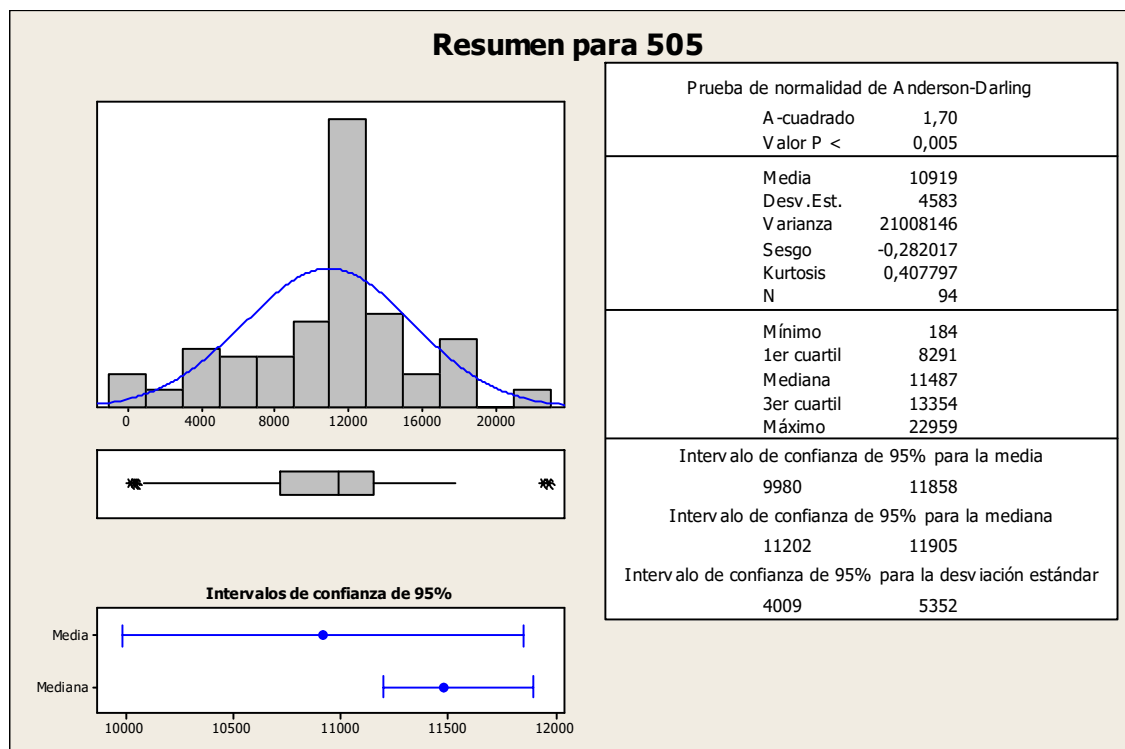


Figura 7.16 Resumen estadístico gráfico componentes reparados en Chile

Para el primer caso, de los datos de los componentes reparados en Chile, se nota un comportamiento similar al expresado en la base de datos total, esto quiere decir lo siguiente:

- Se nota un corrimiento de los datos con respecto a la normal, y este desplazamiento sería hacia la derecha. Como es posible apreciar, además, el valor p es menor a 0.005 por lo que no correspondería a la normal, al rechazarse la hipótesis nula de que la distribución es normal.
- La media se encuentra muy cercana a la media de la base de datos total, siendo la de la base de datos 10.355 horas y en esta se puede observar que corresponde a 10.919 horas.
- La desviación estándar también es parecida a la de la base de datos, siendo 4.583 y la de la base de datos 4.146.
- El sesgo además al igual es hacia la izquierda o negativo, correspondiendo a una cola hacia la izquierda, manteniendo unas pocas fallas en el inicio y una gran cantidad posteriormente, y no simétricamente como se esperaría de un comportamiento normal, pero si normal respecto a los típicos gráficos de tasas de falla.
- La medida de Kurtosis también presenta el mismo comportamiento, siendo positiva, lo que refleja que la distribución es más alta que lo normal, esto también se puede apreciar en el gráfico de la normal dispuesto detrás de la distribución.
- En consecuencia, con todo lo anterior, el mínimo, 1er cuartil, Mediana, 3er cuartil y máximo se encuentran en similar ubicación de horas.
- El intervalo de confianza, con un 95%, se encuentra entre 9.980 y 11.858 horas.

A continuación, en la Figura 7.17 se presenta el gráfico de los 16 datos de duración de mandos finales, correspondientes a componentes reparados en fábrica. Estos datos, cabe destacar que pertenecen al 5.6% de los datos de la base de datos, según lo expuesto en la Tabla 19.

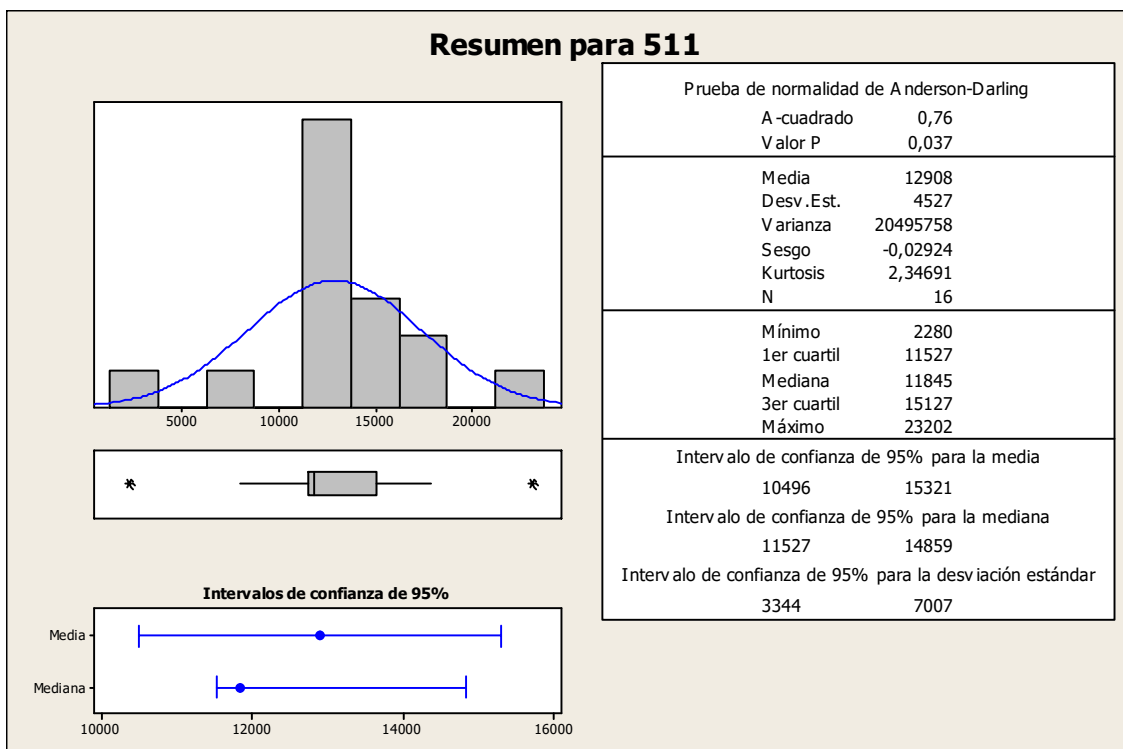


Figura 7.17 Resumen estadístico gráfico componentes reparados en Fábrica

De este gráfico, es posible determinar varias diferencias que lo caracterizan y que representan un comportamiento diferente al presentado por los componentes reparados en Chile. Las diferencias son las siguientes:

- La media es superior, llegando a un valor promedio de 12.908 horas.
- La desviación estándar es similar y su valor es de 4.527.
- El sesgo es negativo, por lo que la distribución tiene su cola hacia la izquierda, que como se dijo en el caso anterior es lo común para tasa de falla.
- Con respecto a la medida de Kurtosis esta distribución presenta un valor mayor, lo que indicaría que la punta de la distribución es aún más pronunciada.
- El primer y segundo cuartil se encuentran muy cercanos y a una duración mayor que la de las otras distribuciones. El primer cuartil y mediana se encuentran en 11.527 y 11.845 horas respectivamente, encontrándose el tercer cuartil en 15.127, lo que demuestra que en un inicio los datos están muy concentrados y después comienzan a separarse los datos, llegando a un máximo incluso de 23.202 horas.

- El intervalo de confianza, con un 95 % para la media, es de 10.496 a 15.321 horas.

Finalmente se graficará el comportamiento de los 6 últimos datos de los mandos reparados por una empresa diferente al Dealer. Esta gráfica se puede ver en la Figura 7.18

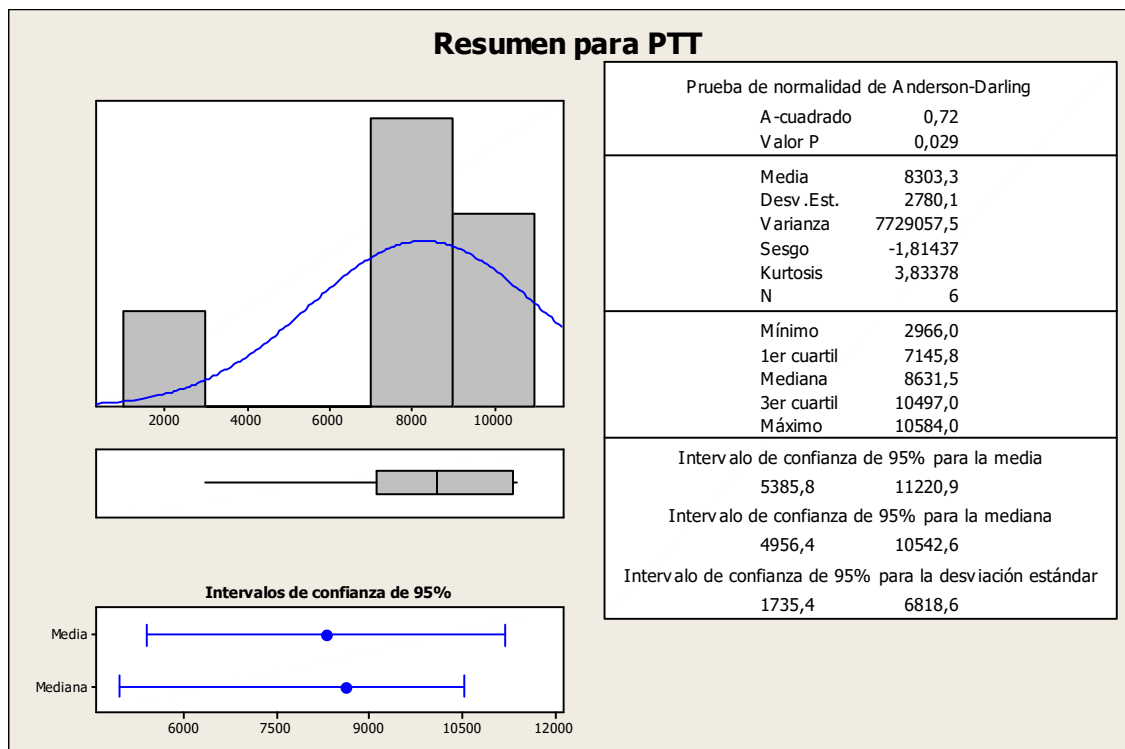


Figura 7.18 Resumen estadístico gráfico componentes reparados por PTT (Power Train Technologies)

De la Figura 7.18 es posible observar otras diferencias con respecto a los dos anteriores gráficos y principalmente talleres de reparación:

- Como aparece en el detalle la media es de 8.303 horas, con una desviación estándar de 2.780.
- El sesgo es negativo, por lo que al igual que las distribuciones anteriores, tiene la cola hacia la izquierda por lo que aumentan las fallas a medida que pasa el tiempo.
- Kurtosis es positivo, lo que indica que la distribución presenta una gran concentración de los valores en la región central.

