



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL

**ESTRATEGIAS DE ASEGURAMIENTO DE DISPONIBILIDAD PALAS DE CABLE DE
MINA RADOMIRO TOMIC**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN GESTION Y DIRECCION DE
EMPRESAS**

RICARDO ENRIQUE SOLIS CORTES

**PROFESOR GUIA:
LUIS ZAVIEZO SCHWARTZMAN**

**MIEMBROS DE LA COMISION:
IVAN BRAGA CALDERON
WALTER CASANAVE GUIER**

**SANTIAGO DE CHILE
OCTUBRE 2013**

RESUMEN

El objetivo de la tesis es el de desarrollar estrategias de mantenimiento a aplicar en flota de palas de cable de 73 yardas cúbicas de Mina Radomiro Tomic, Codelco, para asegurar el cumplimiento de la Disponibilidad, principal KPI, siendo esta su propuesta de valor.

Dentro de las actividades realizadas, se determina impactos más relevantes en las detenciones en los últimos 7 años, se revisa benchmarking de indicadores, tal como disponibilidad, tiempo medio entre fallas, tiempo medio para reparar, comparando la situación de palas de Radomiro Tomic con la industria. Se determina debilidades y fortalezas de alternativas de ejecución del servicio de las dos opciones viables, ya sea recursos propios o de terceros.

Como elementos relevantes en el incumplimiento de las disponibilidades se tienen las prácticas de operación inadecuadas, altos tiempos de reparación programado de elementos estructurales, fallas en sistemas eléctricos y mecánicos.

Se identifica 6 líneas de acción Estratégicas, las que son Contrato de Mantenimiento, Operación del Contrato, Operación de equipos, Componentes de respaldo, Planificación del Mantenimiento y Administración de Contrato.

La Estrategia más relevante para alcanzar el objetivo, tiene que ver con la de Componentes de Respaldo, siendo necesario la compra de componentes, para disminuir el tiempo de detención de las palas. Una práctica usada por la mayoría de las Mineras es detener y reparar componentes mayores. Se busca reemplazar los componentes y evitar el tiempo asociado a la reparación.

Como conclusión, existe ganancia de disponibilidad de la estrategia de componentes y la de Operación.

Desde el punto de vista económico, es rentable la compra de elementos de reemplazo mayores, ya que aumenta el tiempo disponible.

La estrategia de componentes asegurará alcanzar los indicadores de disponibilidad que los Planes Mineros requieren de las palas.

AGRADECIMIENTOS

A mi esposa Mónica Alejandra, mis hijas Lía, Rayén, Anaid y Millaray, quienes me dieron la fuerza para seguir adelante y terminar este trabajo.

A mi padre, Juan Ramón Solís Astudillo (Q.E.P.D), quien fallece el 15 de Agosto de 2012.

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO 1, INTRODUCCION _____	- 9 -
1.1.- Mina Radomiro Tomic _____	- 9 -
1.2.- Estructura y descripción de la organización _____	- 11 -
1.3.- Contratos de Mantenimiento de equipos Mineros _____	- 12 -
1.4.- Contratos de Mantenimiento de Palas de Cable P&H _____	- 14 -
CAPITULO 2, DESCRIPCION DEL TEMA A DESARROLLAR _____	- 16 -
2.1.- Problemática general de la operación de palas de cable _____	- 16 -
2.2.- Objetivo y alcance _____	- 16 -
2.3.- Resultados esperados _____	- 17 -
CAPITULO 3, MERCADO DE EQUIPOS MINEROS _____	- 18 -
3.1.- Mercado de equipos Mineros _____	- 18 -
3.2.- Palas de cable eléctricas, marcas y modelos en el mercado nacional _____	- 19 -
3.3.- Descripción general de Pala de cable P&H 4100 XPB y 4100 XPC AC _____	- 21 -
3.3.1.- Sistemas principales _____	- 21 -
3.3.2.- Sistema eléctrico, electrónico y control _____	- 22 -
3.3.2.- Sistema de levante _____	- 23 -
3.3.3.- Sistema de empuje _____	- 24 -
3.3.4.- Sistema de giro _____	- 24 -
3.3.5.- Sistema de propulsión _____	- 25 -
3.3.6.- Sistema estructural : _____	- 26 -
CAPITULO 4, MARCO CONCEPTUAL DE GESTION DE ACTIVOS _____	- 34 -
4.1.- Evolución de la gestión de activos _____	- 34 -
4.2.- Metodologías modernas de mantenimiento _____	- 36 -
4.3.- Estrategias de mantenimiento moderna _____	- 37 -
4.4.- Indicadores de mantenimiento _____	- 40 -

4.5.- Problemática mantenimiento de palas Mina RT _____	- 41 -
4.6.- Benchmarking indicadores de mantenimiento de palas _____	- 42 -
CAPITULO 5, ANALISIS DE DETENCIONES _____	- 48 -
5.1.- Detenciones por sistemas _____	- 48 -
5.2.- Detenciones y fallas relevantes históricas _____	- 60 -
5.3.- Plan de Negocio _____	- 61 -
5.4.- Desviaciones entre PND y necesidades reales _____	- 63 -
CAPITULO 6, ALTERNATIVAS DE SERVICIOS _____	- 64 -
6.1.- Alternativas Estratégicas de Servicio _____	- 64 -
6.2.- Análisis de Alternativas Estratégicas de Servicio _____	- 67 -
6.3.- Análisis FODA de Alternativas Estratégicas de Servicio _____	- 68 -
6.4.- Servicio de mantenimiento externo, interno mantenimiento de palas _____	- 70 -
6.5.- Recomendación de servicios para el mantenimiento de palas _____	- 74 -
CAPITULO 7, ESTRATEGIAS DE ASEGURAMIENTO DE DISPONIBILIDAD _____	- 76 -
7.1.- Necesidades de mantenimiento teóricas _____	- 76 -
7.2.- Servicios a considerar, gastos más relevantes en el servicio _____	- 78 -
7.3.- Componentes y repuestos estratégicos _____	- 80 -
7.4.- Sinergias entre Divisiones de Codelco y otras Mineras _____	- 85 -
7.5.- Estrategia de corto y largo plazo _____	- 86 -
7.7.- Impacto en el negocio _____	- 94 -
CAPITULO 8, CONCLUSIONES _____	- 96 -
BIBLIOGRAFIA _____	- 96 -
ANEXO N°1, _____	- 96 -
ANEXO N°2, _____	- 96 -

INDICE DE FIGURAS

Figura N°1, Movimiento total Mina RT PND 2012	- 10 -
Figura N°2, Organigrama DRT año 2012	- 12 -
Figura N°3, Costo de mantenimiento equipos de carga uío	- 14 -
Figura N°4, Incidencia en presupuesto por flota de equipos	- 15 -
Figura N°5, Primera pala de vapor diseñada por William Smith Otis	- 18 -
Figura N°6, Pala Caterpillar 7495.....	- 20 -
Figura N°7, Pala P&H 4100 XPC	- 20 -
Figura N°8, Mecanismo empuje y recogida Pala Caterpillar 7495	- 21 -
Figura N°9, Medidas laterales P&H 4100 XPC AC.....	- 22 -
Figura N°10, Sistema de levante pala P&H 4100 XPC	- 23 -
Figura N°11, Sistema de empuje pala P&H 4100 XPC	- 24 -
Figura N°12, Sistema de giro pala P&H 4100 XPC	- 25 -
Figura N°13, Chasis inferior, bastidores, carbody Pala P&H 4100 XPC	- 26 -
Figura N°14, Pluma Pala P&H 4100 XPC	- 26 -
Figura N°15, Mango Pala P&H 4100 XPC	- 27 -
Figura N°16, Correderas Pala P&H 4100 XPC.....	- 27 -
Figura N°17, Vistas de balde Pala P&H 4100 XPC	- 28 -
Figura N°18, Revolvig frame y cajón contrapesos Pala P&H 4100 XPC	- 28 -
Figura N°19, Carbody Pala P&H 4100 XPC	- 29 -
Figura N°20, Bastidores Pala P&H 4100 XPC.....	- 29 -
Figura N°21, Gantry Pala P&H 4100 XPC.....	- 30 -
Figura N°22, Fase de excavación	- 30 -
Figura N°23, Evolución en la Gestión de Mantenimiento	- 35 -
Figura N°24, Fases de puesta en ejecución de estrategias de mantenimiento	- 39 -
Figura N°25, Evolución de disponibilidades palas P &H 4100 XPB DRT	- 42 -
Figura N°26, Levante de pala 4100 XPB para cambio de corona de giro	- 42 -
Figura N°27, Disponibilidad y horas acumuladas de operación, datos 2009.....	- 43 -
Figura N°28, Disponibilidad y horas de operación, datos 2009 y palas DRT	- 44 -
Figura N°29, Disponibilidad y horas de operación, datos 2009 y palas DRT	- 45 -
Figura N°30, MTTR v/s MTBF, datos ENCARE 2009 y palas DRT	- 46 -

Figura N°31, MTTR v/s MTBF, datos ENCARE 2006	- 46 -
Figura N°32, MTTR v/s MTBF, datos ENCARE 2006	- 47 -
Figura N°33Figura 4.9, MTTR v/s MTBF, datos ENCARE 2006	- 47 -
Figura N°34, Distribución de detenciones palas 410 0 XPB, Año 2005 – 2011	- 49 -
Figura N°35, Distribución de detenciones palas 410 0 XPB, Año 2005 – 2011	- 49 -
Figura N°36, Origen de las detenciones palas 4100 XPB, Año 2005 – 2011	- 50 -
Figura N°37, Relación de Mantenimiento palas 4100 XPB, Año 2005 – 2011	- 50 -
Figura N°38, Pareto imprevistos por sistemas palas 4100 XPB, Año 2005 – 2011 .	- 51 -
Figura N°39, Diagrama de Pareto Programado palas 4 100 XPB, Año 2005 - 2011	- 52 -
Figura N°40, Diagrama de Pareto Fallas de Operación Año 2005 – 2011	- 53 -
Figura N°41, Pareto Incidentes palas 4100 XPB, Año 2005 – 2011.....	- 54 -
Figura N°42, Diagrama de Pareto Imprevisto palas 4 100 XPB, Año 2005 – 2011 ...	- 56 -
Figura N°43, Diagrama de Pareto Falla Operacional 4100 XPB, Año 2005 – 2011 .	- 56 -
Figura N°44, Incidentes Subsistemas 4100 XPB, Año 2005 – 2011	- 57 -
Figura N°45, Imprevistos por especialidad 4100 XPB , Año 2005 – 2011.....	- 58 -
Figura N°46, Imprevistos Eléctricos palas 4100 XPB , Año 2005 – 2011.....	- 59 -
Figura N°47, Imprevistos Mecánicos palas 4100 XPB, Año 2005 – 2011	- 59 -
Figura N°48, Movimiento de materiales PND 2012	- 61 -
Figura N°49, costo de mantenimiento equipos de car guío PND 2012	- 62 -
Figura N°50, VAC alternativas de mantenimiento interno y externo.....	- 80 -
Figura N°51, Distribución de gastos en servicio de mantenimiento externo.....	- 80 -
Figura N°52, Falla catastrófica pluma 4100 XPB	- 82 -
Figura N°53, Bastidor con daños en rodillos y elementos estructurales.....	- 83 -

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1, Flota de equipos DRT.....	- 11 -
Tabla N° 2, Compañías Mineas y Cantidad de Palas Eléctricas	- 19 -
Tabla N° 3, Estimación disponibilidades palas de más de 50 yardas cubicas	- 44 -
Tabla N° 4, Base de datos detenciones años 2005 – 2011.....	- 48 -
Tabla N° 5, Imprevistos por tipo de detención 2005 – 2011	- 51 -
Tabla N° 6, detenciones mayores 2005 - 2011	- 60 -
Tabla N° 7, Detenciones mayores por especialidad 2005 – 2011	- 61 -
Tabla N° 8, Distribución del gasto servicio de mantenimiento Palas PND 2012 DRT-	62 -
Tabla N° 9, Evaluación de alternativas de servicio	- 68 -
Tabla N° 10, FODA alternativa de mantenimiento externo.....	- 69 -
Tabla N° 11, FODA alternativa de mantenimiento interno.....	- 70 -
Tabla N° 12, Servicios de Mantenimiento en Mineras del País.....	- 73 -
Tabla N° 13, Evaluación de Servicio en Palas	- 74 -
Tabla N° 14, determinación de dotación para servicio pala 4100 XPC AC	- 77 -
Tabla N° 15, Componentes de respaldo flota de palas 4100 XPB y 4100 XPC AC ..	- 84 -
Tabla N° 16, Impacto de estrategia de componentes.	- 94 -
Tabla N° 17, VAC de estrategia de componentes.....	- 95 -

CAPITULO 1, INTRODUCCION

1.1.- Mina Radomiro Tomic

La División Radomiro Tomic (DRT) es una de las principales divisiones de la Corporación Nacional del Cobre, CODELCO. Se ubica a 40 kilómetros al norte de Calama, en la Provincia El Loa, y a 250 kilómetros al noreste de Antofagasta, a una altura de 3 mil metros sobre el nivel del mar. Su planta está diseñada para un nivel de producción anual de 300 mil toneladas de cátodos de cobre. Debe su nombre al político Demócrata Cristiando, Radomiro Tomic Romero, quien fue un férreo defensor de la “Chilenización del Cobre”. Codelco bautizó a la Mina de esta forma en 1992.

Sus recursos geológicos superan los mil millones de toneladas de mineral del tipo óxidos, principalmente Atacamita, Arcilla de Cobre y Crisocola, con una ley promedio de 0,41% de cobre. Asimismo, los recursos de mineral sulfurado alcanzan a más de 5 mil millones de toneladas, con leyes de 0,40%.

El futuro de DRT está en sus reservas de minerales sulfurados. El 2017 se agotará el óxido y por lo tanto se terminan sus recursos lixiviables. En tanto, los sulfuros tienen reservas por mil 800 millones de toneladas de 0,5% de ley, que permitirán continuar alimentando a la Concentradora de la División Chuquicamata hasta el 2044, para completar el equivalente a 800 millones de toneladas, mientras que la otra parte de estas reservas se procesarían en una concentradora ubicada en DRT, que utilizaría agua de mar desalinizada, más un tranque de relaves espesados. Esta concentradora en DRT tendrá una capacidad, aún en estudio de pre factibilidad, de unas 100 o 150 mil toneladas día promedio.

En la Mina, el equipamiento minero esta compuesto por distintos equipos de gran capacidad, entre los que destacan, palas de 73 yardas cúbicas, camiones de 360 toneladas, perforadoras de gran diámetro. La operación de los equipos mineros es realizada con personal propio. El mantenimiento de los equipos mineros, esta externalizado en su totalidad, contando con contratos de servicios con empresas proveedoras, representantes de las marcas de los equipos.

A fines del año 2011, las palas de cable con que cuenta DRT, son 3 palas P&H 4100 A, 3 P&H palas 4100 XPB. Durante el año 2012, arribarán a DRT 3 palas P&H 4100 XPC AC, ya que 2 de las palas 4100 A, serán dadas de baja, en el transcurso del año 2012. Una de las nuevas palas, corresponde a incremento de equipos, contemplado en el plan minero.

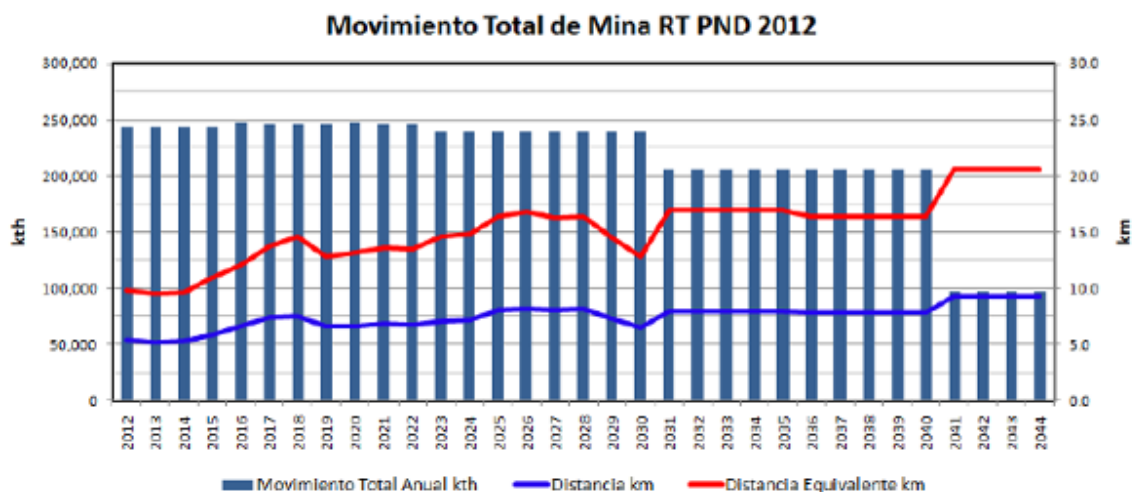


Figura N° 1, Movimiento total Mina RT PND 2012

El movimiento de materiales en el Plan de Negocio 2012 (PND 2012), contempla 670 KTpd hasta el año 2030, indicado en figura N° 1.1, con un incremento paulatino de la distancia de transporte y una disminución del movimiento total a partir del año 2031, para llegar a los 100 millones de toneladas hacia el 2041.

La componente más importante del carguío en la Mina corresponde a la flota de palas, la que representa un 63% del total cargado entre pala de cables, 19% por palas hidráulicas y un 18% por cargadores frontales. En figura 1.4, se visualiza el costo de mantenimiento de cada tipo de equipo de carguío.

El plan de negocio vigente considera producción hasta el año 2044. La tabla N° 1.1 resume la flota de equipos mineros de Mina Radomiro Tomic, para el año 2012.

Tipo de equipo	Marca	Modelo	Cantidad	Puesta operación
Pala eléctrica	P&H	4100 A	3	1996, 1996, 1998
Pala eléctrica	P&H	4100 XPB	3	2000, 2001, 2007
Pala eléctrica	P&H	4100 XPC AC	2	2012
Pala hidráulica	Caterpillar	6050 FS	1	2007
Pala hidráulica	Caterpillar	6060 FS	1	2008
Pala hidráulica	Komatsu	PC8000-6	1	2010
Cargador	LeTourneau	L1850	2	2006, 2010
Cargador	LeTourneau	L2350	2	2010
Perforadora	Atlas Copco	Pit Viper	5	2007 a 2010
Perforadora	Atlas Copco	Rock L8	3	2008 a 2009
Camiones	Liebherr	T282 B	21	2008 a 2011
Camiones	Komatsu	930E	48	2000 a 2007
Bulldozers	Caterpillar	D11R, D11T	15	2006 a 2010
Whelldozers	Caterpillar	854G, 854K	6	2007 a 2010
Motoniveladora	Caterpillar	16H, 24H	8	2006 a 2010
Regadores	Caterpillar	777WTD, 777FWT	6	1998 a 2009
Excavadora	Caterpillar	325CL, 385CL	4	1998 a 2010
Cargador	Caterpillar	988H	2	2009 a 2010

Tabla N° 1, Flota de equipos DRT

1.2.- Estructura y descripción de la organización

La figura N° 1.2 muestra el organigrama general de la DRT, año 2012. La dotación total propia es de 1013 personas, de las cuales 12 son ejecutivos, 160 profesionales y 841 trabajadores.

La dotación de personal externo es de 5.200 personas, de las cuales, 1193 trabajan en la Gerencia Mina y 1098 personas en la Superintendencia de Mantenimiento Mina.

La Gerencia Mina, cuenta con cuatro Superintendencias :

- Superintendencia de Operaciones Mina
- Superintendencia de Mantenimiento Mina
- Superintendencia de Programación y Control de Procesos y Servicios
- Superintendencia de Mantenimiento Chancadores Primarios

La dotación total de Gerencia Mina es de 601 personas, 1 ejecutivo, 36 profesionales y 565 trabajadores. La Superintendencia de Mantenimiento Mina, cuenta con una dotación total de 23 personas, 11 profesionales (1 Superintendente, 2 Ingenieros Expertos de Mantenimiento, 1 Ingeniero en Prevención de Riesgos, 7 Ingenieros de Mantenimiento). Por otra parte, se cuenta con 12 personas de nivel operativo. La jornada de trabajo es 4 x 3 (Lunes a Jueves) y 7 x 7 (Miércoles a Miércoles).

Dentro de las funciones más relevantes ejecutadas por los profesionales, se tiene la Administración de Contratos de Mantenimiento de los servicios. No se cuenta con personal propio directo para la ejecución de actividades de mantenimiento.

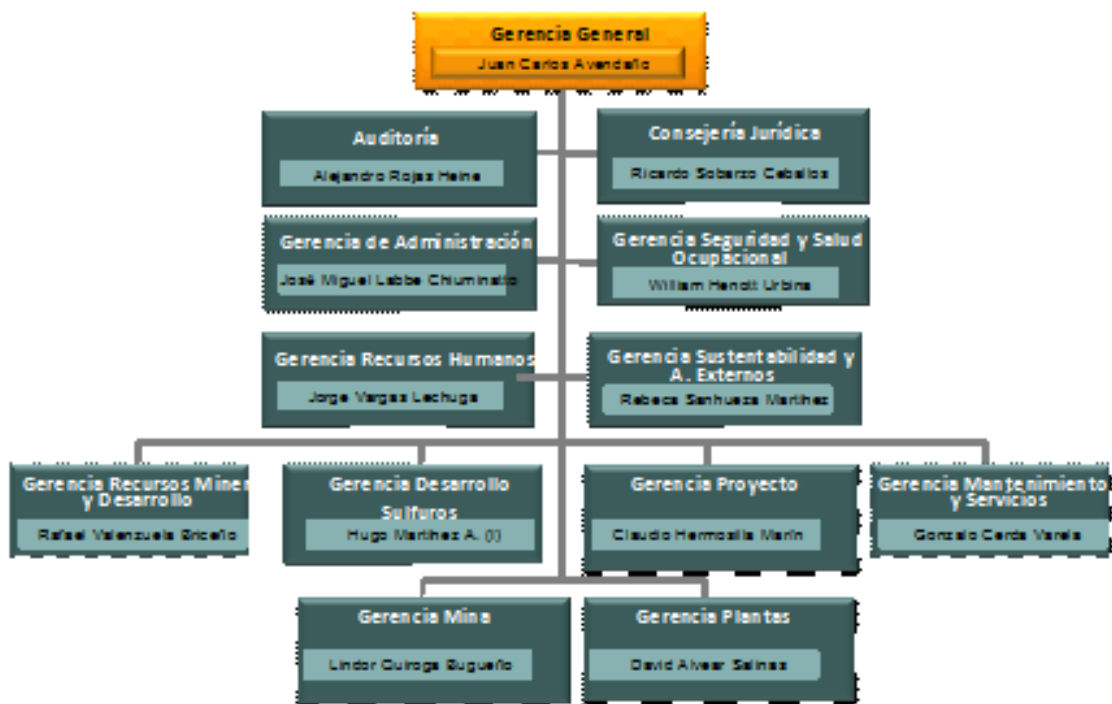


Figura N°2, Organigrama DRT año 2012

1.3.- Contratos de Mantenimiento de equipos Mineros

La definición estratégica de Codelco para la DRT, es contar con personal interno sólo para aquellas actividades del giro esencial del negocio Minero, por lo que las actividades de mantenimiento están en su totalidad externalizadas en la Gerencia Mina.

Para los equipos mineros, la modalidad de contratos predominante es la Contratos Marc (Contrato de Mantenimiento y Reparación). Otra modalidad de contratos de servicios de mantenimiento, es la tipo Marco (ya sea en modalidad de suma alzada, contrato a serie de precios unitarios).

En los contratos de mantenimiento Marc, se contrata todas las actividades de mantenimiento y reparación que requieren los equipos y se acuerda cuales son los

aspectos que no están incluidos en los costos del servicio y medición de indicadores, pudiendo, de todas formas ser ejecutados por el proveedor del servicio y pagadas de manera independiente de la modalidad base de pago.

El gasto de los contratos de mantenimiento modalidad Marc tiene fundamentalmente, tres componentes. La primera componente es el costo fijo del servicio, que incluyen la mano de obra, equipamiento, insumos menores, herramientas y todo lo necesario para dar soporte al mantenimiento de los equipos y cancelada habitualmente en moneda local. La segunda componente considera el costo variable del servicio, que consiste en un pago en función de las horas de operación mensuales de las máquinas, considerando diversos periodos para la vida de los equipos. Se hace cargo del pago de repuestos y componentes mayores de los equipos. Una tercera componente consiste en los pagos por conceptos no incluidos en costo fijo y variable, gastos fuera de contrato (fuera de Marc). Considera mayoritariamente actividades de reparación estructural de los equipos, elementos de desgaste usados, las que se cancelan en función de cotizaciones por evento y según el consumos de piezas para el segundo caso. Esta es la modalidad que se usa para el pago de las reparaciones que son debidas a accidentes.

Los contratos de mantenimiento Marc consideran la ejecución de todas las actividades de mantenimiento necesarias para el funcionamiento de las máquinas, tales mantenimiento cíclico (lubricación, cambio de aceites, filtros), solución de imprevistos (fallas de diversa índole, sean eléctricas o mecánicas), cambio de componentes (sustitución cíclica, cada cierta tiempo), actividades de Ingeniería de Mantenimiento (planificación, necesidad de repuestos, bodega, análisis predictivo, inspección técnica, entre otras).

El presupuesto anual promedio, para la flota de equipos Mineros de DRT bordea los MUS\$ 214, según Plan de Negocio 2012. La figura 1.3 muestra la distribución promedio de gastos.

1.4.- Contratos de Mantenimiento de Palas de Cable P&H

Desde la adquisición de las primeras palas, se ha contratado los servicios de mantenimiento y reparación requeridos, con el representante en Chile de esta marca de equipos, JoyGlobal, en la actualidad. En la medida en que se ha incrementado el parque de palas, se han incorporado estos equipos en el contrato o los antiguos equipos, a los nuevos contratos. En la actualidad se cuenta con un contrato para servicio de 10 años de duración, del tipo Marc, vigente hasta el año 2021.

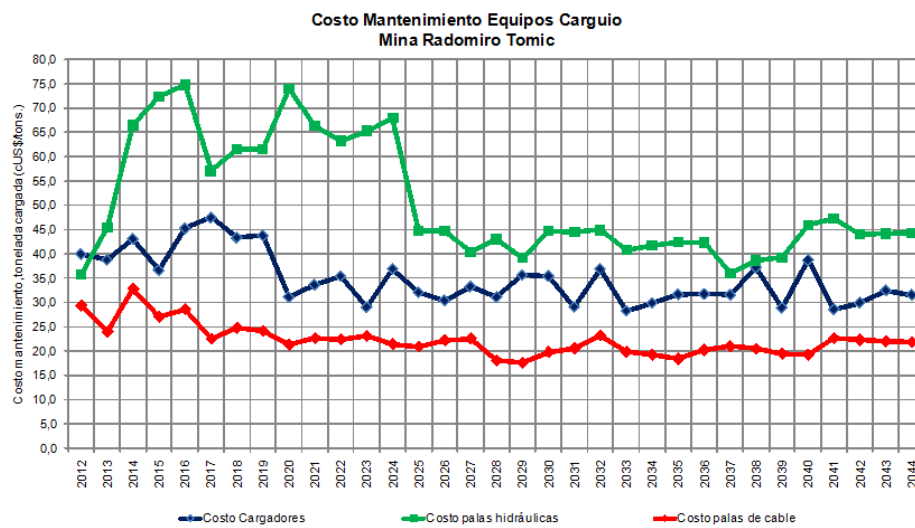


Figura N°3, Costo de mantenimiento equipos de carguío

El contrato tiene desincentivos por incumplimiento de indicadores. Para el actual servicio se define tres indicadores que son medidos en forma periódica, los que son :

- La disponibilidad Marc
- Planes de mantenimiento
- Tiempo medio entre fallas.

El monto máximo de desincentivo mensual corresponde al 8 por ciento del costo fijo mensual. El 80% del desincentivo esta asociado al incumplimiento de la disponibilidad.

Las horas de trabajo de cada pala se determina con la información del sistema despacho de la DRT, para el periodo de pago a considerar, rescatada de sistema

Jigsaw.

Esta excluido del costo del contrato, lo concerniente a las reparaciones estructurales de componentes que deban ser retirados para ser reparados en taller o lo que se defina entre las partes como una reparación mayor estructural. El costo de estas reparaciones se cancela en función de precios base definidos para el contrato y sus reajustes.

El contrato considera todo lo necesario para ejecutar el mantenimiento, actividades de Ingeniería de Mantenimiento (planificación, programación, análisis predictivo, análisis de falla, administración de bodega, entre otros).

Los planes de producción de la DRT, están basados en las disponibilidades físicas y no las disponibilidades Marc de las máquinas. Por tanto, existe una diferencia entre ambas, siendo mayor la disponibilidad de contrato Marc, respecto de la física, debido a las exclusiones consideradas en el contrato en la ejecución del servicio.

El presupuesto anual promedio para el mantenimiento de todas las palas de Mina de DRT, entre el 2012 al 2044 es de MUS\$ 48. La figura 1.4 muestra como se distribuye el gasto entre los distintos tipos de flotas, incluido el gasto del personal propio de Codelco.

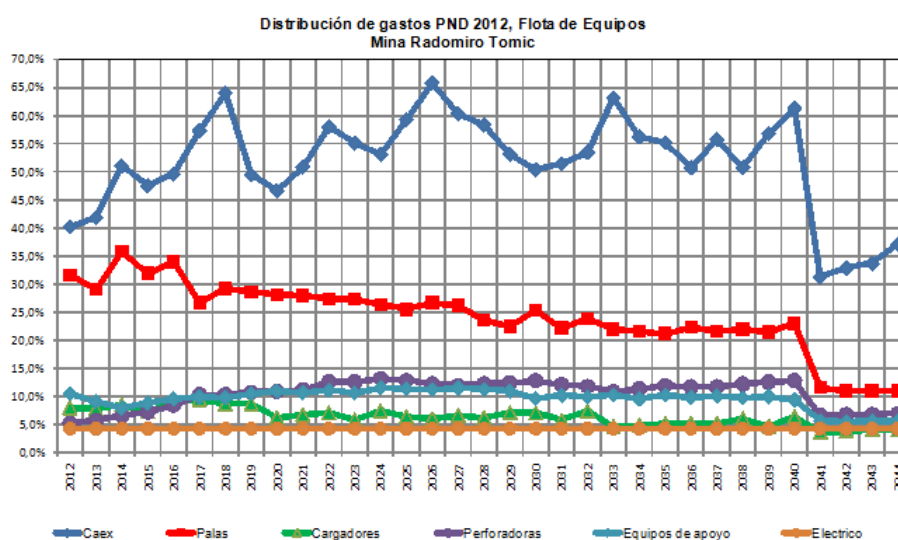


Figura N°4, Incidencia en presupuesto por flota de equipos

CAPITULO 2, DESCRIPCION DEL TEMA A DESARROLLAR

2.1.- Problemática general de la operación de palas de cable

El Plan de Negocio 2012, contempla una flota de 07 palas de cables hasta el año 2027, 6 entre el 2028 y 2030, 5 entre el 2031 y 2040, terminado con 2 palas el año 2044. El tonelaje promedio cargado es del 63% del material de la Mina, siguiéndole en importancia la flota de palas hidráulicas, con un 19% y los cargadores frontales, con un 18%, según PND 2012.

Desde el inicio de operación de las palas modelo 4100 XPB, año 2000, no se ha logrado las metas de disponibilidad, en varios años, dificultando alcanzar el movimiento de materiales. Por otro lado, durante el 2012 se colocarán en operación 3 palas P&H 4100 XPC AC, las que se basan en el modelo P&H 4100 XPB. Las nuevas palas reemplazarán a palas antiguas modelo 4100 A.

La tesis busca identificar las estrategias que se deben implementar en el mantenimiento, durante la vida económica de los activos, para asegurar el cumplimiento de la disponibilidad requerida por los planes, estrategias que deben ser realizadas ya sea con servicios internos o externos de mantenimiento. No esta considerado revisar indicadores operacionales de las máquinas, tales como utilización efectiva u operativa, rendimientos, sino que sólo los aspectos relacionados con el mantenimiento, los que son realizados con contratos de mantenimiento y no con personal propio de Codelco, por una definición estratégica de Codelco.

2.2.- Objetivo y alcance

Identificar las estrategias para mejorar la disponibilidad de la flota de palas de Mina Radomiro Tomic, P&H 4100 XPB y 4100 XPC AC. Se definirá aspectos centrales de gestión de mantenimiento de la flota de palas, para que los equipos tengan el performance requerido. Estas acciones deben ser llevadas a cabo desde el principio de la operación y apuntan a que se cumpla con los indicadores operacionales requeridos

de los equipos, particularmente la disponibilidad.

Los alcances de las tesis son :

- Se propondrá estrategias que apunten a cumplir con las disponibilidades, considerando el contexto de DRT.
- Determinar el costo interno de mantenimiento por periodo, para la flota de de equipos.

2.3.- Resultados esperados

El resultado esperado de la tesis es proponer las estrategias de mantenimiento que aseguren cumplir con los indicadores de disponibilidad de la flota de máquinas en su horizonte de vida, plasmándolas en el plan de negocio vigente para DRT, identificando el impacto de su implementación, a través de indicadores de disponibilidad y sus gastos asociados, disminuyendo el riesgo de incumplimientos de disponibilidad por aspectos no identificados en la estrategia de mantenimiento de las palas.

Estas estrategias pueden corresponder a adquisiciones de componentes de respaldo para dar soporte a la flota, actividades específicas a ser ejecutadas en el ciclo de vida de las máquinas, soporte de servicios necesarios para actividades específicas o cualquier otra que apunte al objetivo planteado. Se determinará cuales son los elementos clave a considerar en la fase de operación de los equipos, desde el punto de vista del mantenimiento, cuya mala gestión puede provocar problemas de incumplimiento de disponibilidad y por ende, incumplimientos en el movimiento de materiales de DRT.

La tesis contempla realizar un análisis estratégico respecto de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de alternativas internas o externas de mantenimiento.

CAPITULO 3, MERCADO DE EQUIPOS MINEROS

3.1.- Mercado de equipos Mineros

La pala de cable actual, es una descendiente de la pala de vapor, la que hace su aparición en el año 1839, siendo la primera de ellas diseñada por William Smith Otis. La figura N°6, es una ilustración de esta máquina, en donde se aprecia la gran similitud con los diseños actuales de pala de cables.

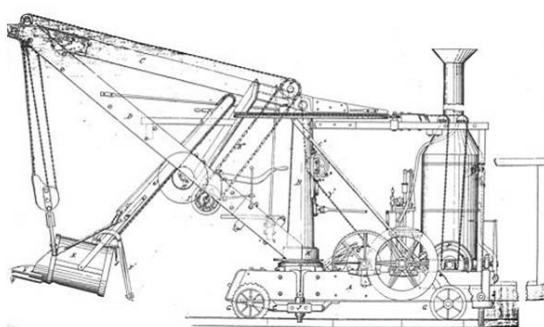


Figura N°5, Primera pala de vapor diseñada por William Smith Otis

Las últimas máquinas de vapor desaparecen en la década de 1920. Las primeras décadas del siglo XX se consolidan los aspectos más relevantes de los actuales diseños, apareciendo la primera pala eléctrica aproximadamente en 1915 (Marion Steam Shovel Co., model 271). Hacia finales del este siglo prevalecen en el mercado dos marcas, P&H y Bucyrus Erie, desapareciendo marcas tales como Lima, Northwest, Marion. En el 2011, Bucyrus Erie es adquirida por Caterpillar Inc..

Para minería a cielo abierto, con la disminución de las leyes de los yacimientos, el incremento de distancia, entre otros factores, ha favorecido el gigantismo para todo tipo de equipos, particularmente de perforadoras, camiones y palas de cable eléctricas.

Para las palas de cables de cable en Chile, el mercado de equipos y servicios está distribuido entre las marcas P&H y Caterpillar. Las capacidades máximas de ambos fabricantes, para minería de cobre, son de 73 yardas cúbicas, capaces de cargar hasta 120 toneladas por pase, cargando camiones de extracción de 360 toneladas métricas, con sólo 4 pases. En términos de potencia, estos equipos tienen hasta 3.750 KW, masa

de 1.536 toneladas. Los modelos P&H 4100 XPC AC y Caterpillar 7495 (495 HR2 Bucyrus Erie), son los modelos de mayor capacidad actualmente en la minería nacional.