- Esta distribución posee una distribución en un intervalo inferior a las otras. Encontrándose el primer cuartil en 7.146 horas, la mediana en 8.632 horas y el tercer cuartil en 10.497 horas. Esto demuestra que, si bien los datos están concentrados, estos están homogéneamente ordenados en torno a este intervalo.
- Finalmente, el intervalo de confianza para la media se encuentra entre 5386 y 11.221 horas

Tabla 20 Comparación mandos según el lugar de reparación

Muestra/ Indicador	Línea 505	Línea 511	PTT
A-Cuadrado	1.7	0.76	0.72
Valor P	<0.005	0.037	0.029
Media	10.919	12.908	8.303
Desv. Estándar	4.583	4.527	2.780
Sesgo	-0.28	-0.029	-1.81
Kurtosis	0.41	2.35	3.83
N	94	16	6
Mínimo	184	2.280	2.966
1er cuartil	8.291	11.527	7.146
Mediana	11.487	11.845	8.632
3er cuartil	13.354	15.127	10.497
Máximo	22.959	23.202	10.584
Min. Int. Conf. 95%	9.980	10.496	5.386
Máx Int. Conf. 95%	11.858	15.321	11.221

Ahora, al comparar los indicadores estadísticos de las tres distribuciones, es posible obtener conclusiones interesantes. Esta comparación se realiza mediante la Tabla 20. La comparación y las conclusiones que se extraen se irán describiendo en conjunto con cada uno de los indicadores dispuestos en esta tabla:

1. Partiendo con la media se determina que la distribución con mejor promedio es la de los mandos reparados en Fábrica, que incluso posee una duración mayor al promedio de los datos de la base de datos. Esto demostraría que reparar los mandos en Fábrica genera un beneficio en la duración de los componentes de 1.989 horas en promedio. En segundo lugar, los mandos que poseen una mayor duración se encuentran los reparados en Chile, lográndose un promedio similar al de la base de datos en su conjunto de 289 datos. Y, por último, los que poseen un peor desempeño son los componentes reparados en un proveedor distinto al Dealer oficial de la marca, decayendo la duración en 2.052 horas en promedio.
2. Luego con respecto al sesgo y Kurtosis, pese a que los tres poseen la misma tendencia, de tener la cola hacia la izquierda, y también tener una concentración de datos mayor a la normal, es evidente que todas tienen comportamientos diferentes pese a tener este comportamiento común de tasa de fallas, siendo la que posee un mayor Sesgo y Kurtosis la de componentes reparados en PTT.
3. Luego al comparar los cuartiles, se observa que la distribución que posee la ubicación del primer cuartil más tardía, son los mandos reparados en Fábrica, lo que demuestra que los datos de la distribución de los datos se encuentra más adelante que las otras distribuciones. Lo mismo sucede con los siguientes cuartiles. Sin embargo, llama la atención la proximidad del primer y segundo cuartil en el caso de la distribución de componentes reparados en fábrica.
4. Con relación al máximo mayor, este lo posee también la distribución de mandos reparados en fábrica, lo que ratifica un mejor desempeño.
5. Por último, para los intervalos de confianza, se nota un mejor desempeño de los componentes reparados en Fábrica, con un intervalo de confianza para la media entre los valores de 10.496 y 15.321 horas, observándose el peor desempeño para los mandos reparados en PTT que posee un intervalo entre las 5.386 y las 11.221 horas. Los mandos reparados en Chile, mantienen similar comportamiento a la data analizada para toda la base de datos. Lo anterior puede deberse a que como la mayoría de los componentes reparados en la base de datos pudiesen estar reparados en Chile, el comportamiento tiende a ser más similar a la distribución de datos de componentes reparados en Chile

En resumen, luego de este análisis, es posible concluir que los mandos reparados en Fábrica poseen un mejor desempeño, logrando hasta un 27% más de duración en promedio que el conjunto total de datos restantes analizados.

Además, que los mandos reparados en PTT poseen el más bajo desempeño pudiendo evaluarse si es que es rentable producto de un posible bajo costo de reparación que pudiesen tener estos.

Este análisis es un beneficio para la estrategia en el sentido que entrega un segmento de componentes en los cuales se puede aplicar la medida para tener una expectativa de éxito mayor. Por otra parte, aporta en el sentido contrario al dejar de lado los componentes reparados por empresas diferentes al Dealer, que en este caso posee un desempeño menor, pese a que pudiese tener un costo más bajo.

7.7 Forma de ejecución

La forma en que se debería ejecutar esta medida en la Minera es la siguiente. Ya es conocido:

- Los promedios de horas de cambio de componentes de los diferentes modos de falla.
- Las horas de funcionamiento normal y desgaste de los mandos fallados y los cambiados simplemente por requerimiento del Dealer.
- Valores de contaminación normales.
- Velocidades de desgaste de los componentes.

Con esto existen dos casos, siendo el primero los mandos con falla prematura (7.674), y el segundo los mandos con fallas normales (12.095).

1. Para los mandos con falla prematura, es necesario realizar el seguimiento de 0-6.000 horas. Horas determinadas para rotación con riesgo 34%, y colocar énfasis entre las 2.042 y 4.147 horas, intervalo en que se encuentran las horas de funcionamiento normal, según el intervalo de confianza para la media 95 por ciento del elemento fierro.

Mientras se comporte normal, con contaminación entre las 18 y 24 ppm, solo se debe mantener el monitoreo normal en las Mantenciones Programadas (PM).

Además, como se advirtió en el ejercicio realizado sobre el camión 71, sumado a los valores de particulado en aceite, importante es el valor de la velocidad de desgaste. Por lo que valores de 4-12 ppm/1.000 horas, serían aceptadas para este caso.

Apenas comiencen valores superiores de contaminación en las muestras, que podrían incluso ser después de las 4.147 horas y manteniendo las condiciones antes descritas, se debe evaluar en las mantenciones el tipo de falla que se está presentando, mediante las evaluaciones del personal y las condiciones de falla. Una vez descartados todos los modos de fallas frecuentes y establecido que el desgaste se está produciendo en los engranajes, sin una anomalía crítica, se debe programar la rotación.

2. Para los mandos con falla normal, es necesario realizar el seguimiento común de todos los mandos, de 0-7.000 horas en este caso. Horas determinadas con riesgo del 43 por ciento. En estos casos no se presentará contaminación, por lo que se espera que los valores de ppm de hierro se encuentren entre las 18 y 24 ppm.

También se considera la velocidad de desgaste para este caso entre las 4-12 ppm/1.000 horas de funcionamiento del equipo.

En este caso, antes que comience a presentarse el aumento en la contaminación y se ingrese al intervalo en el que podría encontrarse el inicio de la fase de desgaste, 7.402 y 9.685 horas, se debe planificar y realizar el cambio de los mandos de izquierda a derecha y viceversa.

Luego de realizada esta secuencia es necesario evaluar a cada momento los mandos, extrayendo muestras incluso en las detenciones imprevistas.

Es necesario recordar que sobre las 12 ppm/1.000 horas de velocidad de desgaste, no es posible realizar la rotación debido a que supera el desgaste normal y se considera que podría corresponder a fallas catastróficas como se muestra en el análisis del camión 71, en el que a 18 ppm/1.000 horas y 28 ppm/1.000 horas presenta comportamiento aleatorio y desgaste en falla respectivamente.

Por último, y considerando que los datos del análisis de los mandos dependientes del lugar de reparación arrojaron que los mandos con mejor performance son los reparados en Fábrica, se debe privilegiar comenzar por aplicar la estrategia en este grupo de componentes, siempre y cuando sea factible por supuesto.

7.7.1 Seguridad

En la minería, uno de los factores importantes para el desarrollo de la actividad, es la seguridad. Esto porque está demostrado que, en Minería a diferencia de la construcción, el índice de fatalidad es alto. Esto significa que, por una misma cantidad de personas accidentadas, los resultados fatales, son más altos. Es por ello que se hace necesario introducir este tópico en el trabajo que, si bien no es el centro del trabajo y además este trabajo contempla una primera parte para la ejecución de la estrategia, se hace necesario disponer de este.

Los riesgos en cuanto a accidentabilidad al aplicar esta estrategia, es baja, esto porque las fallas en los mandos finales tienen baja peligrosidad, ya que la falla es interna al componente y principalmente el resultado de las fallas tiene consecuencias sobre el equipo, producto de la inmovilidad de equipo en la mina.

El principal riesgo que se puede incurrir es por la reutilización de los pernos de fijación del mando y posterior causa de falla en los pernos de anclaje y que debe procurar reemplazarse para limitar este suceso.

7.8 Ampliación a otras faenas

El objetivo de la estrategia siempre ha estado circunscrito a la faena en la cual se expuso la información, esto para lograr un resultado acotado pero efectivo. Aun así, la idea es rescatar información desde otras faenas para dejar registro de la factibilidad de evaluar la medida en otras faenas para aumentar el impacto de la estrategia y además para evaluar según los cambios de las variables.

Para comenzar, se expondrán los resultados de la investigación de los camiones de igual modelo existentes a nivel nacional de las diferentes mineras. El resultado encontrado producto de la investigación es el siguiente:

Tabla 21 Flotas a nivel nacional (15)

Faena	Cantidad
Candelaria	48

Cerro Colorado	31
El Abra	43
Lomas Bayas	2
Los Colorados	17
MEL	20
Romeral	16
San Cristóbal	1
Spence	41
Tesoro	27
Total general	246

Dealer, pero esta vez la Casa Matriz entrega la siguiente información respecto de los clientes que poseen flotas de camiones Caterpillar modelo 793. En la tabla, se observa la flota de Minera Candelaria en primer lugar y se aprecia que esta posee la mayor cantidad de camiones de las flotas existentes a nivel nacional. A continuación, la siguen las flotas de Minera El Abra y Minera Spence.

De esta tabla es interesante observar, que la cantidad de camiones a nivel nacional, factibles de aplicar un estudio similar, son 246. Además, la proporción que representa Minera Candelaria con respecto al total de camiones existentes a nivel nacional es de un 19.5 por ciento. Por lo tanto, queda un 80.5 por ciento del mercado nacional, con potencial de ser estudiado y que finalmente resulte exitosa la factibilidad de la aplicación de la estrategia.