En forma gradual, ha aparecido la competencia de las palas hidráulicas, ya sea en versiones diesel o eléctricas, con capacidades de hasta 55 yardas cúbicas, siendo el modelo PC8000 de Komatsu, la pala hidráulica de mayor capacidad en Chile (720 toneladas de masa total, versión diesel y eléctrica).

A mayo de 2012, para las palas de cable electromecánicas, de más de 50 yardas de capacidad, el mercado es dominado por P&H, con 56 unidades, respecto de 42 de Caterpillar (57,1% de P&H). La tabla N° 3.1 resume la cantidad de equipos por empresa Minera en Chile.

	P&H						Caterpillar		
	4100 XPC AC	4100 XPC DC	4100 XPB	4100 A	2800 XPB XPA	Total	495 HR	495 B	Total
Antofagasta Minerals		3	3	2		8			0
Anglo American						0	3	3	6
Barrick Gold Copr.				3		3	2		2
BHP Billiton	1	1	8		1	11	8	6	14
Codelco	3	2	5	5	4	19	7		7
Free Port Mc Moran				5	5	10			0
Lumina Copper	1					1			0
Quadra						0	4		4
Xstrata Copper	2				2	4	4	5	9
Total	7	6	16	15	12	56	28	14	42

Tabla N°2, Compañías Mineas y Cantidad de Palas Eléctricas

Como se aprecia, existe una cantidad limitada de marcas para palas de cable electromecánicas en la minería Nacional, 2 proveedores, por lo tanto, se puede indicar que el mercado es de tipo duopólico. Si bien han estado ingresando palas hidráulicas al mercado nacional, éstas compiten directamente con los cargadores frontales más que con las palas de cable eléctricas.

3.2.- Palas de cable eléctricas, marcas y modelos en el mercado nacional

Las dos marcas presentes tienen varios modelos de equipos disponibles, siendo en la

actualidad las de capacidad de 73 yardas cúbicas, los modelos más vendidos en el mercado nacional, correspondiendo para la marca P&H el modelo 4100 XPX AC y para Caterpillar, el modelo 7495.

La figura N° 6, muestra una pala Caterpillar 7495, de 73 yardas cúbicas de capacidad de carga.



Figura N°6, Pala Caterpillar 7495

La figura N° 7, muestra una pala P&H 4100 XPC, de 73 yardas cúbicas de capacidad de carga.



Figura N°7, Pala P&H 4100 XPC

Ambos modelos de equipos comparten muchas características de diseño, pluma apoyada y pivoteada en superestructura giratoria, suspendida con 4 cables de suspensión, balde con puerta y mecanismo de abrir balde similares, corona de giro afianzada al chasis inferior, con similares componentes, así como similitudes en sistema de rodado, lubricación, eléctrico, control y en sistemas auxiliares.

La diferencia más relevante en el diseño, entre ambas marcas, corresponde al sistema

de empuje, el que tiene un mecanismo de piñon y cremallera, con mango con dos brazos, los que son de sección rectangular, para las P&H a diferencia de un mango tubular y un mecanismo de empuje y recogida accionado por una transmisión y 2 cables en el caso de una Caterpillar, cable de empuje y recoge, figura 8, o un cilindro hidráulico en el modelo hidracrowd. Esto es la más relevante diferencia presente por décadas.

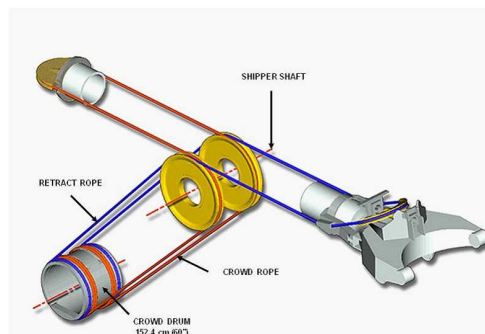


Figura N°8, Mecanismo empuje y recogida Pala Caterpillar 7495

La máquina P&H es de mayor masa, para modelos equivalentes, 1537 toneladas respecto de las 1382 toneladas de la Caterpillar. La información del tiempo de ciclo para una Caterpillar 7495 es de 34 segundos y para una P&H 4100 XPC AC es de 37 segundos.

Respecto de los componentes principales, la pala Caterpillar 7495 tiene uno solo motor de levante (P&H 4100 XPC AC, 2 motores), dos transmisiones de giro (4100 XPC AC, 3 transmisiones y motores).

3.3.- Descripción general de Pala de cable P&H 4100 XPB y 4100 XPC AC

3.3.1.- Sistemas principales

La pala de cable marca P&H es una máquina compleja, de gran envergadura y con gran cantidad de partes, componentes y sistemas que en conjunto entregan a ésta gran máquina su capacidad y funcionalidad. Los modelos de palas con que cuenta la DRT son tres 4100 A, tres 4100 XPB y tres 4100 XPC AC. En términos generales, tienen similares componentes y sistemas, diferenciándose en la capacidad, cantidad y nivel de

actualización tecnológica. Los modelos 4100 A y 4100 XPC son máquinas de corriente continua y la modelo 4100 XPC AC, de corriente alterna.

La máquina realiza 4 movimientos característicos, 3 de los cuales se usan en la carga :

- Excavación (sistema de levante, hoist)
- Empuje, (sistema de empuje, crowd)
- Giro, (sistema de giro, swing)
- Propulsión (sistema de propulsión, propel).

Una vista general de una pala 4100 XPC AC y referencia de medidas, se muestra en la figura N°9.

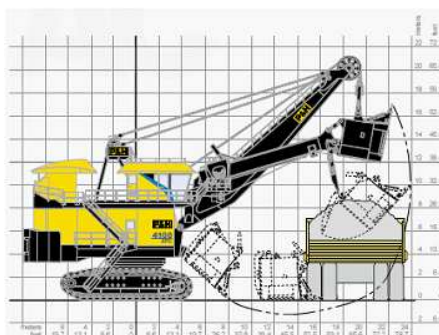


Figura N°9, Medidas laterales P&H 4100 XPC AC

Los principales sistemas funcionales de la Pala P&H se separan en 6 partes, los cuales se describen a continuación :

3.3.2.- Sistema eléctrico, electrónico y control

La Pala es controlada electrónica y eléctricamente. Los principales sistemas se accionan mediante motores eléctricos de corriente continua o alterna, conectados a transmisiones mecánicas a través de acoplamientos. El sistema de distribución de energía eléctrica de la mina suministra corriente alterna a la pala en 6,600VAC, mediante un cable de alimentación y subestaciones móviles. La energía del cable de alimentación llega al chasis inferior, se transfiere al chasis superior o tornamesa, a través de un sistema de anillos colectores de alto voltaje hasta la cabina de alto voltaje

y posteriormente hasta el transformador principal y auxiliar donde se transforma la energía a niveles de trabajo. Además posee un gabinete de supresión donde se filtran las perturbaciones en las ondas eléctricas, gabinetes de condensadores para compensar las corrientes inductivas mejorando así el factor de potencia y gabinetes auxiliares y sala de control, entre otros. Se tiene una gran cantidad de componentes eléctricos en los distintos gabinetes con que cuenta la máquina, entre los que se cuentan, resistencias, contactores, fusibles, reactores, interruptores, tiristores, barras, cableado, regletas de fuerza, SCR, entre otros.

3.3.2.- Sistema de levante

El sistema de levante es el encargado levantar el balde, por medio de los cables de levante, los que se enrollan en un tambor, aledaño a la transmisión de levante, situado en el interior de la sala de máquinas. La dirección del movimiento de los cables es cambiada en el extremo de la pluma por una polea. Para producir el giro del tambor se tienen dos motores (DC o AC), los que trabajan sincronizadamente, montados a cada extremo de la transmisión de levante. Cada motor posee un ventilador (blower) que extrae aire del exterior y lo ingresa al interior del motor para mantenerlo a temperaturas de operación óptimas y un freno por cada motor que está acoplado a la transmisión y accionado neumáticamente. Los elementos interiores de la transmisión son intercambiables (primera y segunda reducción, corona). El tambor y la carcasa de la transmisión están diseñadas para la vida de la máquina. Ver figura 10.

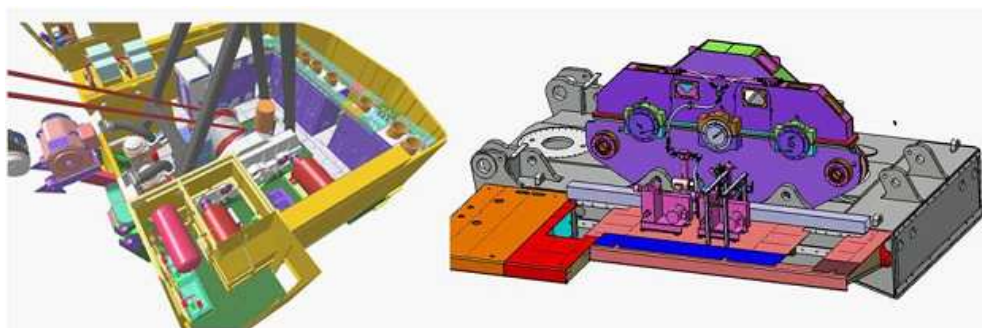


Figura N° 10, Sistema de levante pala P&H 4100 XPC

3.3.3.- Sistema de empuje

El sistema de empuje extiende o retrae el mango, y por ende el balde, brindándole en conjunto con el sistema de levante un movimiento circular variable al balde, necesario para optimizar el carguío. El mango se extiende o retrae gracias a un mecanismo de cremallera y piñón, clásico de P&H, accionando por medio de una transmisión modular, que se encuentra apernada en el eje central de la pluma, la que gira accionada por un motor (DC o AC), que trasmite la potencia por medio de un sistema de polea correa. El mango queda limitado en su movimiento en la zona motriz por dos estructuras llamadas correderas, especies de mordazas desmontables. En un costado de la transmisión, en el eje de alta, esta instalado un freno accionado neumáticamente. Los piñones que accionan el mango son intercambiables. Ver figura 11.

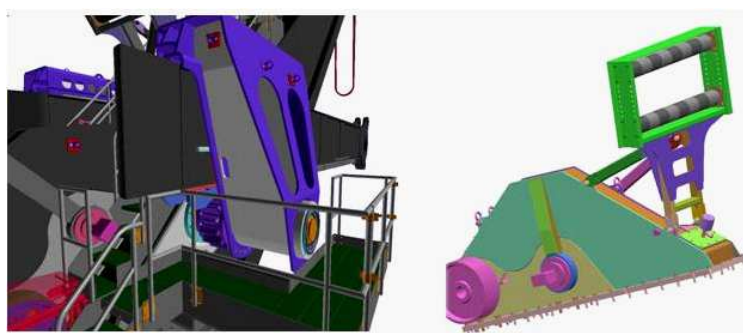


Figura N° 11, Sistema de empuje pala P&H 4100 XPC

3.3.4.- Sistema de giro

El sistema de giro genera el movimiento circular de la parte superior de la Pala, entregándole la capacidad de cargar a 180° y realizar giros completos. El componente principal del sistema de giro es la corona, de aproximadamente 6 metros de diámetro. Esta se monta sobre el chasis inferior (carbody y sides frames). Lo componen, además, la pista inferior alojada en chasis inferior y la pista superior, alojada en la superestructura giratoria (revolving frame). Entre ambas pistas, se tiene el sistema de rodillos, sobre los cuales desliza la superestructura superior, cuando gira. Estos elementos forman un rodamiento axial gigante. El giro se produce por la acción de dos o tres piñones (2 para la 4100A y 3 para la 4100XPB y 4100 XPC AC) sobre la corona.

Cada piñón está sujeto a un eje que sale de la transmisión de giro, la cual trabaja gracias al acoplamiento con un motor de corriente continua (DC) o corriente alterna (AC). El modelo 4100A posee dos transmisiones y dos motores DC y tres en el caso del modelo 4100XPB y 4100 XPX AC. Sobre cada motor eléctrico, están acoplado un freno de discos accionado neumáticamente. Ver figura 12.



Figura N° 12, Sistema de giro pala P&H 4100 XPC

3.3.5.- Sistema de propulsión

El sistema de propulsión es el encargado de desplazar la Pala. Cuenta con dos superestructuras llamadas bastidores (side frames), apernados a una estructura central (car body). En la zona motriz, se aperna un cajón en donde se instalan los motores eléctricos. En cada bastidor se acopla una transmisión y motor eléctrico DC o AC. Los motores transfieren el movimiento a las transmisiones planetarias, las que transmiten potencia a la rueda de propulsión, por medio de un eje. Esto impulsa la oruga, deslizándose la pala por esta, a través de rodillos. La oruga cuenta con un sistema de tensado y con rieles de desplazamiento, sobre el cual desliza la oruga en la parte superior de cada bastidor. Cada bastidor tiene ocho rodillos de carga, una rueda tensora, una rueda guía y una rueda propulsora por lado. En el extremo del motor, esta acoplado un freno de discos accionado neumáticamente. Ver figura 13.

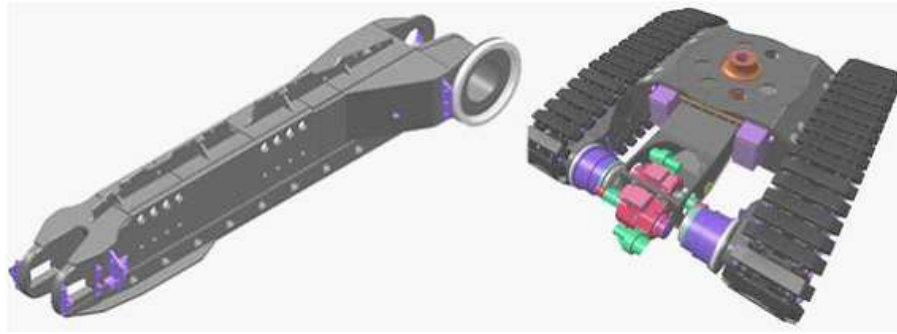


Figura N° 13, Chasis inferior, bastidores, carbody Pala P&H 4100 XPC

3.3.6.- Sistema estructural :

Son los elementos que dan rigidez estructural a la máquina, están contruidos por planchas de acero de distinto espesor, soldadas entre ellas en diversos puntos. Esta compuesto por estructuras , tales como :

- Pluma (boom), una estructura de 115 toneladas de masa. En ella va montada la transmisión de empuje, polea punta pluma. Se soporta en dos pasadores en la superestructura giratoria y con 4 cables de suspensión. Es la responsable de soportar la carga de cada pase. Ver figura 14.

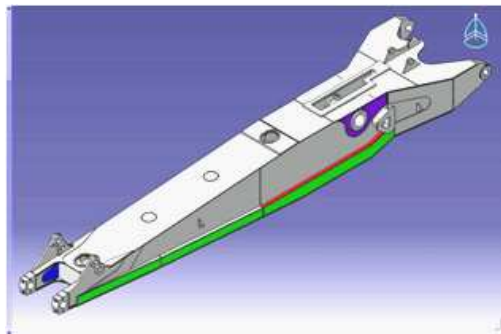


Figura N° 14, Pluma Pala P&H 4100 XPC

- Mango (dipper handle), una estructura de 45 toneladas de masa. Ella transmite el movimiento de empuje hacia el balde, tiene un set de cremalleras por medio de la cuales recibe el movimiento desde la transmisión de empuje. Ver figura 15.

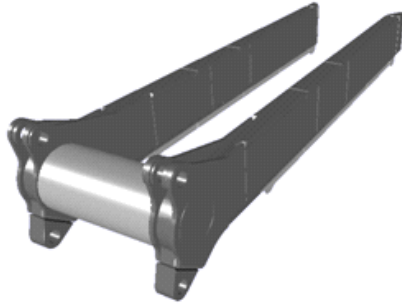


Figura N° 15, Mango Pala P&H 4100 XPC

- Correderas (saddle blocks), dos estructuras de 5,5 toneladas, que impide el juego radial y axial excesivo del mango en la zona de la transmisión de empuje, son retiradas cada vez que se debe cambiar el eje motriz de la transmisión de empuje. Ver figura 16.

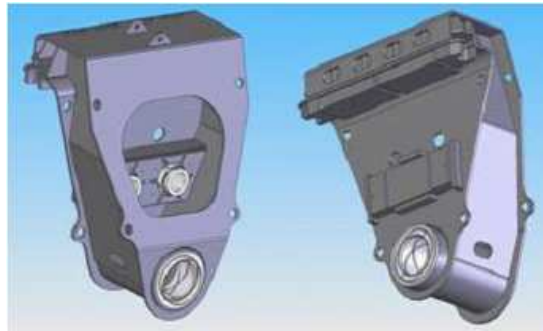


Figura N° 16, Correderas Pala P&H 4100 XPC

- Balde (dipper), estructura de 80 toneladas, que recibe el material desde la frente y lo lleva a la zona de descarga. Esta compuesto por el balde, la puerta, aro amortiguadores y mecanismo de apertura de la puerta. Ver figura 17.

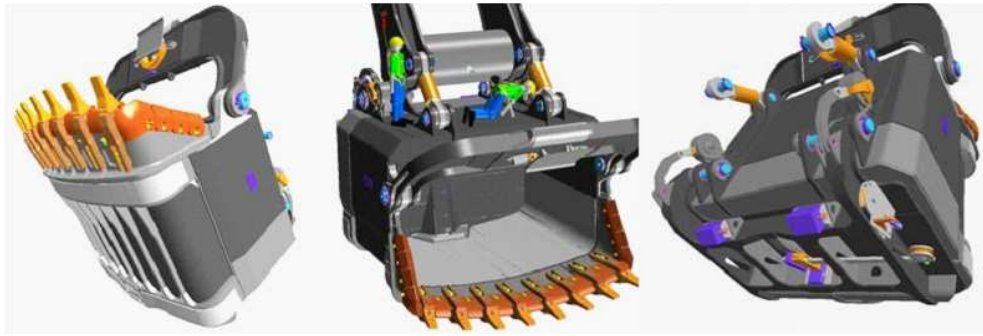


Figura N° 17, Vistas de balde Pala P&H 4100 XPC

- Tornamesa superior (revolving frame), estructura de 140 toneladas de masa, estructura superior en donde se instala la sala de máquinas y la estructura del contrapeso (43 toneladas). En su parte inferior se instala la pista superior. A través de esta estructura pasa el pasador central instalándose una super tuerca en el revolving frame para asegurar un adecuado ajuste entre este y el carbody. Sobre ella se instala la transmisión de levante, sala de lubricación, sala de control, transformador principal y auxiliar, gantry, cabina de operación, entre otros componentes. Ver figura 18.