Una de las informaciones que se comentaron en este estudio sobre la estrategia, es que se aplicó en otra faena, pero la condición que se remarcó por parte del personal de mantención, es que los camiones en aquella faena más que pendientes, recorrían distancias largas (40 km Aprox.). Es por esto que se muestran las distancias de otras faenas, para tener la noción de cuanta distancia transportan el mineral los camiones. Vale la pena recordar, que para el caso de la Minera como se mostró en la sección de Estudio de la Ruta, los camiones recorren 8.3 kilómetros. Las faenas son las siguientes y la información se pudo rescatar desde el estudio de Benchmarking Gestión Minera Internacional:

Tabla 22 Faenas factibles de implementar la estrategia

Faena	Camiones	Cantidad	Distancia (km)
Spence	(793) C, D, F	40	6.84
El Tesoro	(793) C, F	27	s/i
Cerro Colorado	(793) C, D, F	31	6.59
Total Camiones		98	6.72 Promedio

En estos casos las distancias de desplazamiento de los camiones son mucho menores a la que se planteó en la flota de Mantos de Oro (supuesta faena con aplicación de la rotación).

Cabe destacar que es posible ampliar la estrategia además de otras faenas, a otros modelos de camiones encontrados en Chile y que también poseen mandos finales para la transmisión de potencia hacia los neumáticos. Estos modelos son:

- 777
- 785
- 789
- 797

A modo de recordatorio, es necesario destacar que se habla de que poseen mandos finales, debido a que existen camiones que poseen en vez de transmisión mecánica, transmisión eléctrica, por lo que, en vez de tener engranajes en las ruedas para transmitir la potencia proveniente desde el motor, poseen motores eléctricos que utilizan la energía eléctrica proveniente del generador que se encuentra acoplado al motor. Los considerados anteriormente en el listado, son camiones que poseen mandos finales.

7.8.1 Benchmarking (Contaminación) - Caso: Manto Verde - CAT 777

De lo anterior, es que, en el transcurso del trabajo y producto de la investigación, fue posible solicitar información a un tercero que había realizado un trabajo de comparación de estrategia de cambio de mandos denominado “Estrategia de Cambio de Mandos Finales para camiones de 100 toneladas” (16). Este estudio se solicita debido a que en el resumen se especifica que el estudio se realiza basado en el monitoreo de condición, ítem considerado en el presente trabajo.

Si bien el estudio se desarrolla por otra vía relacionada con el análisis económico de la estrategia, se considera que el estudio del monitoreo de condición pueda ser utilizado para el presente trabajo para visualizar el comportamiento de los mandos, en otros camiones y en otra faena.

De esta forma se logra conseguir la información de la contaminación de la faena Mantos Verdes para ser observada y determinar, a priori, algunas diferencias con la faena en estudio.

La base de datos que fue posible conseguir es de la Compañía Minera Manto Verde, particularmente de camiones marca Caterpillar, específicamente el modelo 777D. Al graficar los datos recibidos es posible observar lo siguiente.

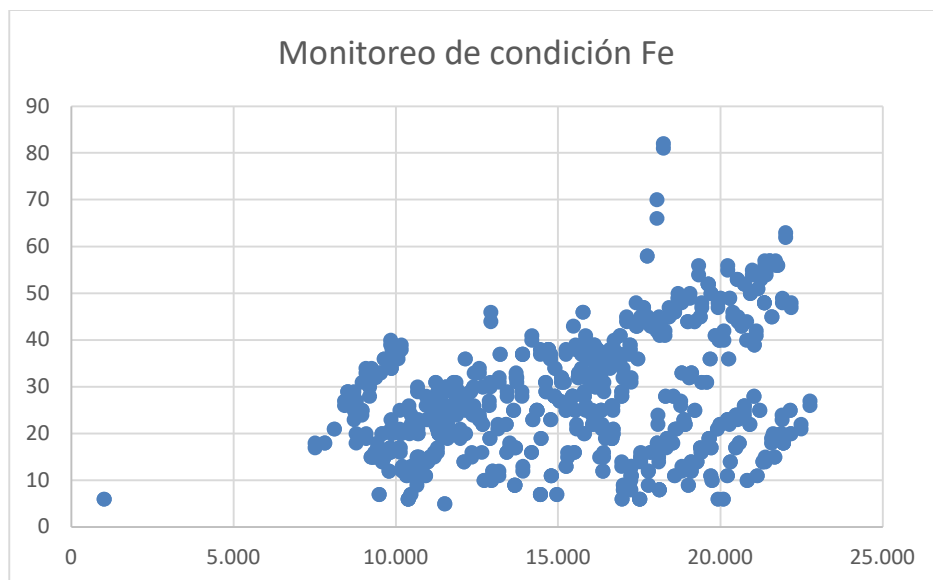


Figura 7.19 Tendencia Fe en flota CAT 777D (Manto Verde)

Para el caso del Hierro, primer elemento seleccionado (Figura 7.19), se puede observar que ya en las primeras horas existe un punto que se encuentra dentro de lo determinado como normal en los datos de minera Candelaria.

Luego, los datos saltan a las 7.800 horas, en donde se encuentran valores ya por sobre las 10 ppm, pero bajo las 20 ppm. Esto podría demostrar la falta de medidas para el aceite como las aplicadas en Minera en estudio relacionadas con la diálisis, limpieza o filtrado del aceite en las

mantenciones, lo que provocaría que la acumulación y posterior desgaste en el componente sea mayor. Finalmente se aprecia que los datos se empujan hasta las 40 ppm.

Posteriormente a las 10.000 los datos se concentran entre las 10 y las 30 ppm para continuar así hasta dispersarse a las 15.000 horas, momento en el cual una parte de las muestras se separa elevándose hasta las 62 ppm mientras que las otras se mantienen en el rango, observándose este comportamiento hasta las 22.752 horas, lugar de la última medición.

Lo importante de este gráfico es que, si bien se observa la falta de medidas de limpieza de los aceites, la contaminación se mantiene constante hasta aproximadamente las 15.000 horas, momento en el cual aparece un descuelgue de algunas muestras, lo que demostraría que en ese punto los mandos están teniendo un desgaste mayor, y, por ende, presuntamente cercano a la falla. Además, es necesario hacer el hincapié de las duraciones de los componentes. Mientras en la Minera en estudio los mandos finales poseen una duración en torno a las 12.000 horas, los mandos en Minera Mantos Verdes poseen una duración de 22.752 horas hasta el último dato, lo cual correspondería a casi el doble, lo que demostraría una exigencia menor en el componente tomando en cuenta los valores de contaminación de Hierro existente en las muestras.

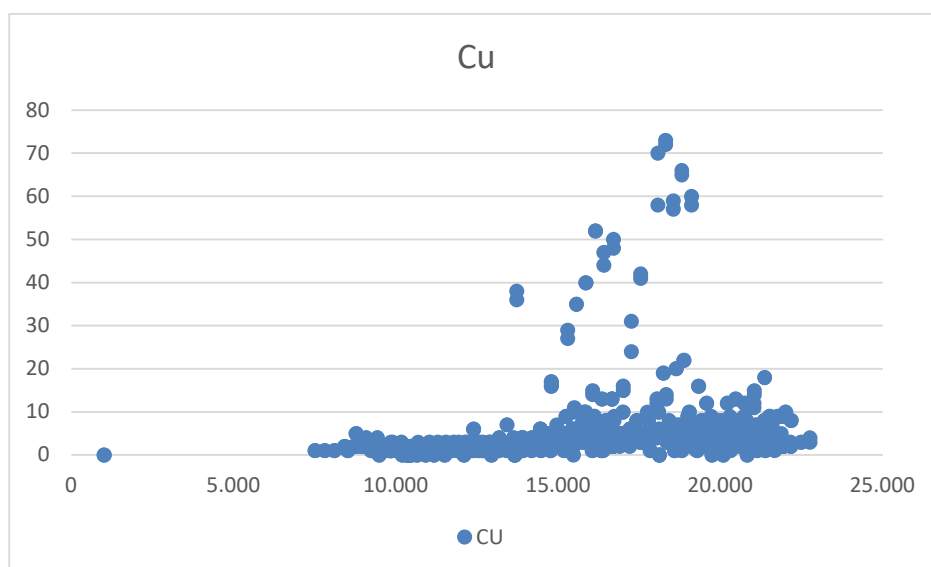


Figura 7.20 Tendencia Cu en flota CAT 777D (Manto Verde)

Ahora, para complementar se grafica en la Figura 7.20 el comportamiento de la contaminación del cobre en los mandos finales. Esta demuestra claramente una tendencia, si bien los valores del comienzo se encuentran en los valores de normalidad, partiendo con una sola medida a las 1.000 horas, el cobre después de las 8.777 horas sube levemente hasta alcanzar valores de 6 ppm, manteniéndose como se observa en el gráfico, pero al llegar a las 15.000 horas hay muestras que comienzan a aumentar rápidamente los valores y consecuentemente los valores de la mayoría de los datos aumenta hasta cerca de las 10 ppm una buena porción de los datos. Estos se mantienen así hasta las 22.752.

Estas gráficas demuestran hasta el momento, que en torno a las 15.000 horas los componentes comienzan a tener desgastes preocupantes y por lo tanto cualquier cambio o mejora se debe realizar previo al cumplimiento de estas horas.

Para finalizar y corroborar la información antes expuesta es que se muestra el comportamiento en la Figura 7.21 de la contaminación de plomo. Pese a que se nota que, en el gráfico, la mayoría de los datos se encuentran entre un valor de 0 y otros de 1, también a semejanza a los 2 gráficos anteriores, existen datos que se despegan de estos 2 valores y pese a que desde las 8.777 horas se producen algunos aumentos se puede notar un claro aumento en torno a las 15.000 horas, lo que corroboraría que cualquier estrategia que se quiera aplicar, esta debe ser realizada previa a estas horas de utilización del componente.

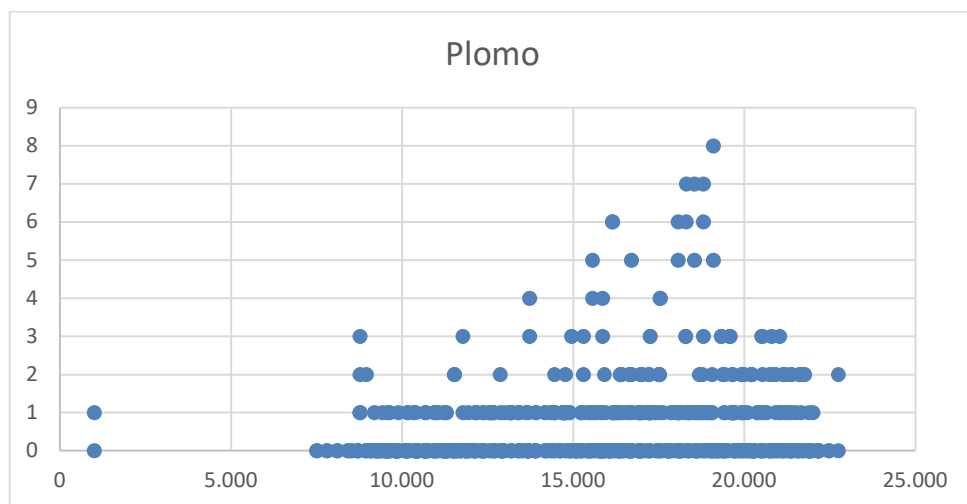


Figura 7.21 Tendencia Pb en flota CAT 777D (Manto Verde)

Lo realizado con estos datos provenientes de Mantos Verdes es lo necesario de requerir para poder como mínimo realizar el comienzo de un estudio de la contaminación y la ayuda en el mantenimiento proactivo que se debería aplicar en las faenas.