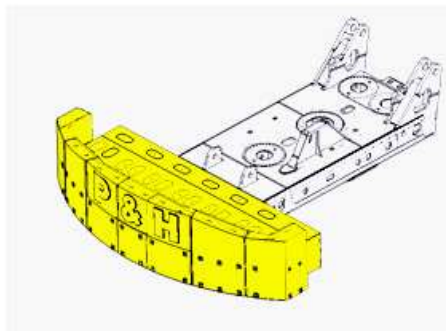


Figura N° 18, Revolving frame y cajón contrapesos Pa la P&H 4100 XPC

- Chasis inferior (carbody), estructura de 45 toneladas de masa, estructura central del tractor inferior, se montan a cada lado los bastidores y sobre ella la corona y pista inferior. En el centro se instala con interferencia el pasador central, que asegura la estructura superior revolving frame y el carbody. Entre ellas están los 54 rodillos que permiten el movimiento relativo entre las estructuras. Ver figura

19.

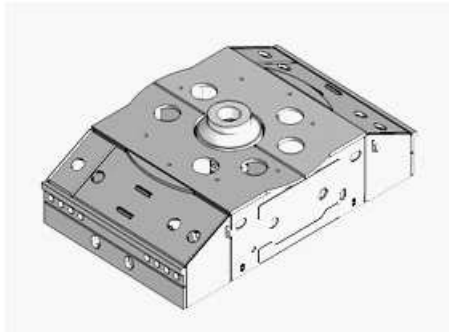


Figura N° 19, Carbody Pala P&H 4100 XPC

- Bastidores (crawler frame), dos estructuras asimétricas de 75 toneladas cada una, instaladas al costado del carbody, en donde se instalan las orugas, las que ruedan sobre rodillos en la parte inferior y deslizan sobre canilleras intercambiables en la superior. En ellos se instalan las transmisiones de propulsión. Ver figura 20.

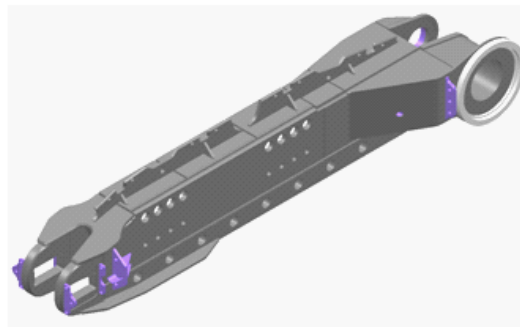


Figura N° 20, Bastidores Pala P&H 4100 XPC

- Pórtico (gantry), estructura de 30 toneladas de masa, en donde se conectan los cables de suspensión de la pluma, dando soporte a la misma. Esta montada con pasadores al revolving frame y tiene dos miembros de tensión y dos de compresión. Ver figura 21.

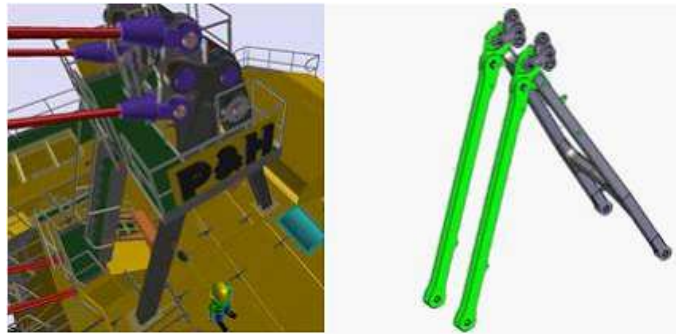


Figura N°21, Gantry Pala P&H 4100 XPC

3.3.2 Ciclo de trabajo y condiciones operaciones

El ciclo de trabajo se divide en cuatro fases: excavación, giro, vaciado y retorno. En cada ciclo de trabajo se utilizan tres movimientos principales: empuje, levante y giro. El movimiento de avance o propulsión, se utiliza para posicionar la pala en relación al banco o frente de carguío, para trasladarla o moverla según sean los requerimientos de mineral o según condiciones operacionales de la mina y para realizar movimientos cortos durante trabajos de mantenimiento.

La fase de excavación consiste en forzar el balde en el frente de carguío, realizando movimientos de levante y empuje simultáneamente. La fase de excavación se aprecia en la Fig. 22.



Figura N°22, Fase de excavación

La fase de giro comienza cuando el balde se encuentra cargado y a una altura controlada que permita girar el balde y posicionarlo sobre el camión. La fase de vaciado comienza antes que el balde cargado pase sobre la tolva de camión de extracción y

consiste en vaciar la carga del balde, al abrir la puerta del balde, mediante un sistema de apertura de la tapa del balde. La fase de retorno incluye el giro de vuelta al frente de carguío y bajar el balde para cerrar la tapa.

3.3.3 Malas prácticas de Operación

Durante la operación de una pala, existen prácticas que pueden provocar daños en los sistemas de la máquina, por lo que es relevante identificarlos, saber los impactos que pueden ocasionar y conocer como prevenir su ocurrencia. En anexo N° 01, se muestra recomendaciones para evitar estas malas prácticas de operación.

- Impacto de Giro (Swing Impact). El impacto de giro genera un daño que puede llegar a ser catastrófico sobre los motores, las transmisiones de giro y fundamentalmente en elementos estructurales, tal como balde, mango, pluma. La mala operación se da cuando la pala detiene abruptamente contra el banco, con el mango extendido, mientras gira.
- Giros de Balde en el Banco (Swinging in the bank). Los giros en el banco están limitados por el sistema de control como un software, siendo una mala práctica similar al impacto de giro. La mala operación se da cuando la pala intenta girar con el balde en el banco.
- Levantamiento de pluma (Boom Jacking). Este movimiento es detectado, controlado y registrado. Tiene dos etapas. Al levantar la pluma por exceso de referencia de empuje, sin el sistema de protección, la pluma cae y se flexiona entre el gantry y el extremo superior de la pluma, pudiendo dar origen a una falla catastrófica.
- Alineación de Cables de Levante (Hoist Ropes). Controlar las condiciones para optimizar la vida útil de los cables levante es, en gran medida, responsabilidad del operador. El operador debe asegurar un alto standard en el control del equipo para evitar que el cable de levante se suelte, colapse o se debilite, extender demasiado el mango o evitando la vibración excesiva al cargar. El área de Operaciones Mina puede contribuir a aumentar la vida útil del cable de

levante a través de técnicas de tronadura adecuada y así evitar que queden “patas” o fragmentación inconsistente del material.

- Carga del Mango (Handle Loading). El control de la carga del mango esta relacionado con los impactos de giro y levante de pluma, ocasionando daños estructurales en las uniones soldadas, ya sea fisuras o fracturas de planchas.
- Carga de la Máquina (Machine Loading). Girar la maquina sobre en 360° en una dirección, una vez por hora es beneficioso para extender vida de los rodillos y proporcionar lubricación al pin central de giro (central gudgeon). Además de esa recomendación, controlar el arco de giro es muy beneficioso para la productividad donde los arcos de 90° son considerados normales y donde los arcos de 120° arcos reducirán el rendimiento de car guío en aproximadamente un 12%.
- Impacto zapata – balde (Shoe Contact). El impacto es perjudicial para la vida útil de la zapata, puede provocar fracturas en las mismas o en el balde. Sin embargo, no hay ningún sistema de protección de impacto en la zapata. Se debe asegurar que los operadores tengan esto claro. La coordinación del ciclo de excavación y consecutiva colocación del balde es responsabilidad del operador.
- Hundimiento de la Pala (Sinking Shovel). La pala debe operarse en todo momento en una superficie firme y nivelada, libre de rocas y escombros. Operar sobre terrenos desnivelados ocasiona sobre esfuerzos en componentes estructurales del chasis inferior, debido a que la pala no tiene suspensión. Operar la pala sobre superficies irregulares provoca balanceo de la máquina y sobre carga en elementos estructurales.
- Contra Rotación de la Orugas (Track Counter Rotation). Ángulos de contra rotación de más de 20° no son aceptables. Una rotación superior a éstos ángulos aumentan la carga de los componentes así como ensucian el mecanismo de propulsión con polvo y rocas, acelerando el desgaste. La recomendación es que la máquina sea propulsada en distancias cortas en una línea recta, hacia adelante, entre una serie de 15° a 20° movimientos de contra rotación.

- Control de Pisos. La pala debe operarse en todo momento en superficies firmes y niveladas, libres de rocas y escombros. No se debe realizar operaciones de excavación en pendientes sobre 5%, por riesgo de vuelco y desgaste de componentes del sistema de giro.
- Tiempo de Propulsión (Propel Accumulated). Un exceso de propulsión, provoca un desgaste acelerado de los componentes del sistema de rodado, fundamentalmente las orugas. La norma general es no exceder el 7% en propulsión, respecto del total de horas de la máquina.

3.4.- Diferencias entre palas de cable P&H 4100 XPB y 4100 XPC AC

Existe gran similitud entre los dos modelos de palas de cable, siendo el modelo XPB la base de desarrollo del modelo XPC AC. La diferencia más relevante consiste en que la XPC AC usa corriente alterna, respecto de corriente continua en la XPB. Si bien en ambos modelos se usa alimentación alterna, en el interior de la máquina XPB es transformada en continua para que sea usada por la motorización disponible para los distintos tipos de movimiento. Una ventaja relevante de la máquina alterna respecto de la continua, desde el punto de vista del mantenimiento, consiste en que los motores alternos no usan carbones, por lo que se disminuye un elemento importante en el mantenimiento de la motorización de la pala alterna.

Desde el punto de vista estructural, existe gran similitud, teniendo el modelo XPC AC en general optimizaciones en el diseño, con planchas de mayor espesor en diversos puntos de las estructuras, planchas dobladas para evitar la soldadura, refuerzos en zonas de mayor sollicitación, así como aceros de mejor calidad. Se debiera esperar, por tanto, un desempeño mejor respecto de una XPB, sin embargo, la máquina tiene más velocidad y potencia, lo que eventualmente impone otras condiciones operacionales a los componentes estructurales.

CAPITULO 4, MARCO CONCEPTUAL DE GESTION DE ACTIVOS

4.1.- Evolución de la gestión de activos

Según el diccionario de la lengua Española, vigésima segunda edición, mantenimiento es un conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, edificios, industrias, etc., puedan seguir funcionando adecuadamente. Por otra parte, según la norma Francesa AFNOR 60.010, mantenimiento se define como : “El conjunto de acciones que permiten mantener o restablecer un bien a un estado especificado o en capacidad de asegurar un servicio determinado”. La European Federation of National Maintenance Societies, define mantenimiento como : todas las acciones que tienen como objetivo mantener un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida. Estas acciones incluyen una combinación de acciones técnicas y administrativas.

El término "mantenimiento" se empezó a utilizar en la industria hacia 1950 en EE.UU. El concepto ha ido evolucionando desde la simple función de arreglar y reparar los equipos para asegurar la producción, hasta la concepción actual, con funciones de prevenir, corregir y revisar los equipos a fin de optimizar el costo global.

Los servicios de mantenimiento, no obstante lo anterior, ocupan posiciones muy variables dependiendo de los tipos de industria:

- Posición fundamental en centrales nucleares e industrias aeronáuticas.
- Posición importante en industrias de proceso.
- Posición secundaria en empresas con costos de paro bajos.

En cualquier caso, podemos distinguir cuatro generaciones en la evolución del concepto de mantenimiento (ver figura 23) :

- 1ª Generación: La más larga, desde la revolución industrial hasta después de la Segunda Guerra Mundial, aunque todavía impera en muchas industrias. El Mantenimiento se ocupa sólo de arreglar las averías. Es el mantenimiento correctivo, se trabaja a la falla.

- 2ª Generación: Entre la 2ª Guerra Mundial y finales de los años 70 se descubre la relación entre edad de los equipos y probabilidad de fallo. Se comienza a hacer sustituciones preventivas. Es el mantenimiento preventivo.
- 3ª Generación: Surge a principios de los años 80. Se empieza a realizar estudios causa efecto para averiguar el origen de los problemas. Es el mantenimiento predictivo ó detección precoz de síntomas incipientes para actuar antes de que las consecuencias sean inadmisibles. Se comienza a hacer partícipe a Producción en las tareas de detección de fallas.
- 4ª Generación : Aparece en la década de los 90. El mantenimiento se contempla como una parte del concepto de Calidad Total : Mediante una adecuada gestión del mantenimiento es posible aumentar la disponibilidad, al tiempo que se reducen los costos. Es el Mantenimiento Basado en el Riesgo (MBR). Se concibe el mantenimiento como un proceso de la empresa al que contribuyen también otros departamentos. Se identifica el mantenimiento como fuente de beneficios, frente al antiguo concepto de mantenimiento como "mal necesario". La posibilidad de que una máquina falle y las consecuencias asociadas para la empresa es un riesgo que hay que gestionar, teniendo como objetivo la disponibilidad necesaria en cada caso al mínimo coste.

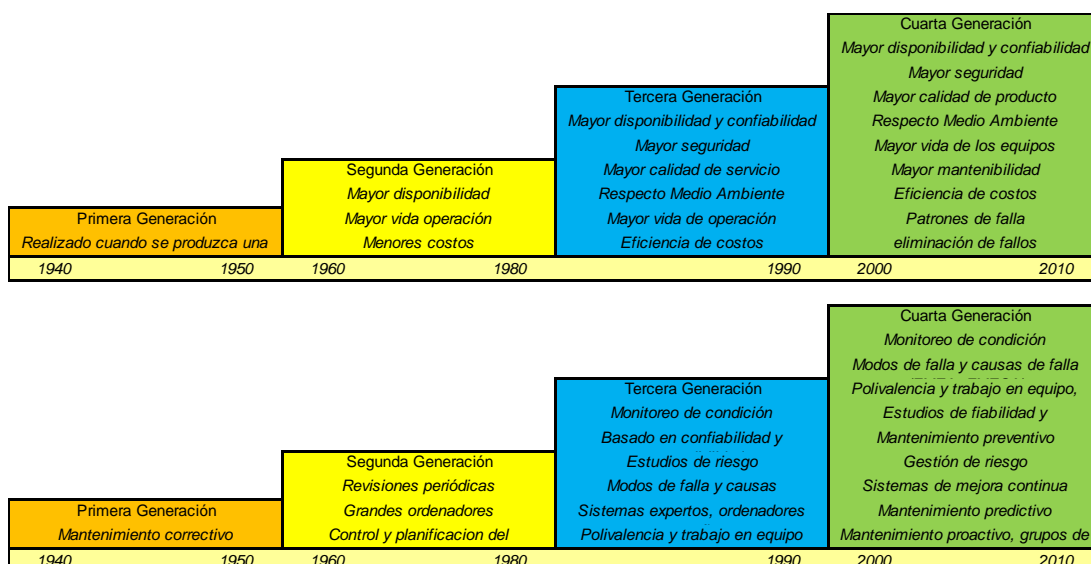


Figura N°23, Evolución en la Gestión de Mantenimiento

4.2.- Metodologías modernas de mantenimiento

Existen varias metodologías para poder generar tácticas, planes de mantenimiento, entre las que se puede mencionar :

- RCM II (mantenimiento centrado en la confiabilidad, Reliability Centred Maintenance), es una técnica para elaborar un plan de mantenimiento en una planta industrial o equipos y que presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas. Inicialmente fue desarrollada para el sector de aviación, donde los altos costes derivados de la sustitución sistemática de piezas amenazaba la rentabilidad de las compañías aéreas. Posteriormente fue trasladada al campo industrial, después de comprobarse los excelentes resultados que había dado en el campo aeronáutico. Como resultado de la demanda internacional por una norma que establezca unos criterios mínimos para que un proceso de análisis de fallos pueda ser llamado “RCM” surgió en 1999 la norma SAE JA 1011 y en el año 2002 la norma SAE JA 1012.
- FMECA, FMEA, failure mode, effects and criticality analysis : es un método que se aplica a través de equipos de trabajo multidisciplinarios, orientado a realizar un análisis de los modos de falla de los elementos críticos de instalaciones y equipos bajo la consideración empírica de que en sistemas complejos sólo unos pocos elementos definen la seguridad operacional de los equipos. Su origen es la Norma US MIL-STD-1629, Procedure for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis. Se usa para reconocer y evaluar fallas potenciales y sus efectos, identificar acciones que reduzcan o eliminen las probabilidades de falla, documentar los procesos con los hallazgos del análisis.
- Análisis de Confiabilidad: es un método de análisis probabilístico que permite, a partir del conocimiento de la tasa de falla de los equipos y de los costos globales asociados, identificar las mejores soluciones de diseño de las instalaciones, considerando la operación y mantenimiento de las mismas y, es el resultado del enfoque “Life Cycle Cost” y “Mantenimiento Centrado en Confiabilidad”, que permite examinar las instalaciones durante todo el ciclo de vida, basado en la

confiabilidad de los equipos.

- Árbol de Fallas (FTA): se utiliza para analizar y evitar, por medio de la anticipación, problemas de seguridad y confiabilidad, identificando relaciones del tipo causa efecto y probabilidad de ocurrencia de problemas utilizando un diagrama tipo árbol.
- TOPS (“Team Oriented Problem Solving”): equipos orientados a la resolución de problemas, utilizando técnicas o herramientas estadísticas simples en su ejecución. Las herramientas principales que se utilizan son tales como diagrama de Pareto, diagrama causa efecto, tormenta de ideas, diagrama de correlación y otros.
- HAZOP, Hazard and Operability Method, Análisis de riesgos y operabilidad, es un método sistemático en el cual se identifican los riesgos de un proceso y los problemas de operación potenciales, usando una serie de palabras guías para investigar desviaciones del proceso. La misma técnica puede ser utilizada para identificar los riesgos derivados de fallas en seguir procedimientos y aún de la conducta inadecuada de los operarios.
- MAFEC, es una metodología que permite clasificar y recopilar información de los componentes críticos, y con ello proyectar y diseñar las estrategias de mantenimiento para un equipo o sistema.

4.3.- Estrategias de mantenimiento moderna

Las fallas pueden afectar a una empresa de diversas maneras. Puede afectar a la operación normal, la calidad del producto, puede afectar la seguridad de las personas, al medio ambiente. Todas las fallas tomarán tiempo repararlas, además de dinero. Por tanto, estas consecuencias son las que llevan a tratar de evitar que se produzcan y en la medida de su impacto, será el esfuerzo destinado a disminuir su consecuencia. Si tiene serias consecuencias, se hará un gran esfuerzo para intentar evitarla. La filosofía RCM II reconoce que las consecuencias de las fallas son más importantes que sus características técnicas integrando los objetivos operacionales, ambientales y de

seguridad en la función de mantenimiento. Por otra parte, se cambia el énfasis en que toda falla es negativa y debe ser prevenida, focalizando los esfuerzos de mantenimiento en las actividades que tienen mayor efecto en el desempeño de la organización. Se centra en la forma de manejar las fallas más que en intentar que no se produzcan, dando origen a las estrategias básicas para el mantenimiento :

- I.- Tareas proactivas : Tareas que se emprenden antes de que se produzca la falla, para prevenir que se llegue al estado de falla. Abarcan lo que se conoce en forma tradicional como mantenimiento preventivo o predictivo, usando el RCM los términos de reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica y mantenimiento a condición.
 - Reacondicionamiento cíclico, Se refiere a las reparaciones hechas a intervalos fijos. Estas tareas sólo son validas si existe un patrón de desgaste, es decir, si la probabilidad de falla aumenta rápidamente después de superada la vida útil del elemento.
 - Sustitución cíclica, ídem a punto anterior, pero se procede al cambio de las partes o componentes.
 - Mantenimiento a condición, el que consiste en la búsqueda de indicios o síntomas que permitan identificar una falla antes de que ocurra. Estas tareas incluyen: inspecciones (ej. Inspección visual del grado de desgaste), monitoreo (ej. vibraciones, ultrasonido), chequeos (ej. nivel de aceite).

- II.- Acciones a falta de : Tareas que tratan directamente con el estado de la falla, y son elegidas cuando no es posible identificar una tarea proactiva efectiva. Las acciones a falta de incluyen búsqueda de fallas, rediseño y mantenimiento a la rotura.
 - Búsqueda de fallas, Consiste en la prueba de dispositivos de protección bajo condiciones controladas, para asegurarse que estos dispositivos serán capaces de brindar la protección requerida cuando sean necesarios.

- Mantenimiento a la rotura, Si se decide que no se hará ninguna tarea proactiva (predictiva o preventiva) para manejar una falla, sino que se reparara la misma una vez que ocurra, entonces el mantenimiento elegido es un mantenimiento correctivo.
- Rediseño. Significa hacer cambios de una sola vez a las capacidades iniciales de un sistema. Incluye modificaciones al equipo y cubre cambios de una vez en los procedimientos.

El primer paso antes de concretar cómo se van a gestionar los trabajos, es establecer la política o estrategia de mantenimiento. La estrategia de mantenimiento consiste en definir los objetivos técnico económicos del servicio, así como los métodos a implantar y los medios necesarios para alcanzarlos. La figura 4.2 muestra las fases de puesta en ejecución de estrategias de mantenimiento.

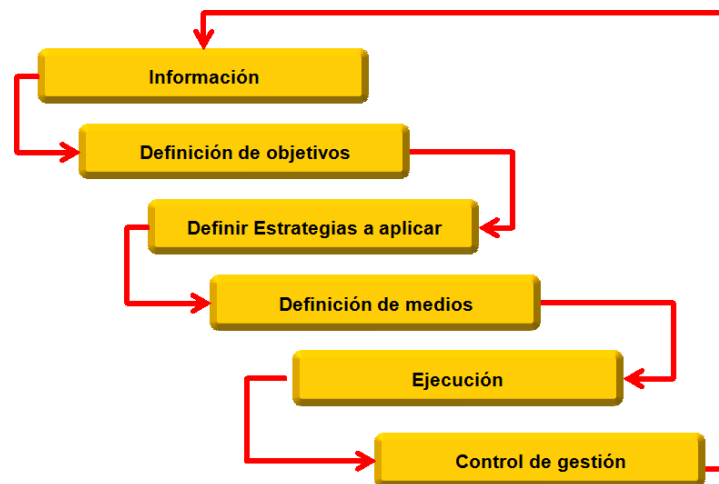


Figura N°24, Fases de puesta en ejecución de estrategias de mantenimiento

Con la información relevante de los equipos, se fijan los objetivos, los que pueden ser muy variables, dependiendo del tipo de industria y su situación e incluso puede ser distinto para cada máquina o instalación. Algunos objetivos son :

- Máxima disponibilidad, sin importar el costo
- A un costo dado, fijando el presupuesto
- Garantizando la seguridad

- Con mínimo nivel de inventario

4.4.- Indicadores de mantenimiento

El resultado de la gestión de mantenimiento es controlado por la elaboración periódica de indicadores de control. El análisis de estos indicadores permite visualizar la evolución que ha tenido una unidad productiva, permitiendo verificar el impacto de distintas estrategias implementadas para la gestión de mantenimiento y tomar acciones correctivas de tal forma de orientarlas con los objetivos del negocio. Además estos indicadores permiten validar la gestión comparando los resultados obtenidos con otras industrias relacionadas (Benchmarking).

Fundamentalmente se manejan tres indicadores de mantenimiento, en el ámbito de los equipos mineros :

- Disponibilidad: Representa el porcentaje del tiempo total del período que el equipo está en condiciones de ser operado :

$$Disponibilidad [\%] = \frac{Tiempo\ Total - Tiempo\ Fuera\ de\ Servicio}{Tiempo\ Total} \times 100 \quad (4.1)$$

Donde:

- Tiempo Fuera de Servicio = Tiempo por mantenimiento o reparación.
 - Tiempo Total = Horas periodo de tiempo a considerar.
- Tasa de Falla (Confiabilidad): Este indicador permite medir la frecuencia de fallas promedio transformándose en una medida de la confiabilidad de los equipos.

$$Tasa\ de\ falla = \frac{Número\ de\ fallas}{Total\ de\ tiempo\ operativo\ [hrs]} = \frac{1}{TMEF}$$

(4.2)

Donde : TMEF = Tiempo medio entre fallas [horas]

- **Mantenibilidad:** Permite medir el tiempo medio para reparar (TMPR) y por lo tanto la facilidad de mantener (Mantenibilidad).

$$\text{Mantenibilidad [TMPR]} = \frac{\text{Tiempo fuera de Servicio [Hrs.]}}{\text{Número de fallas en el período}}$$

(4.3)

Existen otros indicadores usados en la gestión de mantenimiento, entre los que se pueden destacar :

- Relación entre mantenimiento planificado respecto no planificado.
- Carga de trabajo pendiente (medido como porcentaje de la dotación disponible).
- Indicadores relacionados con planificación de mantenimiento (cumplimiento de órdenes de trabajo, órdenes pendientes, entre otras).

Para efectos de comparación con otras mineras nacionales, se usará sólo los 3 indicadores descritos, de uso común en la industria minera.

4.5.- Problemática mantenimiento de palas Mina RT

Como se aprecia en figura 25, la disponibilidad física de la flota de palas 4100 XPB de DRT ha sido inferior a la contemplada en el plan de negocio de DRT. Al inicio de la operación de este modelo de palas, se presentan fallas relacionadas con el diseño. En año 2003, se presenta falla en sistema de rodado. En año 2005, pala N° 205, presenta falla en sistema de giro. En el periodo comprendido entre los años 2007 y 2009, se procede a cambios de coronas de sistema de giro y reparaciones estructurales en componentes mayores, en las palas N° 204, N° 205, r eparaciones programadas por 60

días cada una, no contempladas en plan de negocio, en términos de disponibilidad y gastos asociados.

Las reparaciones que toman mayor tiempo en ser ejecutadas corresponden a las estructurales, seguidas de las mecánicas (sistema de levante, transmisión de levante y tambor, transmisión de empuje y componentes). La figura 26 muestra reparación mayor de cambio de corona en una pala 4100 XPB.

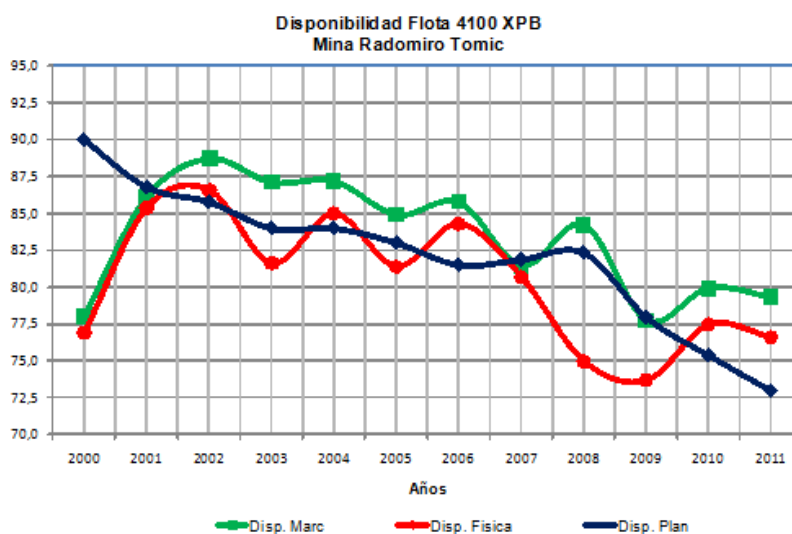


Figura N°25, Evolución de disponibilidades palas P &H 4100 XPB DRT



Figura N°26, Levante de pala 4100 XPB para cambio de corona de giro

4.6.- Benchmarking indicadores de mantenimiento de palas

Para efectos de comparación, se revisa la disponibilidad, tiempo medio entre fallas y tiempo medio para reparar de la flota de palas de Mina Radomiro Tomic, con datos

obtenidos de estudio de benchmarking gestión Minera de año 2011, primer semestre de 2011, 2009 y 2006.

En gráfico 27 se muestra la disponibilidad en función de las horas de operación, para palas de más de 50 yardas cúbicas (ENCARE 2009). En la medida que incrementan las horas de operación, existe una disminución de disponibilidades. Por la excelente correlación de estos datos, se elabora tabla con disponibilidades teóricas a alcanzar para 15 años de operación (90 mil horas), lo que se puede ver en tabla N°4.1.

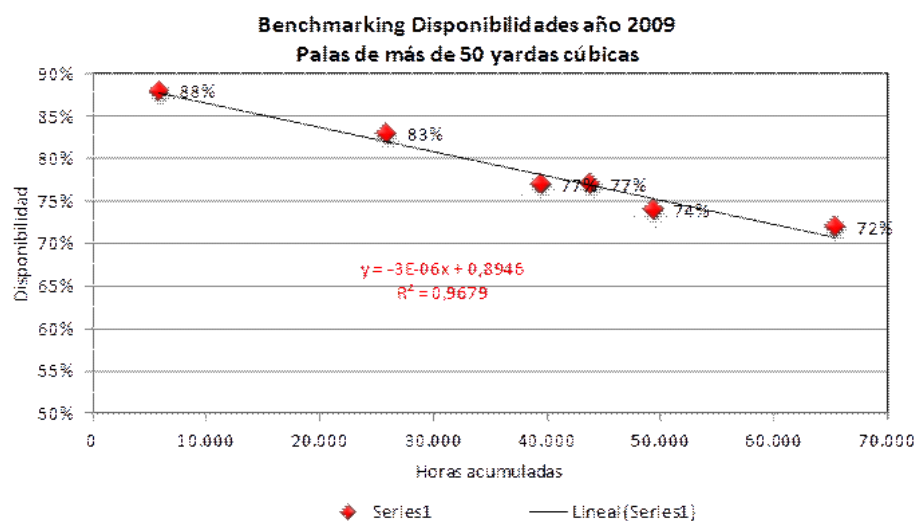


Figura N°27, Disponibilidad y horas acumuladas de operación, datos 2009

En gráfico N° 28 se han superpuesto las disponibilidades de las palas 204, 205 y 206 de DRT. Se puede ver que palas 204 y 205 tienen más dispersión que pala 206, la más nueva de las 3 palas 4100 XPB. Es necesario indicar que la mayor variación de disponibilidad, entre el rango de 50 a 60 mil hora de operación, en donde se ha procedido a realizar el cambio de todos los componentes del sistema de giro de la pala, con un tiempo de detención de aproximadamente 60 días, en donde, además, se realiza otro tipo de actividades de mantenimiento. Estas detenciones por cambio de componentes de sistema de giro, contempla cambiar corona de giro, pistas, soldadura y mecanizado de alojamientos de estos componentes. Sólo considerando una detención de este tipo, el impacto en la disponibilidad del año es importante. Es necesario consignar, que luego de realizada la reparación mayor se ha verificado un

incremento en el nivel de disponibilidad de ambas palas.

Horas acumuladas	Disponibilidad %	Disminución %
0	89,5%	
6.000	87,7%	-1,8%
12.000	85,9%	-1,8%
18.000	84,1%	-1,8%
24.000	82,3%	-1,8%
30.000	80,5%	-1,8%
36.000	78,7%	-1,8%
42.000	76,9%	-1,8%
48.000	75,1%	-1,8%
54.000	73,3%	-1,8%
60.000	71,5%	-1,8%
66.000	69,7%	-1,8%
72.000	67,9%	-1,8%
78.000	66,1%	-1,8%
84.000	64,3%	-1,8%
90.000	62,5%	-1,8%

Tabla N°3, Estimación disponibilidades palas de más de 50 yardas cúbicas

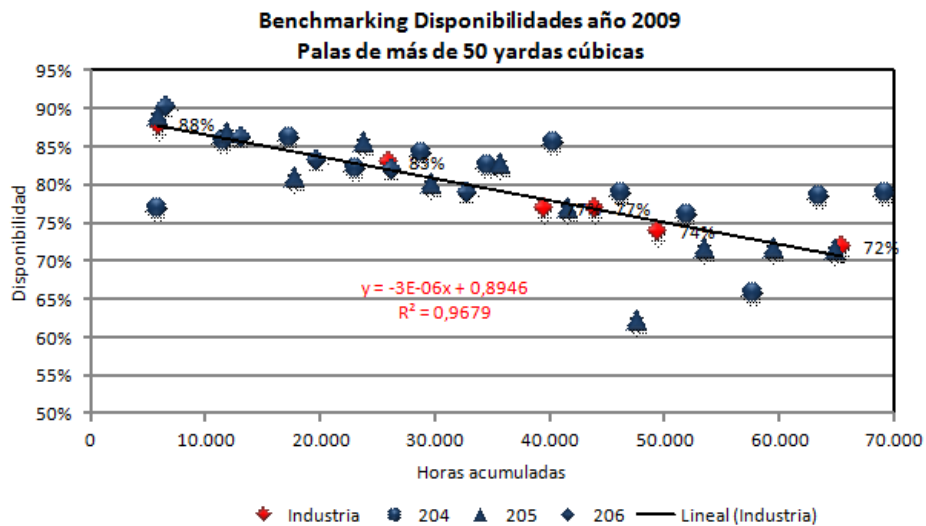


Figura N°28, Disponibilidad y horas de operación, datos 2009 y palas DRT

La gráfica 29, muestra la disponibilidad promedio de la flota de 3 palas y como es su relación con el benchmarking de disponibilidad de la industria. Existe mayor dispersión en el tramo alto de horas de operación, para el caso de las palas de DRT.

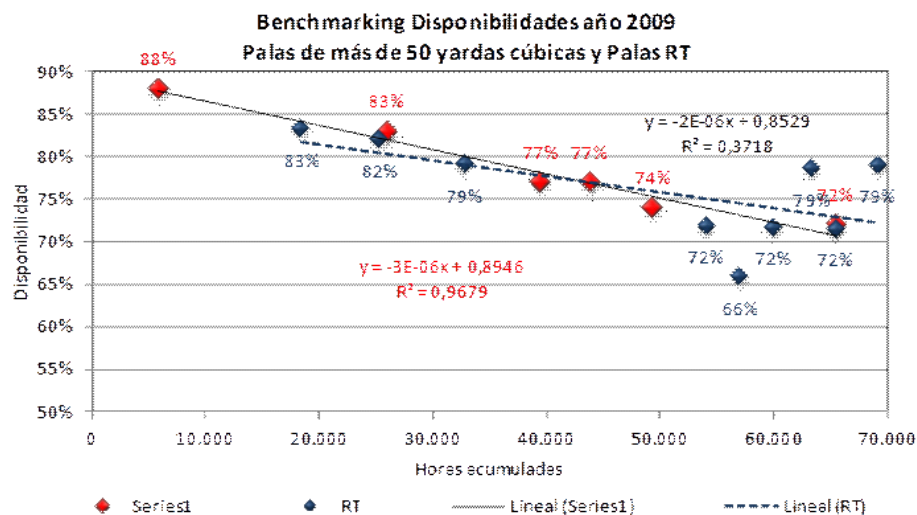


Figura N°29, Disponibilidad y horas de operación, datos 2009 y palas DRT

Respecto del tiempo medio entre fallas (MTBF) y del tiempo medio para reparar (MTTR), el gráfico 30 muestra la posición de DRT, respecto de la industria para el año 2009. Para ese año, la media de la industria para el MTTR fue de 3,4 horas, representando lo que en promedio tarda cada reparación imprevista y el MTBF fue de 31,6 horas, lo que representa el tiempo transcurrido entre fallas. La flota de palas 4100 XPB de DRT tiene un MTTR de 1,8 hrs. y un MTBF de 22,4 hrs.

La gráfica 31 y la 32 muestran el comportamiento de la industria para el año 2006 y 2011 respectivamente, obteniendo un MTTR de aproximadamente 2 y 6 horas respectivamente. Para el caso del MTBF, se obtiene aproximadamente 20 y 26 respectivamente. Esta diferencia y variación, se explica sólo por la falta de estandarización de información entre Minerías, particularmente definir cuales son las detenciones consideradas como fallas, el tiempo desde el que existe una falla, entre otros aspectos.

Respecto de información analizada, DRT es la que tiene uno de los mejores MTTR de

la industria y esta en el cuadrante de con los mejores MTBF.

Sin embargo, es necesario revisar más en detalle cuales son las detenciones que se considera como imprevistas y desde que tiempo en adelante se considera una detención como una falla.