Como segunda etapa, se graficarán los intervalos de confianza para cada uno de los elementos mostrados en los muestreos de particulado de esta faena. Esto a fin de comparar y corroborar las diferencias existentes en las diferentes faenas y demostrar la necesidad de corregir las medidas y los momentos en que se pueden y deben ejecutar estrategias como la aquí expuesta.

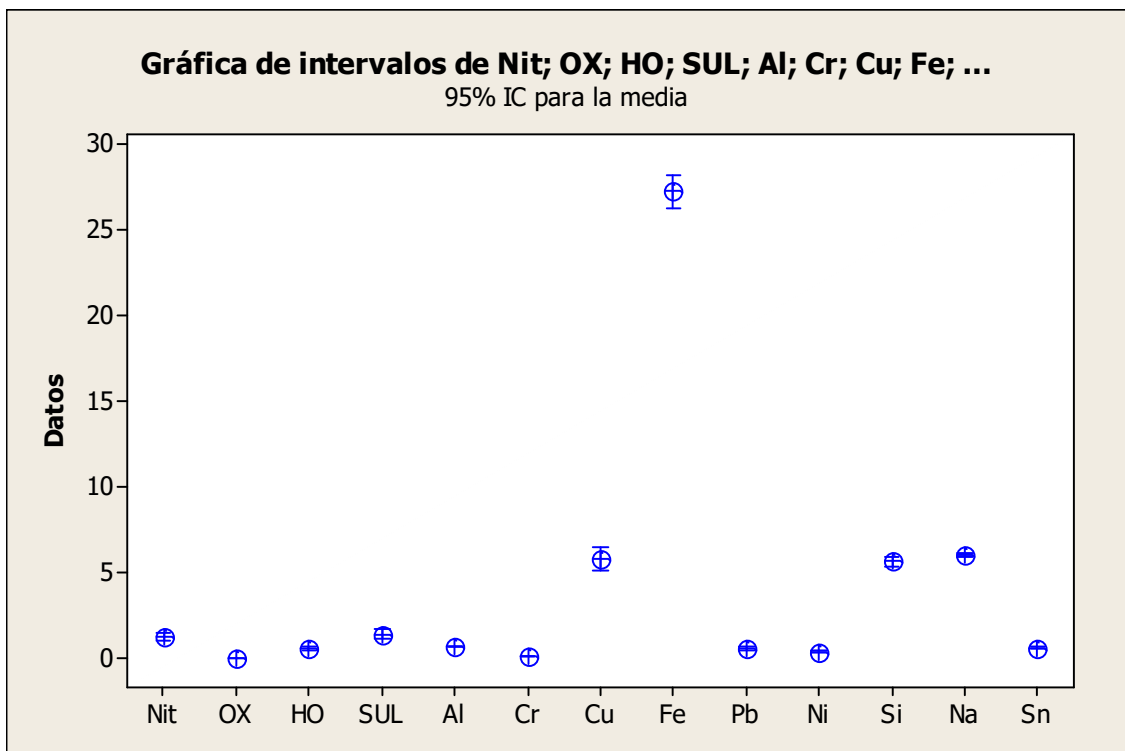


Figura 7.22 Intervalo de confianza para elementos muestreo de aceite

En el gráfico de la *Figura 7.22* se puede observar dos variables a comparar con respecto al análisis realizado previamente para la minera en estudio:

1. Los elementos que poseen una mayor presencia son el Cobre, Fierro, Sílice y Sodio.

2. La diferencia con respecto al muestreo de aceite de la Minera considerada en este estudio, muestra la mayor cantidad de fierro existente en la flota de Mantos Verde. Mientras en los mandos de la Minera estudiada el valor del Fierro se encuentra entre 19 y 24 ppm, en Mantos Verde esta se encuentra entre 26 y 28 ppm. Esto significa que Mantos Verde se mueve en mayores niveles de contaminación y además es probable que la faena sea más tolerante a los aumentos en la contaminación, esto, dado que, aunque el nivel sube los mandos finales llegan incluso a Casi 23.000 horas de operación.

8 Análisis económico

El último paso previo a la aplicación de la estrategia, es la evaluación económica. Este punto pretende entregar los factores económicos que implicarán ejecutar la estrategia al interior de la faena. En ella se incluye la evaluación de:

- Costo recursos
- Beneficios
- Impacto Gerencia de Mantención
- Influencia en el presupuesto

Esto para visualizar el impacto que tiene la estrategia monetariamente en la empresa y evitar el sesgo que puede producir la evaluación técnica de la estrategia, considerando variables que pudiesen ser tan relevantes como la técnica.

8.1 Costo de los recursos

El realizar la estrategia tiene un costo asociado producto de que para ejecutarla se debe detener el camión y emplear trabajadores para realizar la extracción del componente de ambos lados y cambiarlos de lado, para instalarlos y colocar en funcionamiento el camión nuevamente. Por lo tanto, esto implica que se debe considerar lo siguiente:

1. Sacar de disponibilidad el camión.
2. Utilizar personal de Bailac para realizar el retiro de los neumáticos.
3. Utilizar personal de Dealer para retirar los componentes y reinstalarlos.
4. Costo de implementos (Aceite, implementos, etc.)

Estos recursos deben ser sopesados y expuestos para lograr evaluar en la totalidad de la estrategia. Además, debe ser contrastado con el beneficio que se pretende obtener producto de la realización de la estrategia.

El desmontar y montar los mandos, requiere de personal de neumáticos para extraerlos y luego pueda ingresar personal de Dealer para remover el mando, por lo tanto, se considera la utilización de este personal dentro de los costos de la estrategia. El tiempo que se demora en realizar la extracción e instalación es de ocho horas. La cantidad de personal requerido es de

cuatro personas, que consistirían en 3 técnicos y un jefe de turno que evalúa el trabajo realizado por el personal para evitar accidentes. Los turnos que posee el personal, es de 7x7, que consiste en 7 días de trabajo por 7 días de descanso, y que consiste en turnos de trabajo de 12 horas. El sueldo del personal, es en el caso del Jefe de Turno de \$1.200.000 y de los técnicos de \$800.000 pesos. Por lo tanto, el costo total, por parte de Bailac para ejecutar la estrategia es de \$171.430 pesos.

Para comenzar, el tiempo de realización del cambio de mando final se realizaba entre las 14-24 horas. Esto tardaba en el periodo de trabajo en la compañía Minera en estudio la extracción y montaje del mando. En este momento, según la información recabada, los mandos pueden tardar 12 horas en su cambio. Considerando que los mandos pueden ser cambiados en paralelo y se necesita además que sea así, por lo tanto, se utilizaría solo 12 horas en el cambio, pero con la consiguiente utilización del doble de personal.

La maniobra de extracción y montaje del mando final, debe ser ejecutada por tres técnicos. El grupo está conformado específicamente por 2 técnicos A y un Técnico C. El sueldo promedio de los técnicos, es de \$950.000 pesos, y es necesario saber que los técnicos trabajan en jornadas de 12 horas por aproximadamente 2 semanas al mes, ya que trabajan en turnos de 7 días de trabajo por 7 días de descanso. Por lo tanto, por la extracción de los mandos, en mano de obra se gastarían \$203.571 pesos por mando.

El camión y específicamente la caja del eje trasero, como lo especifica Caterpillar en sus manuales, utiliza 1.022 litros de aceite. Por su parte el aceite tiene un costo a informar en pesos por litro de aceite.

Por lo tanto, los costos asociados a la ejecución de la estrategia son los siguientes:

Tabla 23 Costos ejecución medida

Ítem	Costo
Lucro cesante	Sin información
Mano de obra Bailac	171.430
Mano de obra Dealer	407.143
Costos Insumos +Aceite	Sin información

El costo total de ejecutar la estrategia en la faena, que está compuesto por cada uno de los ítems antes descritos, es de \$578.573, por lo que la ejecución de la estrategia no tiene un costo alto para la empresa, siendo factible aplicarla por la factibilidad económica.

8.2 Beneficio económico

El impacto de la estrategia en la Gerencia de Mantenimiento, se verá en las horas extras que durará el componente después de la rotación, o sea, se hará una simulación de la duración del componente post rotación, y con eso se obtendrá el porcentaje del costo del mando final de beneficio económico para la Gerencia, obteniendo el impacto de la medida en esta.

La simulación se realiza por los siguientes pasos, realizados en el software Matlab:

1. Calcular la normal con la media y la desviación estándar de los mandos finales con fallas prematuras.
2. Re ponderar los puntos que se encuentran bajo cero, debido a que esos valores no existen.
3. Realizar una selección de 10.000 datos aleatorios.
4. Elegir un punto de corte en los cuales los mandos serán cambiados
5. Luego, se elige un punto de rotación y se seleccionan solo los valores que se encuentran por sobre ese punto y se simula, cuanto es el tiempo extra de duración que posee el mando al haber rotado.

Con esta simulación, se determina que el punto óptimo de rotación es las 6.500 horas, porque posee la mayor duración extra de todas las otras horas. Y el promedio de duración de los mandos es de 11.253 horas. Por lo tanto, considerando que el promedio de los mandos con los modos de falla prematuro, es de 7.674 horas, entonces la mejora sería de 3.599 horas.

Entonces, si el mando poseía un target de duración anteriormente (target sobre el que están soportados la mayoría de estos datos) de 14.000 horas, entonces por cada mando que logra durar las 3.599 horas obtenidas mediante la simulación, la Compañía Minera estaría ahorrando \$23.236.428.