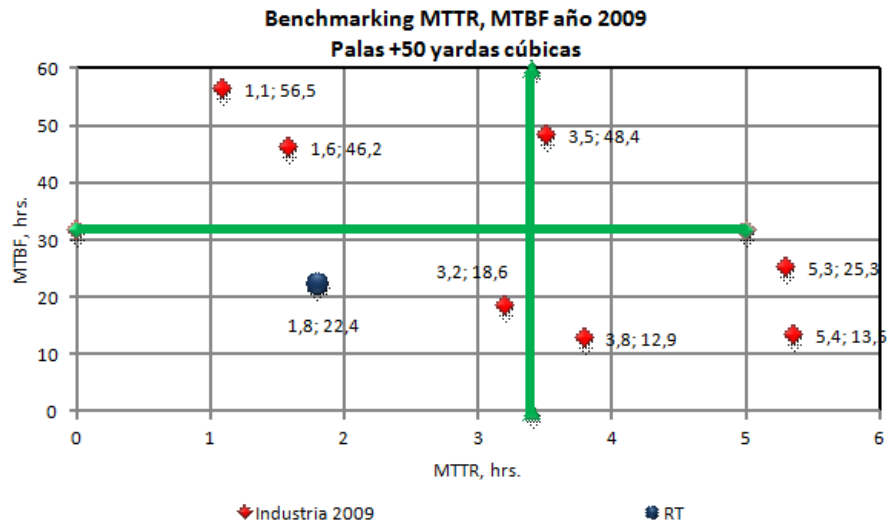


Figura N° 30, MTTR v/s MTBF, datos ENCARE 2009 y pa las DRT

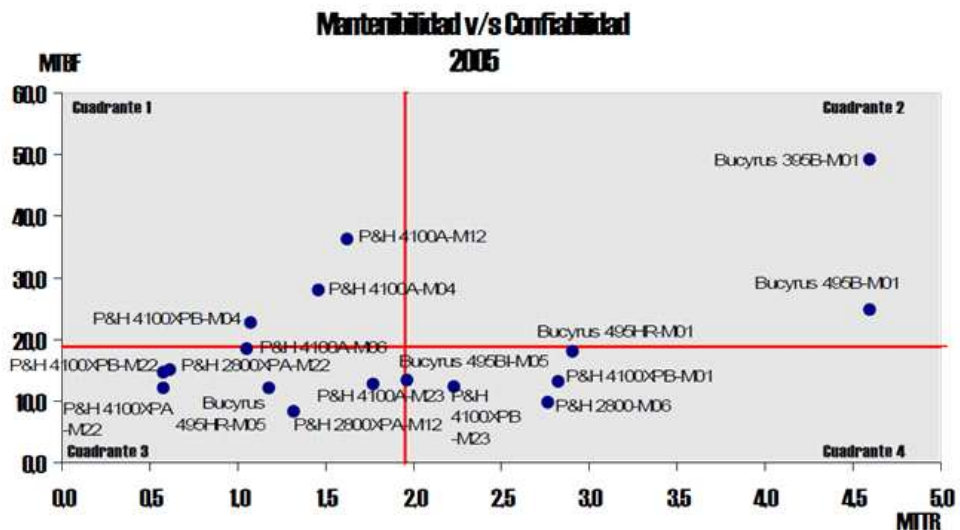


Figura N° 31, MTTR v/s MTBF, datos ENCARE 2006

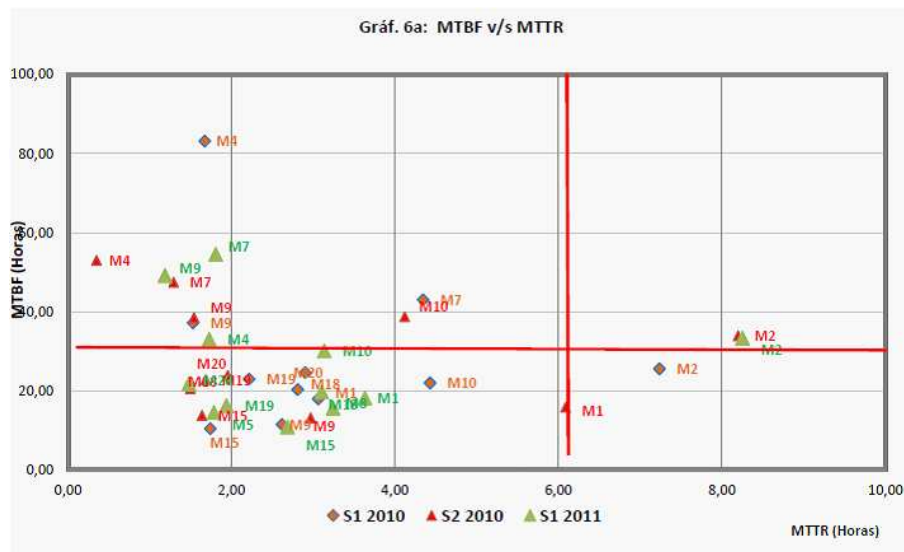


Figura N°32, MTTR v/s MTBF, datos ENCARE 2006

Respecto del costo total de los equipos de carguío, la gráfica 33 muestra el benchmarking para el año 2009.

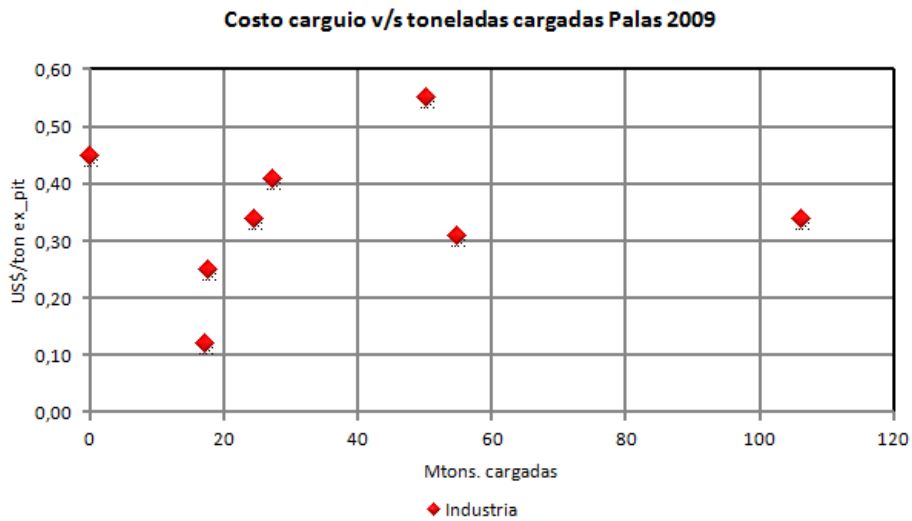


Figura N°33Figura 4.9, MTTR v/s MTBF, datos ENCARE 2006

CAPITULO 5, ANALISIS DE DETENCIONES

5.1.- Detenciones por sistemas

Se analizó base de datos de detenciones de palas 4100 XPB, desde año 2005 al 2011. La base fue compuesta con información de sistema de despacho Mina (Dispatch y Jigsaw), tabla 4. La base tiene un total de 14 mil registros y 35 mil horas de detención. La información que se registra considera 10 campos (año, equipo, descripción de la detención, tiempo, responsable, tipo, sistema, subsistema, especialidad, comentario).

Año	Equipo	Descripción	Tiempo	Responsable	Tipo	Sistema	Subsistema	Especialidad	Comentario
2011	204	Falla de drive de armadura hoist 1 y 2, se chequean encontrando tarjeta AMC-DC suelta sin comunicacion de fibra optica, se normaliza y se entrega el equipo.	2,45	Minepro	Imprevisto	Hoist	Gabinete de control	Eléctrica	Gabinete de control
2011	204	Manguera rota de la matris de aire, que alimenta la corona, se repara quedando operativo el equipo.	1,35	Minepro	Imprevisto	Lubricación	Líneas y fitting	Mecánico Lubricador	Líneas y fitting
2011	205	Se cortan los cables del trineo, se reponen los dos cables quedando operativo el equipo.	0,55	Codelco	Incidente	Alimentación	Trineo, lanza		Trineo, lanza
2011	206	No desaplica freno crowd, se encuentra swicht freno crowd fuera de posicion, se coloca en posicion se calibra limite lineal, se encuentra en rango 6.3, se calibra a 4.9, se prueba quipo quedando operativo.	0,22	Minepro	Imprevisto	Crowd	Frenos	Eléctrica	Frenos

Tabla N° 4, Base de datos detenciones años 2005 – 2011

La primera información que se analiza corresponde a la distribución de las detenciones por fuera de servicio, en cuatro categorías, las que son : detenciones por falla de operación, detención imprevista, detención por incidente y detención programada. El gráfico N° 34 ilustra el comportamiento desde el 2005 al 2011. Las detenciones por incidente y por fallas operacionales, tienen una media de 4,3% y 7% respectivamente. Juntas representan el 11% de las detenciones. Por otro lado, las detenciones restantes, se reparten casi en la misma proporción, entre detenciones programadas e imprevistas (con un 45,2% y 43,5% promedios para el periodo analizado, 2005 – 2011).

Es relevante indicar, que una parte importante de las detenciones son provocadas por temas operacionales, los que deben ser gestionados para disminuir el impacto que ellas provocan en la disponibilidad de las máquinas.

Por otra parte, se observa un incremento en el tiempo fuera de servicio destinado a las reparaciones programadas en la flota de palas y una disminución en las detenciones imprevistas, representado por la línea de tendencia en la figura 5.1, en la medida que

transcurren los años y la edad de las máquinas, aunque se evidencia poca correlación.

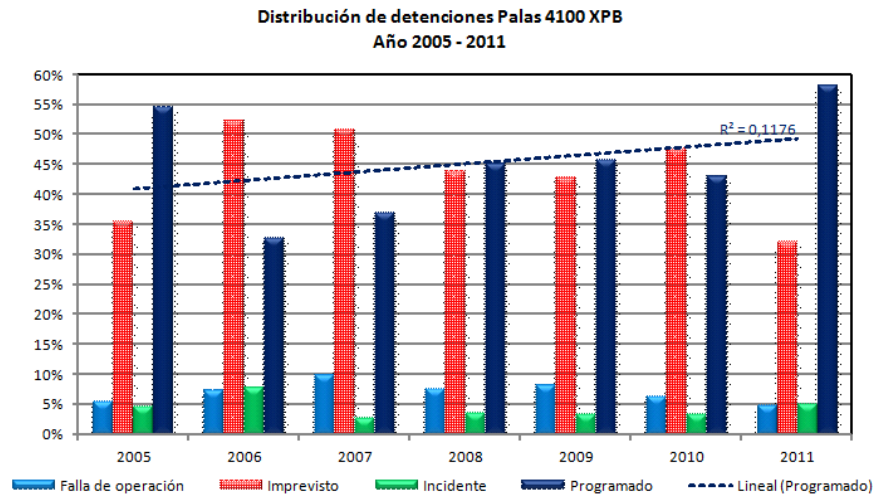


Figura N° 34, Distribución de detenciones palas 410 0 XPB, Año 2005 – 2011

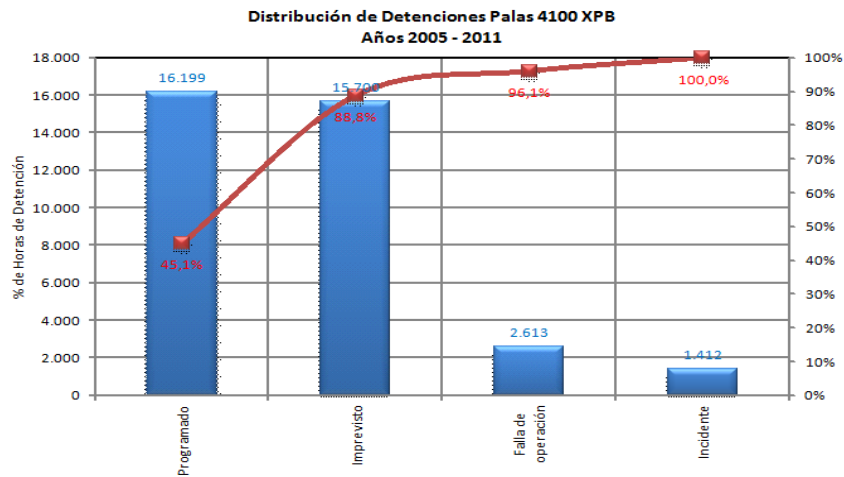


Figura N° 35, Distribución de detenciones palas 410 0 XPB, Año 2005 – 2011

El gráfico N° 35 muestra el resumen de tiempos para el mismo periodo. Se contabilizó 16.199 hrs. de detenciones programadas, 15.700 hrs. de imprevistos, 2.613 hrs. de fallas operacionales y 1.422 hrs. por incidentes operacionales (35.932 hrs. detención).

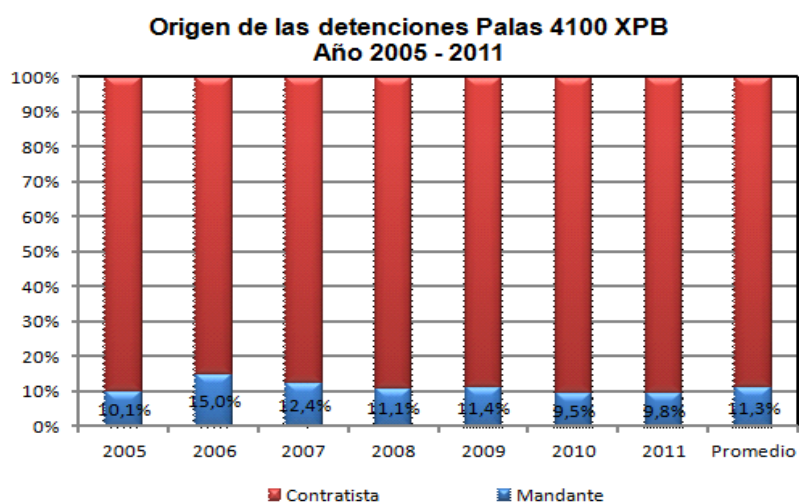


Figura N° 36, Origen de las detenciones palas 4100 XPB, Año 2005 – 2011

En relación a la responsabilidad de las detenciones que se presentan, el 11% de las detenciones, es provocada por la operación de las máquinas, por concepto de fallas de operación e incidentes, lo que se ve en gráfico N° 36. Esto genera una primera orientación estratégica, cual es la de trabajar en disminuir las detenciones por incidentes y fallas operacionales.

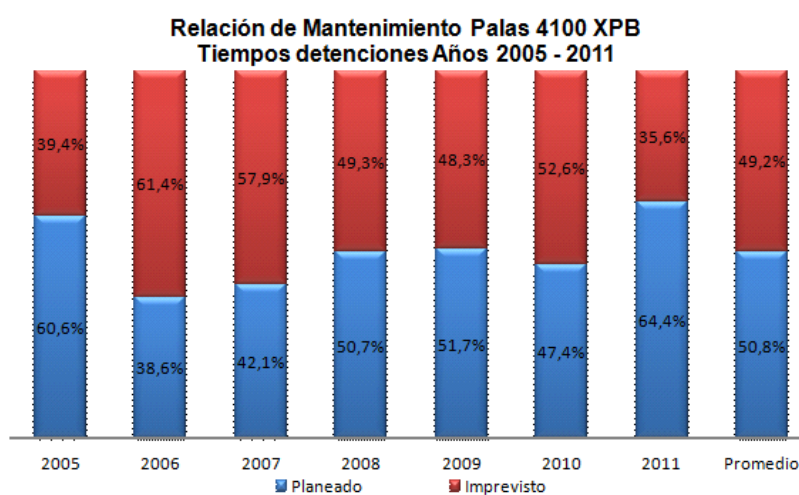


Figura N° 37, Relación de Mantenimiento palas 4100 XPB, Año 2005 – 2011

En gráfico N° 37, se aprecia la relación entre detenciones programadas e imprevistas. Existe una tendencia al aumento de detenciones programadas con el tiempo, lo que coincide con el aumento de edad de las máquinas.

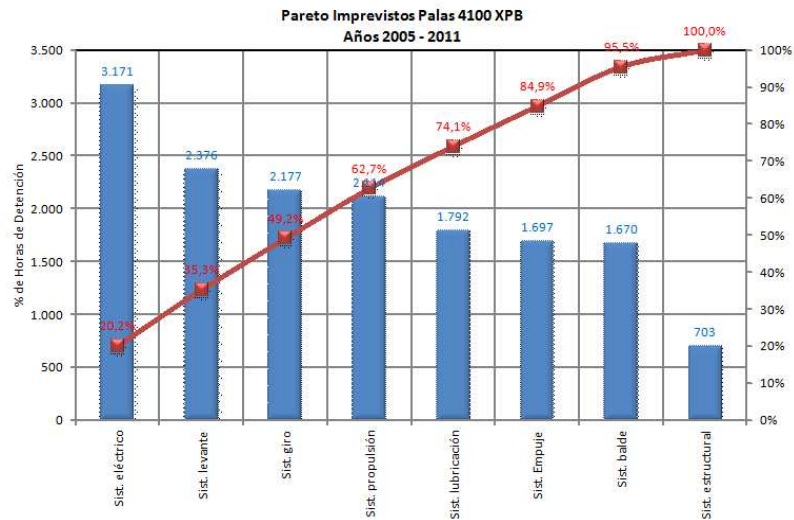


Figura N° 38, Pareto imprevistos por sistemas palas 4100 XPB, Año 2005 – 2011

Tipo	Especialidad	Total
Falla de operación		2.613
Imprevisto	Eléctrica	8.362
	Mecánica	5.780
	Mecánico Lubricador	1.400
	Soldadura	159
Total Imprevisto		15.700
Incidente		1.412
Programado		16.199
Total general		35.924

Tabla N°5, Imprevistos por tipo de detención 2005 – 2011

El gráfico N° 38 muestra como se distribuyen las detenciones imprevistas para el periodo 2005 – 2011. Los sistemas más relevantes en las detenciones imprevistas son los siguientes :

- Sistemas eléctrico, con un 20,2% y 3.171 horas.
- Sistema levante, con un 15,1% y 2.376 horas.
- Sistema giro, con 13,9% y 2.177 horas.
- Sistema propulsión, con un 13,5% y 2.114 horas.
- Sistema Lubricación, con un 11,4% y 1.792 horas.

- Sistema de empuje, con un 10,8% y 1.697 horas.

Más adelante se realiza una separación por especialidad de las detenciones imprevistas. Sin embargo, se plantea una segunda orientación estratégica, relacionada con disminuir fallas eléctricas (8.362 hrs). Una tercera orientación estratégica tiene que ver con la disminución de los imprevistos mecánicos (5.780 hrs), según indicado en tabla 5.2.

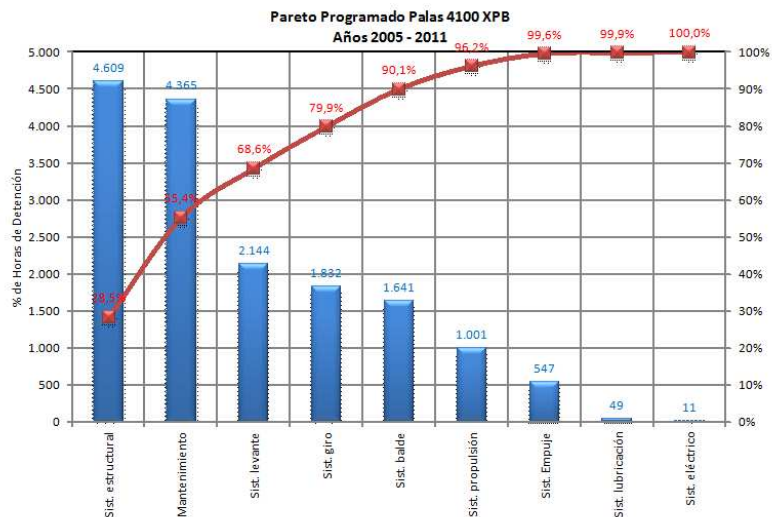


Figura N° 39, Diagrama de Pareto Programado palas 4 100 XPB, Año 2005 - 2011

En el caso de las detenciones programadas, las detenciones se focalizan en los siguientes sistemas (gráfico 39) :

- Sistema estructural, con un 28,4% y 4.609 horas.
- Mantenimiento, con un 26,9% y 4.365 horas.
- Sistema levante, con un 13,2% y 2.144 horas.
- Sistema giro, con un 11,3% y 1.832 horas.

Una cuarta orientación estratégica se relaciona con el mantenimiento de los sistemas

estructurales de las máquinas, por el alto grado de impacto que se tiene en las detenciones programadas de las máquinas.

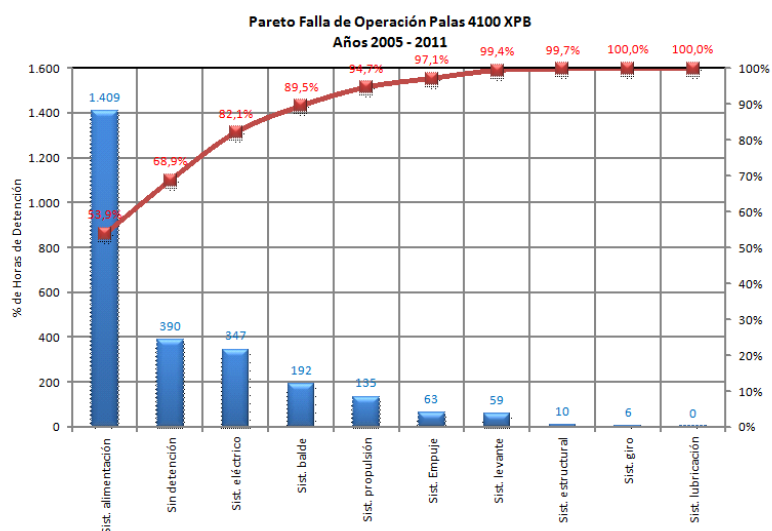


Figura N°40, Diagrama de Pareto Fallas de Operación Año 2005 – 2011

En relación a las fallas de operación, gráfico 40, las más relevantes son las siguientes :

- Sistema alimentación (cable de alimentación, coplas, lanza y trineo), con un 53,9% y 1.409 horas.
- Sin atención (fuera de servicio en sistema, sin atención y detención), con un 14,9% y 390 horas.
- Sistema eléctrico (fallas inducidas, boom jacket, swing impact, etc.), con un 13,3% y 347 horas.

En relación a los incidentes, los más relevantes son en los siguientes sistemas (gráfica N°41) ;

- Sistema estructural, con un 47,5% y 698 horas.
- Sistema alimentación, con un 25,2% y 356 horas.
- Sistema balde, con un 9,8% y 138 horas.

Los daños que se producen se deben a condiciones operacionales presentes en la zona de carga, rocas de gran tamaño que caen desde la frente o que se encuentran en la zona de trabajo y que las máquinas impactan, provocando daños en las estructuras y componentes de las mismas.

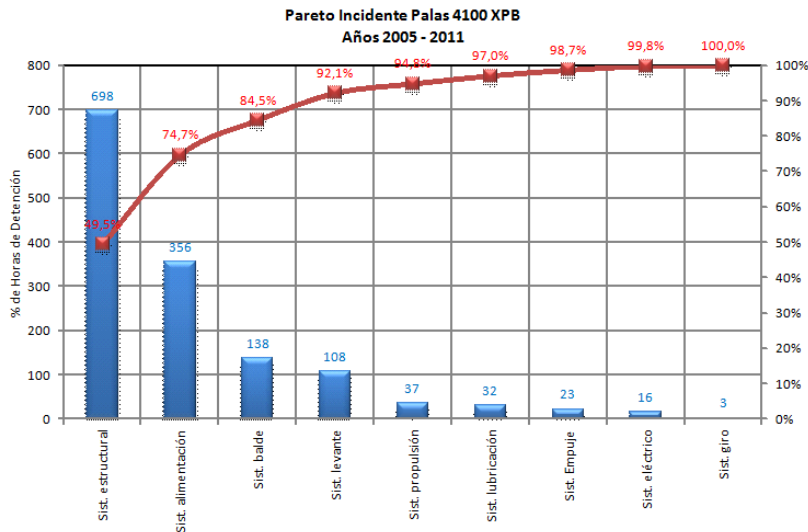


Figura N° 41, Pareto Incidentes palas 4100 XPB, Año 2005 – 2011

En gráfico N° 42, se muestra el gráfico de Pareto de los imprevistos, por subsistemas, para el mismo periodo. Existe una gran cantidad de subsistemas involucrados, entre los que se destacan : Fallas de componentes en gabinetes eléctricos, sistema de abrir balde (SAB), motores, frenos, blowers, inyectores líneas y fitting del sistema de lubricación, componentes del sistema de rodado, entre otros. Con la base de datos disponible no es posible identificar componentes menores involucrados en las fallas. Respecto de los modos de falla, no se cuenta con información para identificar cuales son los más relevantes. Esta información se complementará con las detenciones por especialidad, más adelante en esta sección.

En gráfico N° 43, se muestra gráfico de Pareto de las fallas operacionales más relevantes, por subsistemas, entre las que se destaca, cortes de energía, problemas de suministro (variación de tensión), con el 53% de las detenciones (1386 horas), siguiendo con el 20% las malas imputaciones de códigos (543 horas en el periodo indicado), que se traducen en falsas detenciones, sin atención y detención de las máquinas, por malas imputaciones de operador, siguiendo en importancia lo relacionado con el cambio de elementos de desgaste, por fracturas, cambios por desgaste excesivo, pérdida de los mismos (6%, 156 hrs. en el periodo).

En gráfico N° 44, se muestra gráfico de Pareto de los incidentes más relevantes, entre los que se destaca, detenciones por caídas de contrapesos, por impactos (34%, 478 horas en el periodo), trineo y lanza de cola (25%, 356 hrs.), elementos de desgaste (9,6%, 135 hrs.), cables de levante (7,7%, 108 hrs.), daños en escalas y plataformas (7,3%, 103 hrs.). Estas detenciones son provocadas esencialmente debido a impactos en componentes de las palas, por caída de rocas de gran volumen desde el frente, por trabajar muy cerca de los cortes, por no retirar estas rocas de la zona de carga, fundamentalmente. Si bien, como se vio, el porcentaje respecto del total de detenciones es de un 11% aproximadamente, no está contemplado recursos del servicio para atender estas detenciones y cuando se presentan, se atienden dejando de realizar otras actividades planeadas. Por otra parte, si bien es factible realizar las correcciones en poco tiempo y entregar las máquinas a la operación, muchas de estas malas prácticas provocan con posterioridad daños mayores, principalmente en elementos estructurales de las palas, que provocan detenciones mucho más largas que las que las originaron, por ejemplo, los impactos en pluma del mango, el levante y caída de la misma (boom jacket), provoca grietas en las uniones soldadas y planchas, que toman mucho más tiempo en ser reparadas, respecto del evento que lo provoco.

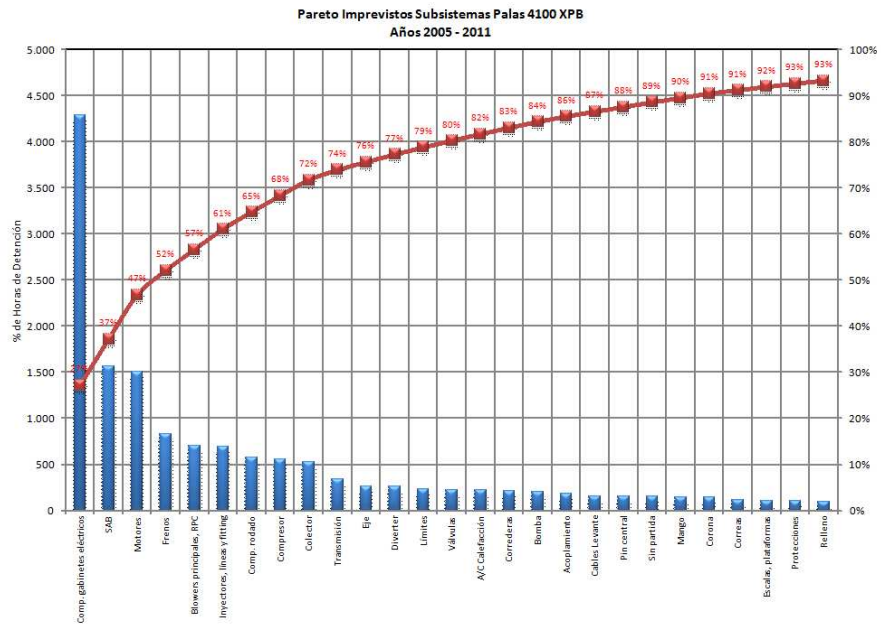


Figura N° 42, Diagrama de Pareto Imprevisto palas 4 100 XPB, Año 2005 – 2011

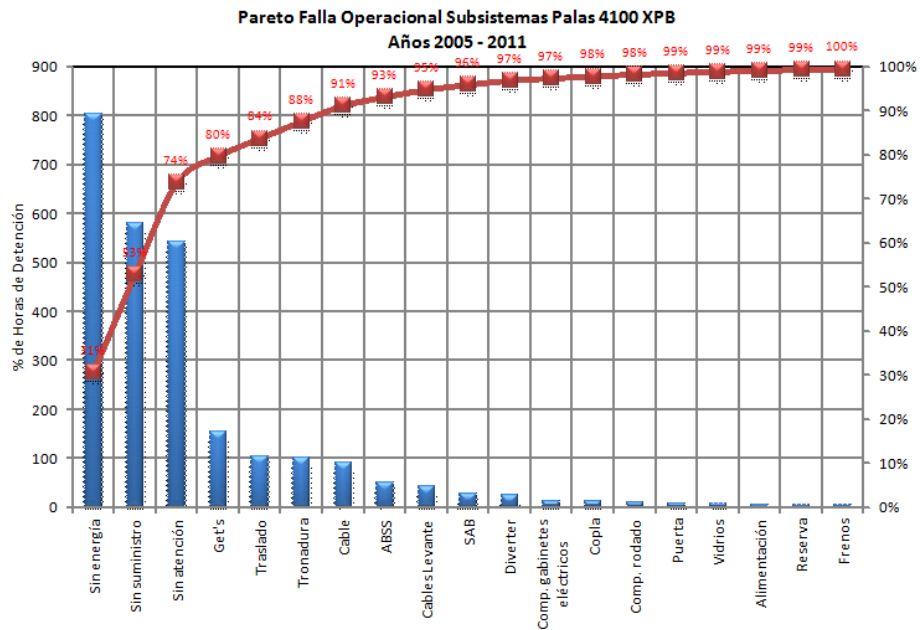


Figura N° 43, Diagrama de Pareto Falla Operacional 4100 XPB, Año 2005 – 2011

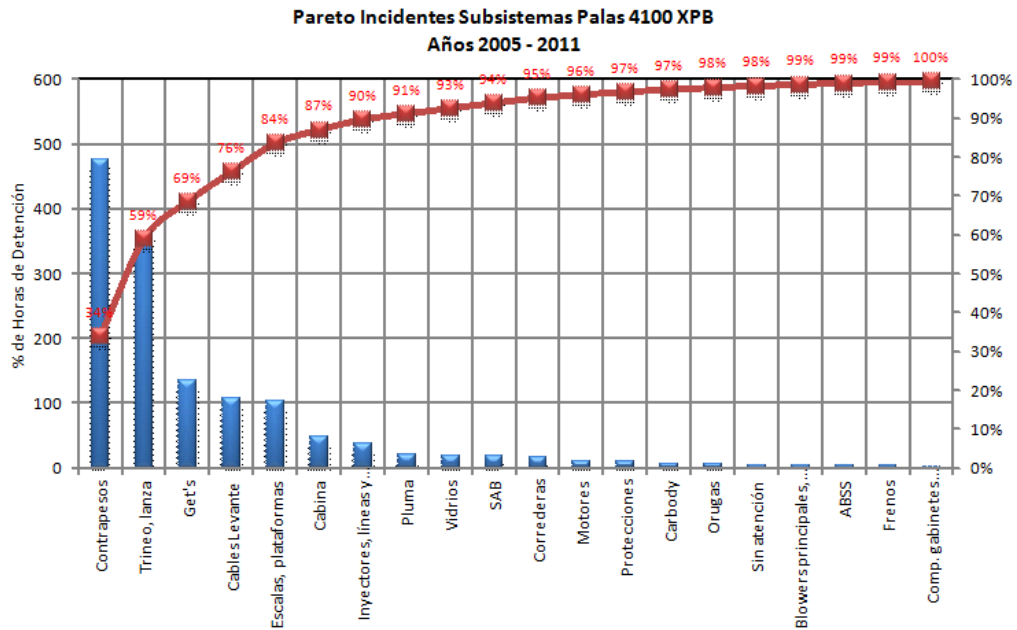


Figura N° 44, Incidentes Subsistemas 4100 XPB, Año 2005 – 2011

El gráfico N° 44 muestra como se ha distribuido el tiempo de detención por imprevisto y programado, por especialidad, para el periodo 2005 – 2011. En el caso de los imprevistos, las fallas son esencialmente de tipo eléctricas y mecánicas. Las detenciones programadas, el origen de las detenciones tienen que ver con aspectos mecánicos y de soldadura. Lo anterior esta medido como origen de la detención, es decir, lo más relevante a realizar en Imprevistos o Mantenimiento Programado y no tiene que ver con los recursos totales asignados al mantenimiento y reparaciones de las máquinas y la dotación disponible para el servicio. Es poco frecuente que sólo aspectos eléctricos o de lubricación den origen a un Mantenimiento Programado Mayor. En gráfico N° 46, se aprecia gráfica de Pareto de detenciones para fallas de tipo eléctricas. Se aprecia que las más relevantes se encuentran en los subsistemas de Gabinetes eléctricos, motores eléctricos, blowers y componentes de potencia (breakers, contactores), protecciones (diverter, límites), compresor, sistema de aire acondicionado y calefacción de cabina y problemas de partida (luego de cortes de energía), ratificando la segunda orientación estratégica, la disminución de fallas

eléctricas.

En gráfico N° 47, se aprecia gráfica de Pareto de detenciones para fallas de tipo mecánicas. Las detenciones más importantes se encuentran en los subsistemas sistema de abrir balde (pestillo, balancín, cable abrir balde), componentes rodado (zapatas, rodillos, pernos), motores (falla eléctrica, la parte mecánica es el cambio), transmisiones, ejes, colector (falla eléctrica, la parte mecánica es el cambio), acoplamientos, Blowes (falla eléctrica, la parte mecánica es el cambio), entre otros. Esto tiene que ver con la tercera orientación estratégica, la disminución de fallas mecánicas.