8.3 Impacto de la estrategia en la gerencia de mantenimiento

Ahora, la cantidad de mandos cambiados por algún modo de falla prematuro es de 107, por lo que el potencial de ahorro hubiera sido por año el siguiente:

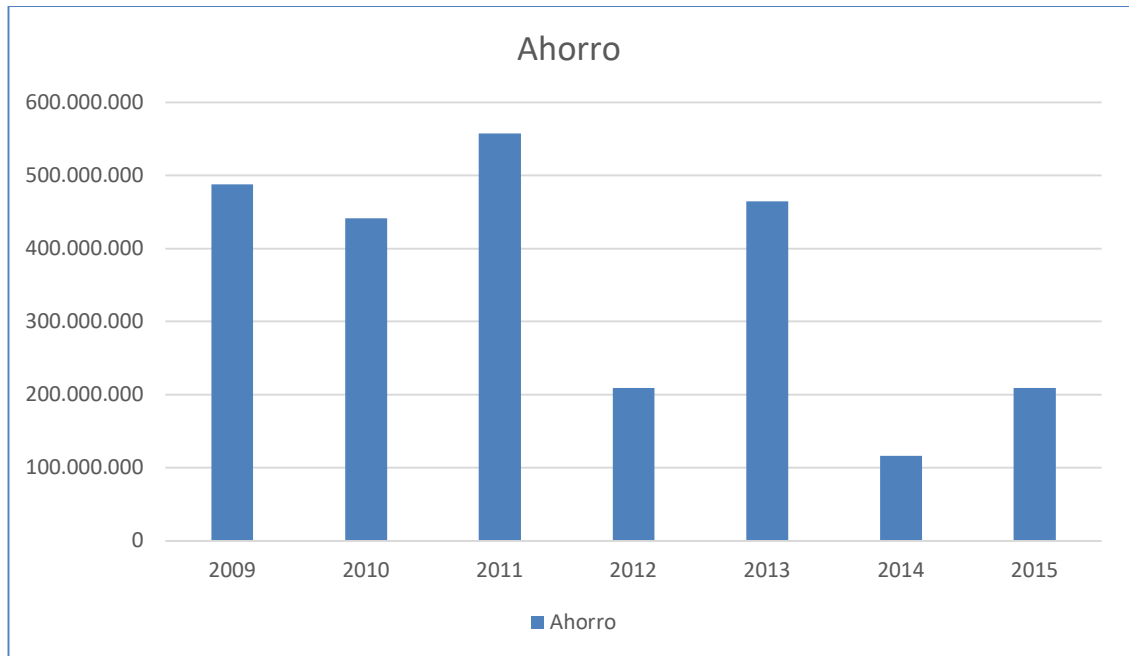


Figura 8.1 Potencial beneficio en la Gerencia de Mantenimiento

El año que menos componentes se cambiaron por fallas prematuras, el año 2014, a lo menos habría sido posible ahorrar un mando producto de la extensión de vida a la que se podría optar por la rotación de los componentes.

Como conclusión, sería posible económicamente realizar la estrategia, debido a que el costo de rotación es menor que la ganancia producto de la extensión de vida.

8.4 Influencia en el presupuesto

Como último punto a evaluar, es la importancia de la medida en el presupuesto anual de la Minera. Significa determinar cuánto influye la medida a nivel global, para determinar la importancia de ejecutar medidas de mejora e innovación en las faenas mineras.

Como primer punto es necesario mostrar el presupuesto de la faena para observar el ítem mandos finales y el monto asignado. Este se muestra en la Figura 8.2

	Jan Budget	Feb Budget	Mar Budget	Apr Budget	May Budget	Jun Budget	Jul Budget	Aug Budget	Sep Budget	Oct Budget	Nov Budget	Dec Budget	FY 2016 Budget
I- Site Spend													
Labor													
Benefits	517	961	658	825	598	588	584	818	619	598	591	798	8,156
Bonuses/Bonus Incentives	74	74	74	75	75	75	75	76	76	76	76	76	902
Direct Labor	995	986	1,007	1,029	1,026	1,037	1,044	1,047	1,047	1,045	1,040	1,040	12,342
Holiday	45	45	45	46	46	46	46	47	47	47	47	47	556
Labor Total	1,632	2,066	1,784	1,975	1,745	1,747	1,750	1,987	1,789	1,766	1,753	1,961	21,956
Supplies													
Operating Supplies													
Other Operating	60	49	58	66	49	55	61	51	49	59	56	49	663
Small Tools	17	16	16	17	16	16	16	17	16	16	17	16	201
Tires	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Operating Supplies Total	77	66	74	83	66	72	78	68	66	76	73	66	863
Repair Supplies													
Buckets/Dippers	285	205	259	241	232	205	206	258	206	258	206	206	2,769
Conveying Materials	145	142	141	215	213	227	154	145	160	165	124	130	1,962
Crusher Parts	33	48	56	247	77	22	27	22	39	72	19	60	723
Differentials	347	160	196	79	161	117	150	63	275	174	71	54	1,846
Electrical Motors	33	31	32	85	93	123	201	93	31	120	31	32	906
Electrical Parts	270	275	463	350	318	422	256	325	286	387	258	281	3,890
Engines	615	308	308	308	308	418	308	578	418	308	308	2	4,186
Filters	152	143	152	148	152	146	151	150	145	152	152	153	1,796
Final Drives	189	6	218	6	117	322	117	310	117	117	228	323	2,081
Lubricants	242	231	240	238	241	232	241	239	238	241	231	242	2,858
Misc. Repair Part.	23	22	20	20	20	22	20	20	20	20	20	20	245
Other Repair Supplies	1,194	787	751	1,010	759	884	1,754	925	822	990	920	712	11,509
Pumps/Pipes/Valves	729	887	763	992	742	921	913	680	778	844	767	747	9,762
Screen Material	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	356
Struct. Steel	120	198	231	107	157	178	680	109	118	103	157	102	2,259
Transmission	203	176	2	71	79	180	96	179	193	77	306	2	1,563
Wheels/Brakes/Axles	595	809	309	133	308	242	169	106	103	170	106	110	2,759
Repair Supplies Total	5,214	4,559	3,971	4,280	3,808	4,690	5,474	5,180	4,030	4,176	3,986	3,205	51,472
Supplies Total	5,291	4,625	4,045	4,363	3,874	4,762	5,551	4,248	4,096	4,252	4,059	3,271	52,335
Energy													
Diesel Fuel	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	74
Electricity	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fuel - Gasoline	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11
Fuel - Other	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Energy Total	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	86
General Expenses													
Computer Hardware/Software	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Consultants	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	78
Contractor Maint. & Repair Labor	2,467	2,421	2,154	2,393	2,235	2,306	2,553	1,864	2,518	2,089	2,058	1,757	26,816
Contractor Temporary Labor	4	3	4	3	4	3	4	11	9	18	4	3	67
Employee Develop & Training	1	0	14	0	10	0	1	10	1	0	1	0	37
Employee Meals & Transp	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	464
Employee Travel	20	19	20	19	20	20	20	19	20	19	20	19	232
Insurance	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Other Contractor	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Permits & Licenses	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rent/Lease	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	838
Security	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
General Expenses Total	2,606	2,557	2,306	2,530	2,383	2,444	2,693	2,018	2,662	2,241	2,198	1,894	28,533
Other													
All Other	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Allocation of Office Services	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15
Other Total	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15
(blank)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I- Site Spend Total	9,536	9,157	8,144	8,877	8,011	8,961	10,002	8,262	8,556	8,267	8,017	7,135	102,925

Figura 8.2 Presupuesto Compañía Minera

En esta, aparece en un ítem específico los mandos finales como un componente dentro de los gastos. Este ítem tiene asignado un monto de 2.081.000 dólares, sabiendo que el presupuesto se encuentra en miles de dólares. Este valor corresponde a un 2.02 por ciento del presupuesto anual.

Con esto se finaliza la evaluación económica de la estrategia y se hace factible tomar una decisión de continuar y profundizar el estudio o tomar los elementos y realizar una prueba sobre algún mando final que reúna las condiciones y comprobar la mejora y el beneficio en los costos.

Cabe destacar que además de este ahorro de dinero producto de la extensión de la vida útil del mando, también es posible acompañar esta medida con otras como la vista en el estudio realizado en Manto Verde (16), en la cual se presenta el costo por hora de los mandos, evaluando también las duraciones, pero anexando esta al costo. Ella también llevará a la empresa a disminuir sus costos y complementar la toma de decisión para mejorar el desempeño de las áreas de mantención.

9 Conclusión

La Gerencia de Mantenimiento de la Compañía Minera tiene variados desafíos relacionados con la disminución de costos. Esto se traduce en este caso en el Departamento de Planificación en conjunto con Confiabilidad de determinar estrategias que apoyen esta premisa. Lo anterior, producto de la condición existente en el precio del cobre, con tendencia a la baja y que hace necesario reducir el costo de producción, para mejorar las utilidades en deterioro.

Este trabajo propuso evaluar la estrategia planteada hacia el área de planificación y que tiene como objetivo la extensión de vida útil y, por ende, la disminución de costos.

El trabajo muestra que la evaluación de la estrategia tiene varias variables a considerar, tanto la ruta, los modos de falla, las horas de cambio, el nivel de contaminante desarrollado, y, por último, los recursos económicos involucrados.

El trabajo confirma la factibilidad de realización de la estrategia, claro que es necesario complementar el estudio con otros. Es factible rotar los mandos, debido a que los mandos son intercambiables y el Housing que es la pieza que se instala en la carrocería del camión posee la flexibilidad de instalarlo en uno u otro lado. Además, la aplicación de esta estrategia en la faena en estudio considera condiciones. Sin embargo, dilucida una gran cantidad de interrogantes y por lo tanto entrega información esencial para los Departamentos de Mantenimiento en general.

De este análisis, es posible observar que la estrategia se plantea para toda la muestra de datos de cambio de mandos finales. Pese a esto las rotaciones en las dos clasificaciones, tanto prematuros como normales, se estableció según la información de las bases de datos y los análisis determinados en base a esta misma.

Previo a determinar el modo en que se realizará la rotación se determinó que existen diferentes modos de falla de los mandos finales que fueron clasificados como Normales, Contaminación, Componentes y Ocasionales. Se determinó que la mayoría de los mandos han sido cambiados por cumplimiento de la vida útil impuesta por el Dealer (59 por ciento), 13 por ciento, 23 por ciento y 5 por ciento respectivamente por los modos ya nombrados.

Ello indica un gran potencial de extensión de vida útil, solo por la utilización del componente una mayor cantidad de tiempo en los mandos finales con comportamiento normal, y, además, que es factible verificar el desgaste en los engranajes y rotar los componentes al verificar el desgaste de estos y probable factibilidad de uso en sentido contrario. Todo esto es posible gracias al análisis de la contaminación en los mandos, que entrega información valiosa para ejecutar cualquiera de estas dos actividades.

Además, los mandos finales con otros modos serían factibles de rotar producto de la determinación en el modo de falla contaminación, por ejemplo, de la aparición de los elementos contaminantes, identificando el patrón de desgaste de los engranajes del mando y procediendo a la rotación al verificar el desgaste en estos. De todas maneras, para la aplicación de esta estrategia en un comienzo, se pretende ejecutarla solo sobre los mandos con modos de falla normales.

Es necesario especificar que el estudio es solo aplicable para mandos reparados y es necesario ampliar este a mandos nuevos, debido a que la base de datos analizada solo considera mandos reparados, tanto en Fábrica como en Chile.

De la segmentación de las fallas en los cuatro modos de falla, se hizo posible determinar las fallas prematuras y calcular el promedio y gracias a esto el riesgo que se somete al realizar la rotación entre las 6.000 y 7.000 horas sabiendo que esto es entorno al promedio de cambio 7.674 horas y además se incurre en un riesgo de entre el 34 y 43 por ciento.

Lo anterior si bien entrega el punto en el cual es más probable realizar la rotación y anticiparse a la falla faltaba el complemento de contaminación para determinar en la operación de los mandos, cuales se mantendrían y cuales se descartarían, al margen de los modos de falla y la razón por la cual se cambian finalmente los mandos. En esta etapa del trabajo se estableció el comportamiento de solo tres elementos de los que aparecen en los archivos de S.O.S. de Caterpillar, estos son Fierro, Cobre y Plomo, siendo los más relevantes los dos primeros. De aquí se obtuvo los límites del Fierro, que es el más representativo entre los tres, que se encuentran entre 17 y 24 ppm, para con esto poder determinar de alguna forma el patrón de comportamiento del desgaste de los mandos y finalmente tener un modelo de comparación.

De aquí se extrajo las horas de funcionamiento normal y anormales, o sea, con contaminación normal y excediendo los límites de confianza para cada elemento y camión. De aquí nace la forma en que se debe realizar el seguimiento a la contaminación para tomar la decisión de rotación, que debe comprender colocar énfasis entre las 2.042 y 4.147 horas de funcionamiento de los mandos y observar el comienzo del desarrollo de la contaminación. Este patrón se da para los mandos con comportamiento anormal, o sea, que fallan antes de las 14.000 horas establecidas como target por el fabricante. Desde este punto es que se toman las decisiones de rotar en el caso de que sea factible y el desgaste se produzca por los engranajes.

En el caso de los mandos con comportamiento normal, o sea, que no se ha producido la contaminación por sobre los límites, el énfasis se debe realizar previo a que se produce el rango de aumento de contaminación que se encuentra entre las 7.402 y las 9.685 horas, de ahí y dependiendo del patrón es que se decide rotar o mantener funcionando hasta el momento de cambio.

Vale la pena destacar que en un principio de la implementación de la estrategia de los mandos finales conviene utilizar los mandos reparados en Fábrica, ya que, en el análisis dependiente del lugar de reparación estos fueron los que poseen mejores indicadores estadísticos, entre ellos la media, por lo que se considera que tienen mayor probabilidad de éxito.

Con respecto al costo y beneficio de la estrategia y a la influencia de esta sobre la Gerencia de Mantenimiento y sobre el presupuesto de la Compañía Minera. Se advierte que el costo de ejecutar la estrategia es bajo, calculado con la información recibida es de \$578.573 pesos, por lo que notoriamente el costo más alto al que se puede enfrentar es el de la realización correcta de la estrategia, costo que sería intangible.

Por otra parte, y según la modelación realizada con los datos, la duración extra que permitiría la realización de la estrategia es de 3.599 horas y esto significaría un beneficio monetario de \$23.236.428 pesos. Esto aplicado a los mandos cambiados, resulta en que la extensión de la vida entrega un beneficio económico que en el mejor de los años asciende a \$557 MM de pesos y en el año recién pasado, hasta el mes de agosto, a los \$209 MM de pesos.

La influencia de esta estrategia en el presupuesto de la Compañía Minera, podría ascender hasta los \$2 MM de dólares que es el presupuesto asignado al cambio de mandos finales, esto correspondería a un 2% del presupuesto anual de la Compañía.

Se hace evidente en el desarrollo del trabajo, que la geometría de la mina influye bastante en la necesidad de realizar un estudio complementario, ya que, las formas en que fallan los mandos, pese a que no se posee informes de reparación para determinarlo, estarían ligadas a otras piezas del mando y no precisamente a los engranajes. Esto por la evidencia expuesta por el personal del centro de reparación y por la clasificación de las fallas.

Sin embargo, no hay que descartar que ante la falta de evidencia se puede mantener la idea de rotar y en el más adverso de los casos el estudio de las condiciones de fallas en otras faenas permita la aplicación de esta.

Por último, dado la importancia que tiene la seguridad para las empresas mineras, es que se hace necesario mencionar que la rotación no compromete mayormente la seguridad de operadores u otros trabajadores, dado que lo que se está realizando no afecta las funciones principales del camión, por lo que estaría protegida esta necesidad.

De todas maneras, el análisis de los cambios de componentes deja entrever la factibilidad de la búsqueda de mejores políticas de mantenimiento y reemplazo, enfocadas en la profesionalización de la mantención de los equipos.

Este estudio es importante, ya que, como lo explica Caterpillar en sus registros de información técnica la forma más económica de bajar el costo de mantención, es mejorar la durabilidad de los componentes. Por lo que, el estudio realizado aquí a la contaminación y posteriormente el monitoreo acertado de las condiciones de los mandos, genera un mejor cuidado del componente y por lo tanto la extensión de su vida útil.

Características para llegar a un trabajo así:

Las principales características que deben tener las personas que quieran hacer un trabajo aplicado a la industria y con recursos técnicos, es a mi parecer realizar varias prácticas en el área que le parece e interesa desarrollarse, en particular como candidato al título, pase por 4 prácticas relacionadas con minería. Comencé en el taller de Komatsu-Cummins probando los motores en la sala dinamométrica, después fui a Collahuasi al Departamento de Ingeniería Predictiva, aplicando ultrasonido a los ball stud de los camiones (Pernos de dirección tan necesarios de controlar por el control de accidentes y posibles desbarrancamientos de los camiones), midiendo espesor con ultrasonido, utilizando tintas penetrantes, midiendo vibraciones en los rodamientos de las poleas de las correas transportadoras, luego estuve en el Departamento de planificación de Candelaria y finalmente en la planta convencional de Codelco División Andina.

Esto me entregó un amplio entendimiento de lo que estaba sucediendo en la industria y qué era lo que se necesitaba, de ahí que entendí que las personas tenían mucha información y que existen posibilidades siempre de mejorar, pero es necesario obligarse a que si te encargan una tarea desarrollar la humildad por ir a preguntar, por saber más, al margen de lo técnico y pensar siempre que uno será un ingeniero cuando demuestre antes y que por lo general será cuando uno esté cerrando su carrera al final de ejecutarla, antes independiente del título debemos buscar incansablemente eso que sentimos y sabemos que es necesario, por más lejos que ello se vea.

Es por lo anterior que siempre estuve buscando con las personas independiente del trato de ellas, que en el rubro minero es áspero, tratando de buscar donde hacer un aporte. Para llegar a este aporte conversé con personal de garantías del Dealer, esto me hizo ampliar un trabajo, de ello resultaron interrogantes por el desgaste, conversándolo con el personal del taller me comentaron la factibilidad de ejecutar una acción técnica que permitía la utilización en la teoría de todo el potencial del componente, luego personal de confiabilidad de la empresa minera corroboró ejecución en otra faena y eso generó querer corroborar o desechar la estrategia.

En resumen, buscar, preguntarse, no creer que el trabajo es tedioso o poco llamativo, si no que uno es el que lo está desarrollando incorrectamente y el ingeniero lo es al final de su vida. Y probar ideas nuevas que se encuentran en lo simple, en el interactuar con otros. Finalmente

pensar que siempre el grupo es más importante que el individuo por lo que el conjunto tiene más potencial, ideas e información que solo una persona. Así se desarrolla Chile, las empresas y vendemos conocimiento y tecnología, más que acumular información quedándonos como país estancado.

10 Bibliografía

1. <http://www.bnamericas.com/company-profile/es/compania-contractual-minera-candelaria-minera-candelaria>.
2. Consultores, SRK. *Reporte Técnico para el complejo minero de cobre Candelaria, Atacama, III Region, Chile*. Canada : s.n., 4 Septiembre 2015.
3. Dodge, Phelps. *Capítulo 2: Procedimiento de Planificación*. U.S.A. : s.n., 15 Octubre 2000.
4. Novoa, Carlos. *Operación de sistemas, pruebas y ajustes*. Camión de minería 793C (2003,Perú) : Manual del estudiante; Instrucción técnica, Ferreyros. 2003.
5. Nisbett, Richard G. Budynas y J. Keith. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Octava edición. México. MsGraw-Hill Interamericana. 2008, 654p.
6. —. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Octava edición. México. MsGraw-Hill Interamericana. 2008, 723p.
7. A/S, C.C. Jensen. *Clean Oil Guide*. Segunda edición (2003, Svendborg, Dinamarca) : s.n. Diciembre, 2005.
8. True, Química. 2015.
9. Piskor, Matt Minner Aneta. *Durabilidad de Componentes de Equipos Mineros*. Tucson, AZ USA : Foro de Minería, Abril, 2007.
10. Boilet, Joaquín. *Análisis programado de desgaste*. *Revista GINT de Nuevas tecnologías industriales*. Gildemeister S.A.C. : Santiago, Chile.
11. Finning. Finning . [En línea] [Citado el: 12 de Abril de 2016.] http://www.finning.ca/Services/Machine_Services/Machine_Maintenance/Fluid_Analyses/Knowledge_Base/Wear_Rate.aspx.
12. Shell. [En línea] Shell Lubricantes. [Citado el: 12 de Abril de 2016.] <http://myslide.es/documents/entrenamiento-lube-analyst-2a-parte.html>.

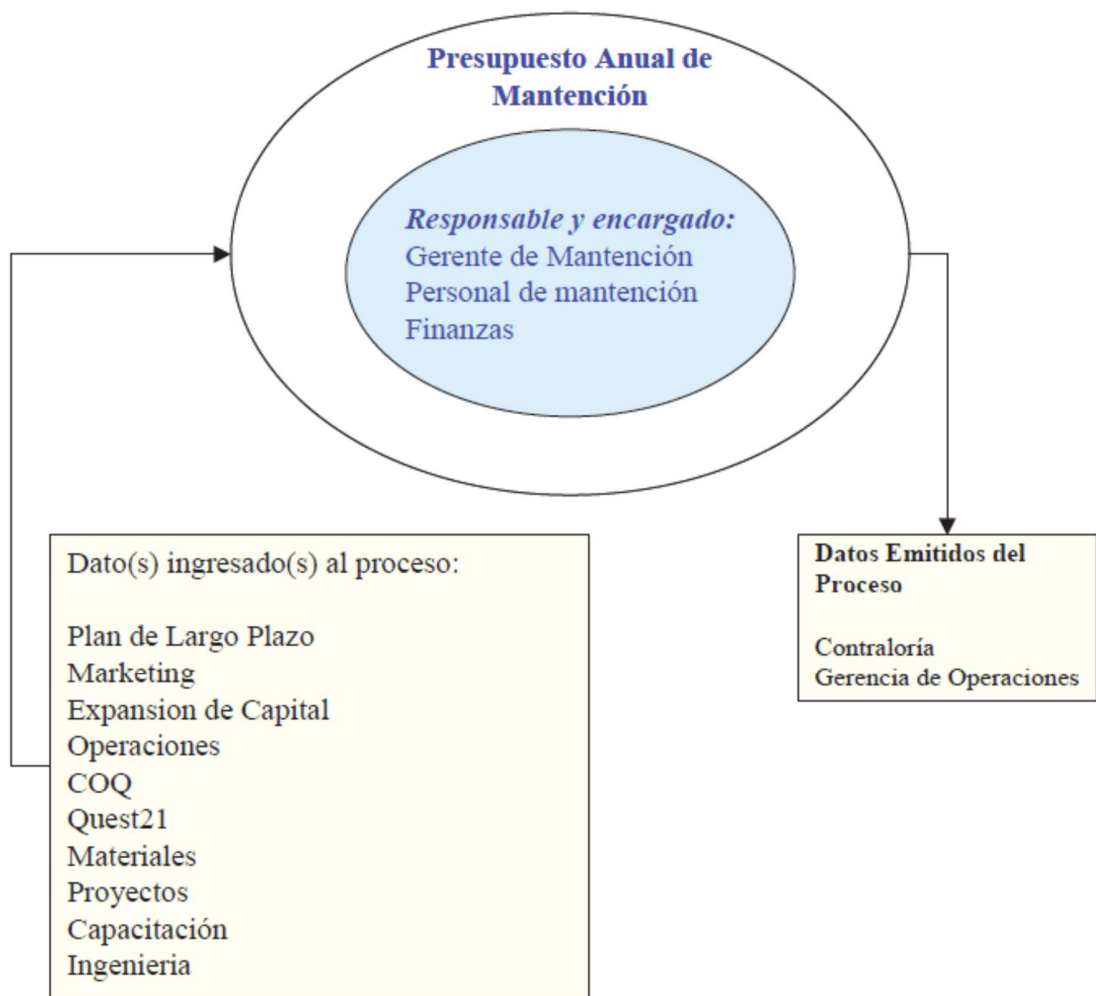
13. Castro, Francisco Hernández. *Análisis de circuito: Fase 8 a Botadero 780*. Tierra Amarilla : Finning-Faena Candelaria, 24 Diciembre de 2011.
14. MathWorks. [En línea] [Citado el: 21 de Marzo de 2016.] <http://es.mathworks.com/help/stats/kstest2.html#btno0lk-2>.
15. Finning. *Mail de consulta*. Santiago : s.n., 2015.
16. Boccardo, Víctor Barrientos. *Estrategia de cambio de mandos finales para camiones de 100 toneladas*. Antofagasta, Chile : MANTEMIN, 2011.
17. Encare. *Estudio benchmarking Gestión Minera internacional-Informe Final*. Santiago : Indicadores Mina Rajo, 2014.

ANEXOS

A DEFINICIÓN DE TRABAJOS Y ACTIVIDADES

A.1 PRESUPUESTO ANUAL DE MANTENCIÓN

Responsabilidad (Quién)	Acción (Qué)
Gerente de Equipos <ul style="list-style-type: none">• Staff de Mantenición	(a) Incluir el plan a largo plazo en el presupuesto anual de mantenimiento.
Gerente de Equipos <ul style="list-style-type: none">• Staff de Mantenición• Gerencia de Operaciones	(b) Obtener e incorporar la proyección de Producción.
Gerente de Equipos <ul style="list-style-type: none">• Staff de Mantenición	(c) Desarrollar e incorporar gastos de capital y proyectos. (d) Incorporar en el presupuesto anual de mantenimiento los niveles de utilización de los activos. (e) Priorizar planes de mejoramiento para el Costo de Calidad y otras iniciativas de negocios /operaciones.
Gerente de Equipos <ul style="list-style-type: none">• Gerencia de Materiales• Servicios Técnicos• Gerencia de Operaciones	(f) Determinar el costo de bienes y servicios incluyendo proyectos de mantenimiento y no mantenimiento
Gerente de Equipos <ul style="list-style-type: none">• Staff de Mantenición• Coordinador Capacitación Faena	(g) Proyectar e incorporar calendarios de capacitación y gastos asociados.
Gerente de Equipos <ul style="list-style-type: none">• Staff de Mantenición• Servicios Técnicos	(h) Determinación de gastos para requerimientos y necesidades de Ingeniería.
Gerente de Equipos <ul style="list-style-type: none">• Staff de mantenimiento• Contabilidad de la Faena	(i) Desarrollar un presupuesto anual escrito, que incluya incrementos inflacionarios de precios.



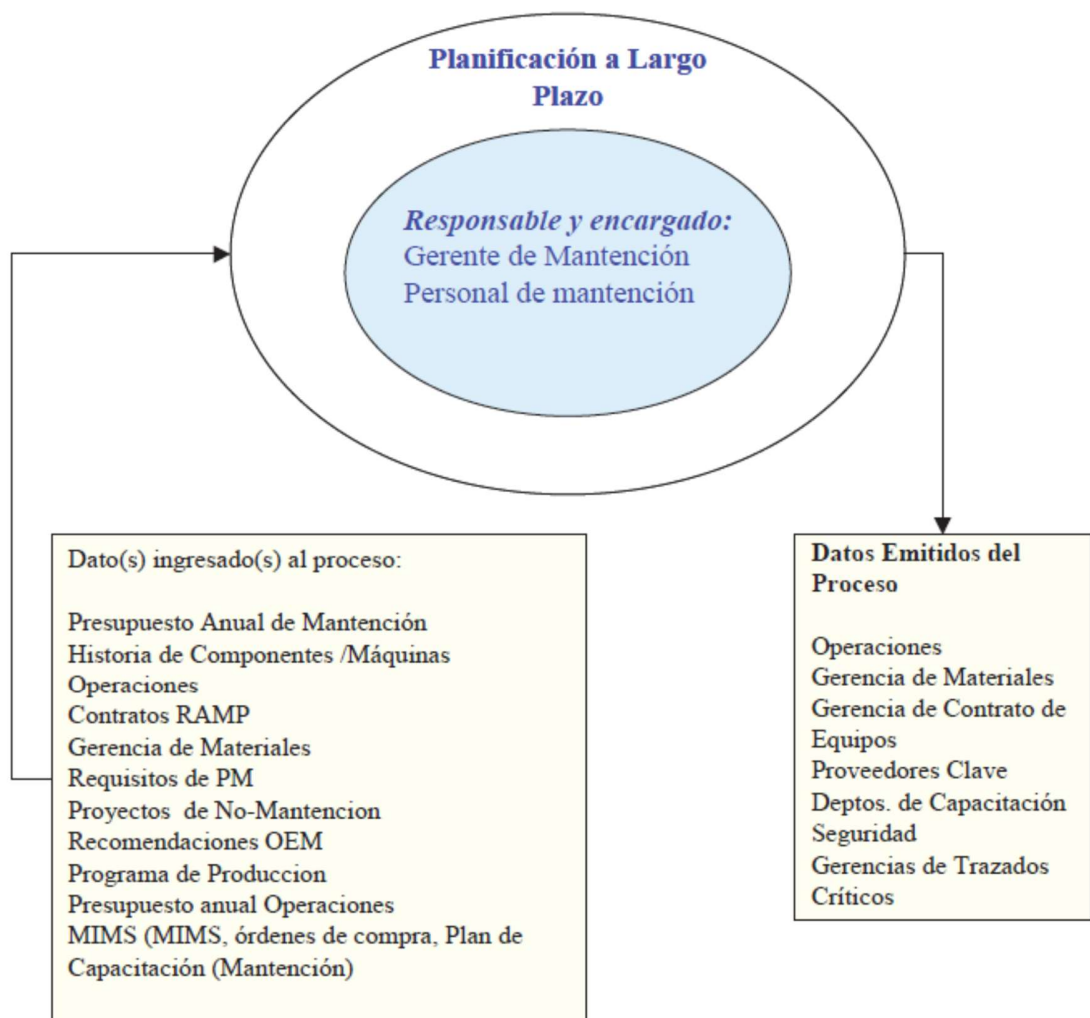
A.2 Planificación a largo plazo

Responsabilidad (Quien)	Acción (Qué)
Gerente de Equipos <ul style="list-style-type: none"> • Staff de Mantenición • Gerencia de Operaciones 	(a) Determinar proyectos mayores de mantención revisando el presupuesto anual de mantención.
Planificador de Mantenición	(b) Planificación de reemplazo de componentes según el presupuesto anual de mantención.
Gerente de Equipos <ul style="list-style-type: none"> • Staff de Mantenición • Gerencia de Materiales 	(c) Planificación de proyecto de mantención requerida recomendada en los acuerdos de mantención. Esto se relaciona con los

	contratos tales como acuerdos RAMP y otros.
Gerente de Equipos <ul style="list-style-type: none"> • Gerencia de Operaciones • Staff de Mantenición 	(d) Incluir en Plan a largo plazo la eficiencia de equipos en operación de acuerdo al Presupuesto Anual de Mantenición.
Gerente de Equipos Gerencia de Materiales	(e) Identificar el tiempo de espera de materiales y bienes de capital.
Gerente de Equipos <ul style="list-style-type: none"> • Staff de Mantenición 	(f) Desarrollar planes de mantenimiento proactivos, predictivos y preventivos.
Gerente de Equipos <ul style="list-style-type: none"> • Servicios Técnicos • Gerencia de Operaciones • Staff de Mantenición 	(g) Determinar aquellos proyectos que no son de mantenimiento que requerirán apoyo de mantenimiento. Por ejemplo, uso de cargador frontal, grúas, equipos de apoyo y espacio en los talleres para facilitar estos proyectos.
Planificador de Mantenición	(h) Considerar incorporar en la LRP las recomendaciones de los fabricantes originales de los equipos como frecuencia de cambio de componentes, intervalos de mantenimiento preventiva, modificaciones, actualizaciones, etc.
Gerente de Equipos <ul style="list-style-type: none"> • Staff de Mantenición • Gerencia de Operaciones 	(i) Asegurarse que el plan de reparaciones mayores sea consistente con el calendario del presupuesto anual de operaciones para las actividades de mantenimiento de la faena.
Planificador de Mantenición	(j) Crear Órdenes de Trabajo para propósitos de la planificación a largo plazo.
Gerente de Equipos <ul style="list-style-type: none"> • Coordinador Capacitación de la Faena • Planificador de Mantenición 	(k) Desarrollar un plan de capacitación el cual incluya capacitación obligatoria, de habilidades, de administración, etc.
Gerente de Equipos <ul style="list-style-type: none"> • Staff de Mantenición 	(l) Desarrollar un plan para proyectos especiales de mantenimiento. Por ejemplo, trabajos durante detenciones, expansiones, reparaciones generales mayores, campañas, etc.
Gerente de Equipos	(m) Proyectar e incorporar metas de Costo de Calidad a la faena. (n) Incorporar metas de negocios y operaciones.
Gerente de Equipos <ul style="list-style-type: none"> • Staff de Mantenición 	(o) Desarrollar un plan escrito a largo plazo consistente con el presupuesto anual de mantenimiento.

Gerente de Equipos	(p) Enviar todo, o lo necesario del plan a largo plazo a las siguientes Áreas: Gerencia de Operaciones, Coordinador de Servicios de Capacitación de la Faena, Departamento de Seguridad de la Faena, Servicios Técnicos de la Organización, Departamento de Materiales, Administración de Equipos /Contratos, y Proveedores Clave.
--------------------	--

RAMP: Repair and Maintenance Program - Programa de reparación y mantenimiento.
 LRP: Long Range Planning - Planificación a largo plazo.

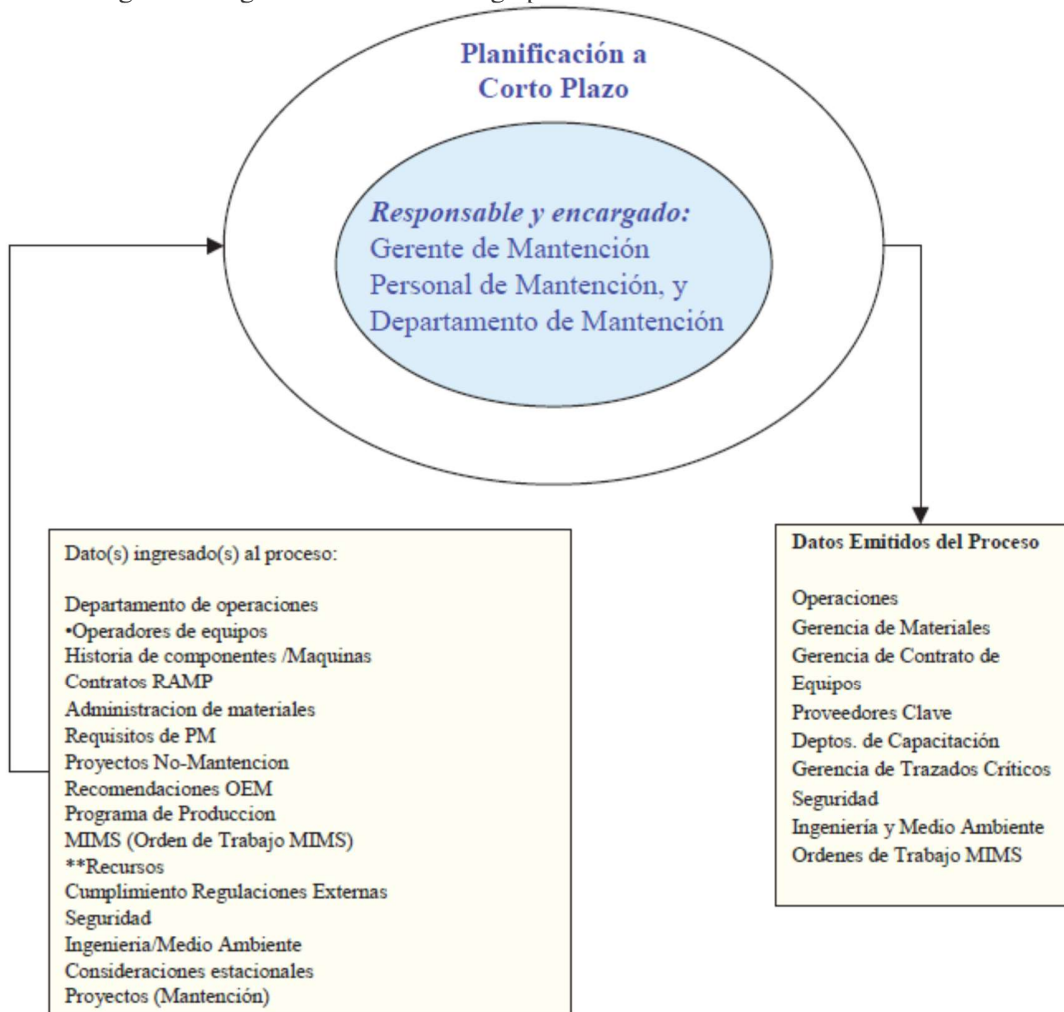


A.3 Planificación corto plazo

Responsabilidad (Quién)	Acción (Qué)
Planificador de Mantenición	<p>(a) Incluir aquellas actividades de mantención indicadas en el LRP que cumplen el criterio de planificación a corto plazo. Considerar situaciones estacionales (clima, vacaciones, etc.). Generar órdenes de trabajo para SRP. Semanales, quincenales, semestrales, días de detención, proyectos y actualización del plan a corto plazo al menos mensualmente.</p> <p>(b) Coordinar los requerimientos de mantención de equipos con los planes de producción.</p> <p>(c) Identificar requerimientos específicos de seguridad para todas las actividades de mantención SRP.</p>
Planificador y Supervisor de Mantenición	(d) Planificar el calendario de reemplazo de componentes de acuerdo a la LRP.
Planificador de Mantenición	(e) Incluir requerimientos de mantención predictiva y preventiva establecidos, de acuerdo con la LRP.
Gerente de Equipos <ul style="list-style-type: none"> • Staff de Mantenición • Planificador de Mantenición • Gerencia de Operaciones • Servicios Técnicos • Gerencia de Materiales 	(f) Identificar y comunicar requerimientos de mano de obra y materiales para actividades /proyectos de mantención y que no sean de mantención. Incorporar responsabilidades de mantención de proyecto en el plan a corto plazo. La comunicación debe considerara a aquellos departamentos afectados y recursos externos (proveedores).
Planificador de Mantenición	(g) Considerar las recomendaciones del OEM y los acuerdos de mantención según la LRP. (h) Incluir requerimientos de materiales y recursos externos consistentes con la LRP.
Planificador de Mantenición <ul style="list-style-type: none"> • Gerencia de Materiales • Servicios Técnicos 	(i) Incluir en la SRP los requerimientos de mantención necesarios para asegurar el cumplimiento de las políticas ambientales.
Planificador de Mantenición	(j) Coordinar los requerimientos de capacitación continua para los empleados del Departamento de Mantenición. (k) Enviar todo, o lo necesario del plan a corto plazo a las siguientes Áreas: Gerencia de Operaciones, Coordinador de Capacitación de la Faena, Departamento de

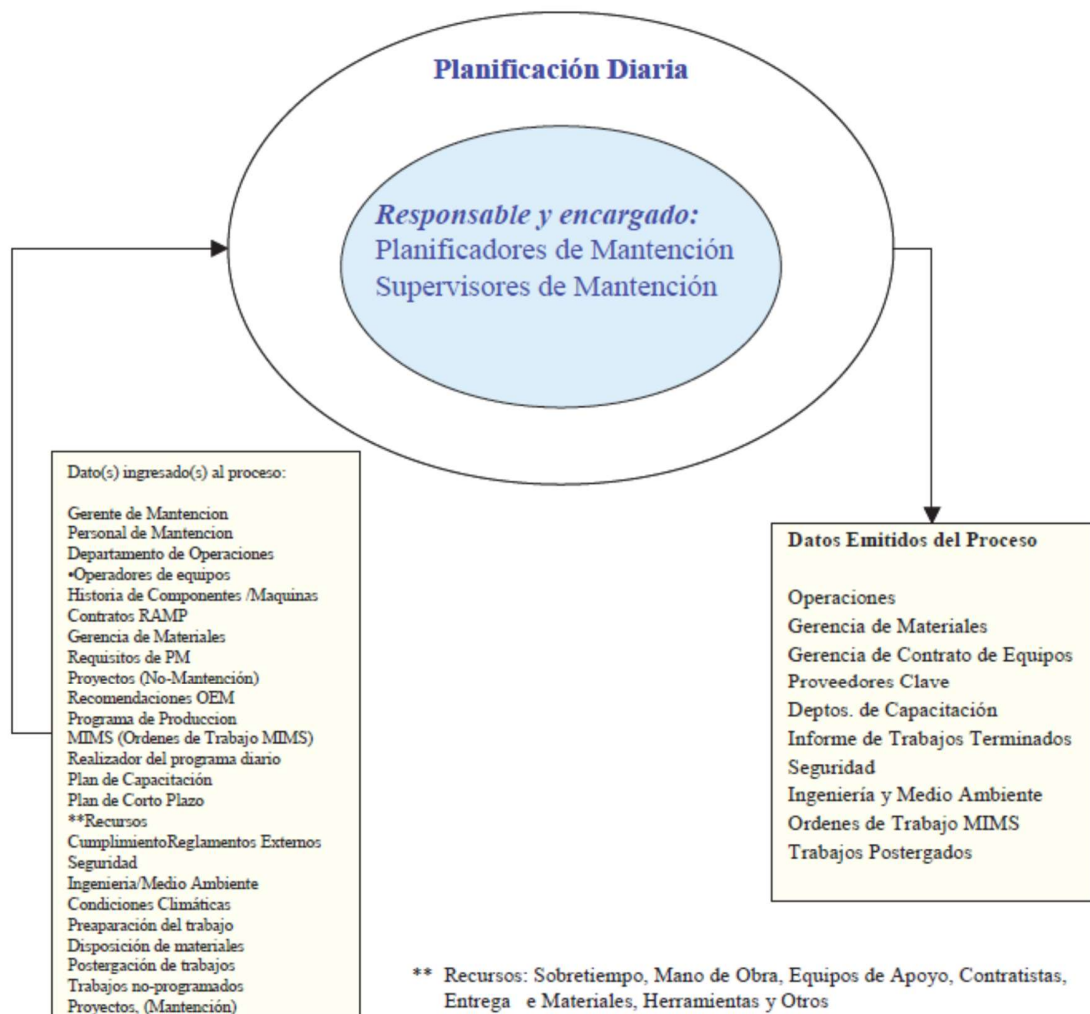
	Seguridad de la Faena, Servicios Técnicos, Servicios Organizacionales, Gerencia de Materiales, Administración de Contratos de Equipos y Proveedores Claves.
--	---

SRP: Short Range Planning – Planificación a largo plazo



A.4 Planificación diaria

Responsabilidad (Quién)	Acción (Qué)
Planificador y Supervisor de Mantenión	<p>(a) Seleccionar el trabajo desde el plan a corto plazo (SRP), definido para el próximo día.</p> <p>(b) Confirmar que asuntos relacionados con seguridad, medio ambiente y otras regulaciones hayan sido identificadas para el trabajo planificado del día.</p> <p>(c) Confirmar los recursos para el plan diario: mano de obra, materiales, equipos, etc.</p> <p>(d) Considerar situaciones estacionales (clima, vacaciones, feriados, etc.)</p> <p>(e) Ajustar fechas planificadas de inicio para actividades de mantención y de no mantención definidas para el próximo día.</p> <p>(f) Incluir requerimientos de mantención predictiva y preventivas definidas en la planificación diaria.</p> <p>(g) Incluir reemplazo de componentes en la planificación diaria.</p> <p>(h) Considerar las recomendaciones del OEM y los acuerdos RAMP en la planificación diaria.</p> <p>(i) Confirmar que se hayan cumplido las etapas de disposición de materiales y equipos de apoyo</p>
Staff de Mantención <ul style="list-style-type: none"> • Gerencia de Operaciones • Depto. de Mantención • Depto. de Operaciones 	(j) Confirmar el plan diario de mantención con el programa de producción.
Planificador y Supervisor de Mantención	<p>(k) Enviar el plan diario a los departamentos correspondientes: Seguridad, Operaciones, Materiales, etc.</p> <p>(l) Modificar el plan diario para incluir trabajos de emergencia.</p>



B Kolmogorov -Smirnov

Kolmogorov-Smirnov test para dos muestras es un test de hipótesis no paramétrico que evalúa las diferencias entre las cdfs de la distribución de dos muestras de vectores de datos sobre el rango de x en cada conjunto de datos.

Los dos lados del test usan la diferencia máxima absoluta entre las cdfs de la distribución de los dos vectores de datos. El test estadístico es

$$D^* = \max_x (|\hat{F}_1(x) - \hat{F}_2(x)|)$$

Donde $\hat{F}_1(x)$ es la proporción de valor x_1 menos o igual a x y $\hat{F}_2(x)$ es la proporción del valor x_2 menos o igual a x .

El test una muestra usa el actual valor de la diferencia entre las cdfs de la distribución de los dos vectores de datos en vez del valor absoluto. El estadístico del test es

$$D^* = \max_x (\hat{F}_1(x) - \hat{F}_2(x))$$