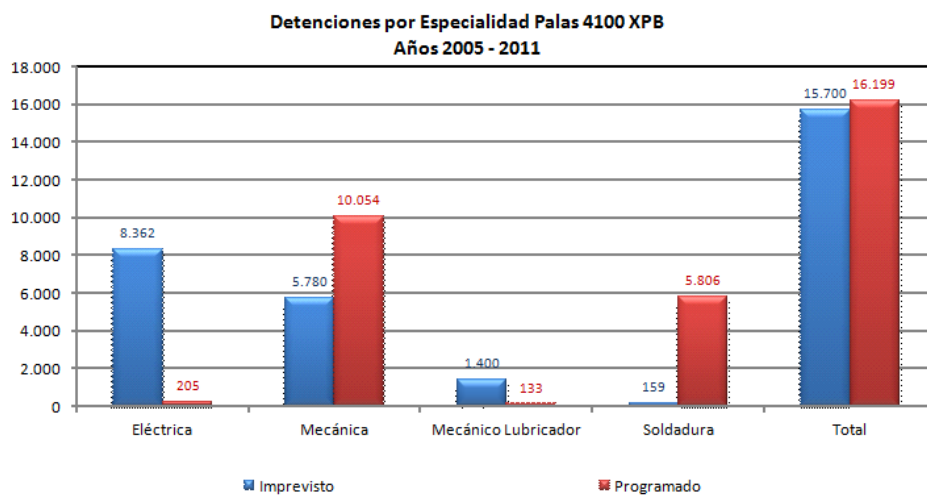


Figura N° 45, Imprevistos por especialidad 4100 XPB , Año 2005 – 2011

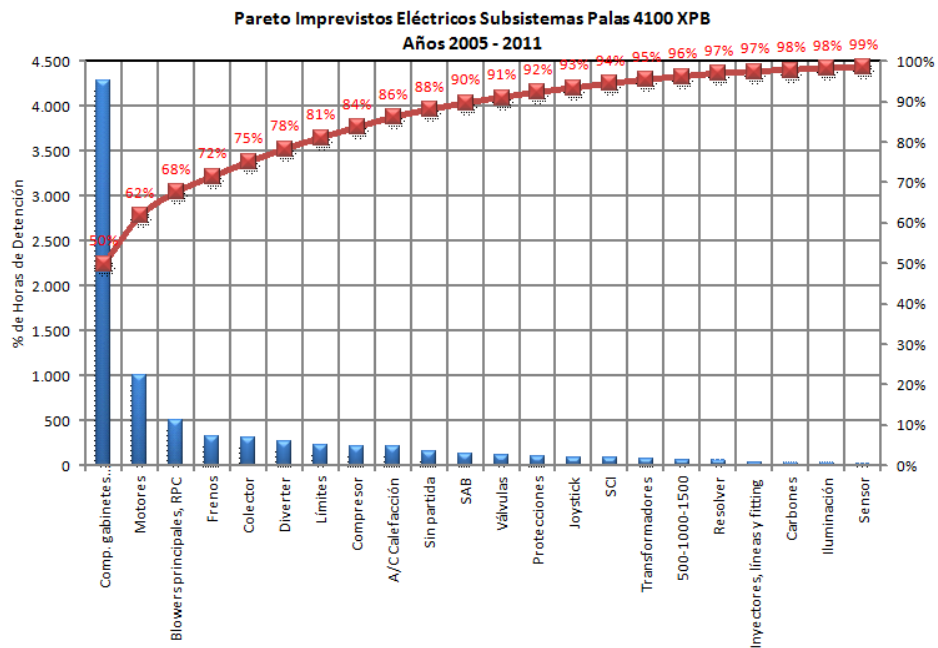


Figura N°46, Imprevistos Eléctricos palas 4100 XPB , Año 2005 – 2011

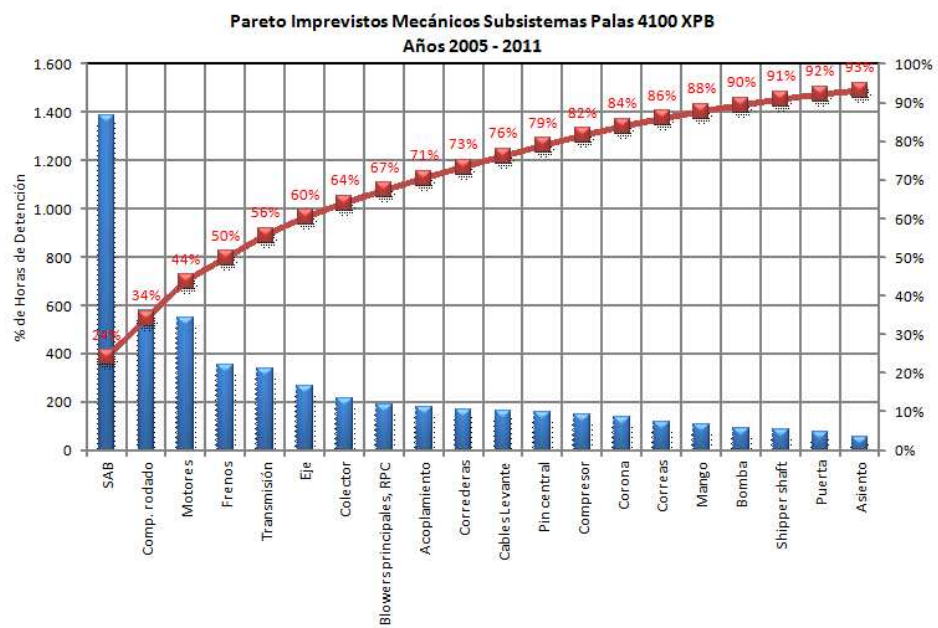


Figura N°47, Imprevistos Mecánicos palas 4100 XPB, Año 2005 – 2011

5.2.- Detenciones y fallas relevantes históricas

En tabla N°6, se listan las detenciones para palas 4100 XPB, con duraciones de más de 3 días, para el periodo 2005 – 2011. Se contabilizó un total de 378 días de detención, 247 de los cuales se relacionan con detenciones por reparaciones estructurales, 116 días por reparaciones mecánicas y 15 por reparaciones eléctricas. Sin embargo, de en los 247 días de reparaciones estructurales, al menos 120 días se comparten con reparaciones mecánicas (cambio de conjunto de corona de giro). La tabla 6 muestra por especialidad, los sistemas y componentes que más intervenciones han tenido en el periodo.

Año	Pala	Periodo	Días	Especialidad	Descripción	Comentario
2005	204	26-Sep-05 / 09-Oct-05	12,7	Estructural	Reparación revolving frame y pluma.	Revolving
2005	205	23-Jan-05 / 14-Feb-05	19,7	Mecánica	Giro de pista superior, cambio de pernos corona.	Corona
2006	205	15-Feb-06 /24-Feb-06	9,5	Estructural	Reparación revolving frame y pluma.	Revolving
2007	204	23-Aug-07 / 27-Aug-07	3,9	Mecánica	Cambio de orugas, tensoras, propulsoras.	Orugas
2007	204	06-Dec-07 / 10-Dec-07	3,8	Eléctrica	Cambio collector, compresor.	Collector
2007	205	09-May-07 / 14-May-07	5,8	Mecánica	Cambio de tuerca pasador central.	Pin central
2007	205	05-Nov-07 / 09-Nov-07	4,4	Estructural	Reparación tambor hoist, diente de corona, bastidor, balde.	Tambor
2008	204	29-Aug-08 / 03-Sep-08	5,1	Mecánica	Cambio bastidor, daños estructurales y mecánicos.	Bastidores
2008	204	03-Sep-08 / 08-Sep-08	4,4	Eléctrica	Cambio collector.	Collector
2008	204	09-Sep-08 / 15-Sep-08	5,9	Mecánica	Grieta en pista superior e inferior dañadas.	Corona
2008	204	23-No-08 / 27-Nov-08	3,9	Estructural	Reparación balde, cambio compresor.	Balde
2008	204	17-Dec-08 / 21-Dec-08	4,1	Estructural	Reparación corredera, pillow block	Corredera
2008	205	19-Jan-08 / 22-Jan-08	3,2	Mecánica	Reparación diente corona.	Corona
2008	205	22-feb-08 al 03-May-08	69,3	Estructural	Cambio corona de giro, reparación pluma, carbody, cambio bastidores.	Corona
2008	205	21-May-08 / 25-May-08	3,5	Mecánica	Reparación polea punta pluma.	Polea pluma
2008	205	18-Jul-08 / 21-Jul-08	4,0	Mecánica	Reparación transmisión crowd.	Transmisión crowd
2008	205	13-Nov-08 / 16-Nov-08	3,0	Mecánica	Cambio balde.	Balde
2009	204	4-Feb-09 / 9-Feb-09	5,0	Estructural	Reparación corredera, pillow block	Corredera
2009	204	15-Apr-09 / 20-Apr-09	5,4	Estructural	Reparación balde, cambio motor swing, reapriete de pernos corona de giro.	Balde
2009	204	22-Aug-09 / 25-Aug-09	3,1	Mecánica	Ajustes shipper shaft, cambio motor crowd.	Motor crowd
2009	204	24-Oct-09 / 28-Oct-09	3,4	Estructural	Reparación fisuras carbody, cambio de rollers.	Carbody
2009	204	13-Nov-09 / 1-Jan-10	49,0	Estructural	Cambio corona de giro, reparación pluma, carbody, reparación bastidor derecho.	Corona
2009	205	31-Mar-09 / 06-Apr-09	5,5	Mecánica	Reparación transmisión hoist.	Transmisión hoist
2009	205	23-May-09 / 27-May-09	3,4	Mecánica	Cambio transmisión de giro, motor crowd, cambia puerta balde quebrada.	Transmisión swing
2009	205	27-Jun-09 / 11-Jul-09	14,2	Mecánica	Cambio corona transmisión hoist, soldadura oreja tambor hoist.	Transmisión hoist
2009	205	31-Jul-09 / 04-Aug-09	3,8	Estructural	Reparación balde.	Balde
2009	205	07-Sep-09 / 11-Sep-09	4,0	Eléctrica	Cambio collector, reparación balde.	Collector
2010	204	01-Jan-10 / 04-Jan-10	3,3	Mecánica	Cambio polea tensora, ajustes	Orugas
2010	204	22-Agu-10 / 26-Aug-10	3,4	Estructural	Reparación balde.	Balde
2010	205	21-Oct-10 / 24-Oct-10	3,0	Estructural	Reparación contrapeso, cambia mango y balde.	Contrapeso
2010	205	20-Jan-10 / 1-Feb-10	17,2	Estructural	Reparación carbody, pluma, balde, correderas, gantry.	Carbody
2010	205	21-May-10 / 26-May-10	4,9	Estructural	Reparación corredera, cambio balde, soldadura aro, cambia motor swing trasero.	Corredera
2010	205	7-Sep-10 / 11-Sep-10	3,3	Estructural	Cambio transmisión de giro, reparación pluma.	Pluma
2010	205	20-Dec-10 / 24-Dec-10	4,1	Mecánica	Reparación transmisión hoist, reparación balde.	Transmisión hoist
2011	204	10-Aug-11 / 13-Aug-11	3,1	Eléctrica	Cambio motor swing izquierdo, ajuste correderas y shipper.	Motor crowd
2011	204	02-Oct-11 / 23-Oct-11	6,2	Estructural	Reparación pluma.	Pluma
2011	205	17-Mar-11 / 23-Mar-11	5,7	Estructural	Montaje bumpers, reparación correderas, reparación mango.	Mango
2011	205	02-Jun-11 / 01-Jul-11	28,6	Mecánica	Reparación transmisión hoist, fisura tambor, reparación pluma, transmisión crowd.	Transmisión hoist
2011	205	04-Dec-11 / 16-Dec-11	12,2	Estructural	Cambio bastidores, daños estructurales y mecánicos.	Bastidores
2011	206	18-Feb-11 / 08-Mar-11	17,3	Estructural	Cambio rodillos, tensoras, propulsoras, soldadura bastidores.	Bastidores
2011	206	05-Aug-11 / 08-Aug-11	3,3	Estructural	Cambio balde mango.	Mango

Tabla N°6, detenciones mayores 2005 - 2011

En relación a las reparaciones estructurales, mecánicas y eléctricas de mayor incidencia, son mostradas en tabla 7 :

Estructural		Mecánica		Eléctrica	
	Días		Días		Días
Corona	118	Transmisión hoist	52	Collector	12
Bastidores	29	Corona	29	Motor crowd	3
Revolving	22	Orugas	7		
Carbody	21	Pin central	6		
Balde	16	Bastidores	5		
Corredera	14	Transmisión crowd	4		
Pluma	9	Polea pluma	4		
Mango	9	Transmisión swing	3		
Tambor	4	Motor crowd	3		
Contrapeso	3	Balde	3		
Total	247	Total	116	Total	15

Tabla N°7, Detenciones mayores por especialidad 20 05 – 2011

5.3.- Plan de Negocio

La figura 48, muestra el movimiento de materiales en MRT, hasta el año 2044. Los equipos con los que se carga la mayor componente del mismo, corresponde a la flota de palas de cables (63%), seguida de palas hidráulicas y de cargadores frontales.

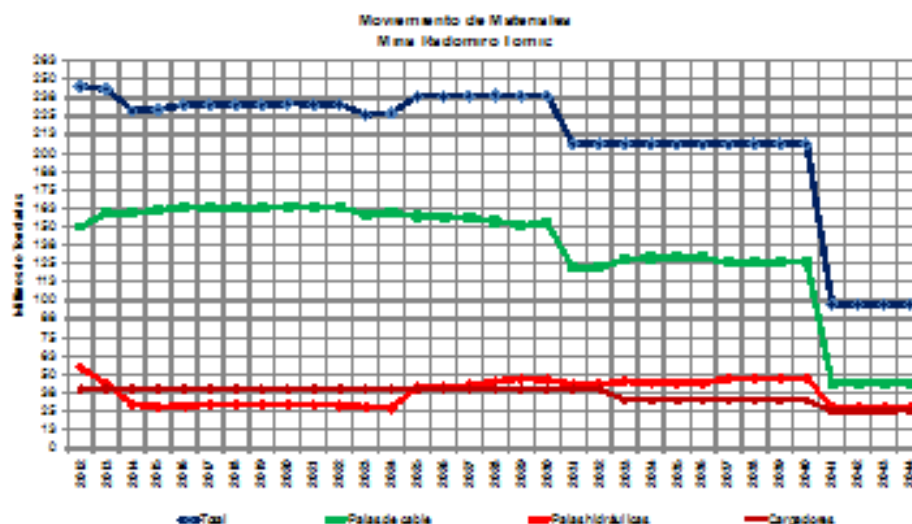


Figura N°48, Movimiento de materiales PND 2012

En términos del costo del mantenimiento de los equipos de carguío, corresponde a la flota de palas al que tiene el costo más bajo, en el PND de DRT, mostrado en la figura 49.

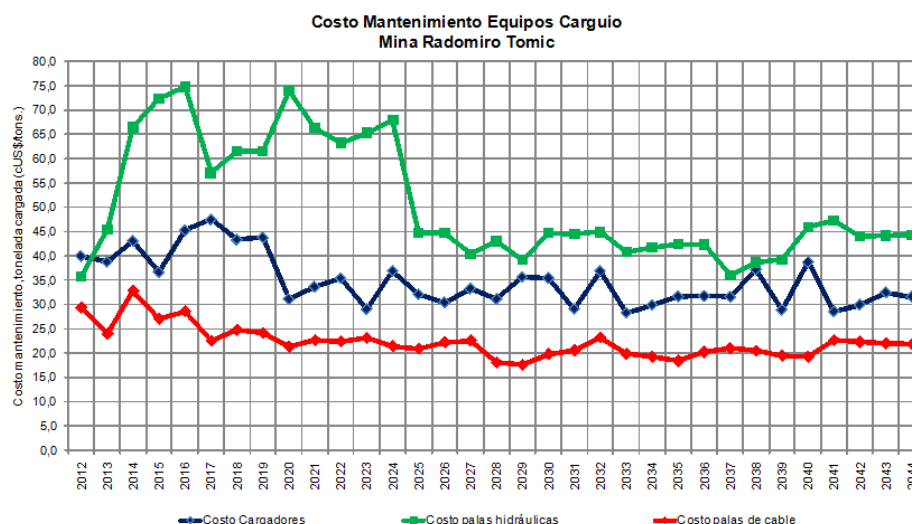


Figura N° 49, costo de mantenimiento equipos de car guío PND 2012

Se cuenta en la actualidad con un servicio contratado de mantenimiento para la flota de palas, en donde el gasto más relevante corresponde al gasto por repuestos y componentes, seguido del gasto en servicio, reparaciones estructurales menores y mayores de balde, mostrado en tabla 8.

Porcentaje	Ítem
37,2%	Repuestos y componentes
30,5%	Costo fijo del servicio, mano de obra
13,5%	Reparaciones estructurales de baldes
5,9%	Elementos de desgaste
5,8%	Reparaciones estructurales componentes
3,7%	Cables de levante y suspensión
3,4%	Gasto en lubricantes

Tabla N° 8, Distribución del gasto servicio de mant enimiento Palas PND 2012 DRT

5.4.- Desviaciones entre PND y necesidades reales

Hasta el PND 2011, no se ha reflejado algunos requerimientos específicos de detención y gastos de la flota de palas, en particular, detenciones mayores por sustitución cíclica de componentes del sistema de giro, contempladas entre las 50 a 60 mil horas de operación, 10 años de operación. No se ha reflejado tampoco la necesidad de realizar otras reparaciones estructurales a la mitad del periodo anterior, es decir, a los 5 años de operación o 25 a 30 mil horas de operación.

En anexo N°02, se muestra la estimación de intervenciones en función de las horas de operación de las máquinas, correspondientes a sustitución y reacondicionamiento cíclico.

Respecto de los gastos, no se incluye los gastos asociados a las reparaciones estructurales mayores.

CAPITULO 6, ALTERNATIVAS DE SERVICIOS

El motivo por el cual DRT ha ejecutado las actividades de mantenimiento con recursos externos, obedece a una definición estratégica, centrarse en el giro esencial del negocio, así como económica, menor valor actualizado de gastos de mantenimiento de la flota de equipos. El mantenimiento de la palas P&H en DRT se ha desarrollado desde el inicio del proyecto con un contrato de mantenimiento Marc, con JoyGlobal.

Es importante tener claridad respecto de los aspectos centrales de las alternativas que se presentan como viables, para decidir su aplicabilidad en DRT.

6.1.- Alternativas Estratégicas de Servicio

Se plantea cuatro alternativas estratégicas para la ejecución del servicio de mantenimiento de la flota de palas P&H de DRT :

- I. Servicio de mantenimiento externo con representante del fabricante.
- II. Servicio de mantenimiento interno.
- III. Servicio de mantenimiento externo con proveedor alternativo.
- IV. Servicio integrado, con operación y mantenimiento

Alternativa I. Corresponde a un servicio de mantenimiento integral, con el representante de fábrica de los equipos, JoyGlobal para el caso de DRT y actualmente se cuenta con este tipo de servicio en DRT, contrato modalidad Marc.

Se realiza todas las actividades de mantenimiento requeridas por los equipos. No están incluidas en las tarifas estándar las actividades de reparación mayor, tal como las reparaciones estructurales en componentes (pluma, bastidores, mango, carbody, revolving frame). Estas pueden ser realizadas con el contratista principal, canceladas como actividades fuera de contrato, o ser realizadas por el mandante en forma

independiente, con recursos distintos a los del contrato de mantenimiento, licitando estas reparaciones.

En esta alternativa, el contratista es responsable de aportar los componentes de recambio, así como todos los repuestos necesarios para el mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos. El servicio contratado realiza toda la gestión de abastecimiento y gestión de bodega, para lo cual el mandante entrega sólo espacio físico en faena. La ingeniería de mantenimiento, es decir, actividades de Planificación, Programación, Análisis de Fallas, Inspección Técnica y Predictiva, entre otras, forman parte del servicio. El contratista puede realizar la subcontratación de algunas actividades de mantenimiento o reparación, tales como sistema contra incendio, aire acondicionado, reparación de cabina, limpieza técnica de los equipos.

Alternativa II. Se realiza las actividades de mantenimiento con mano de obra contratada por la empresa dueña de los equipos, en este caso Codelco. Se requiere contar con stock de componentes mayores de recambio, así como stock de repuestos para reparar estos componentes, además de los necesarios para la atención por mantenimiento y fallas de la flota de palas, siendo necesario disponer de recursos adicionales para gestionar la compra de todos los insumos necesarios para las actividades de mantenimiento, además de disponer de espacio físico en las bodegas disponibles en DRT.

Esta alternativa no es autosuficiente en su totalidad y requiere de todas maneras disponer de servicios externos para realizar actividades que el recurso interno no puede satisfacer, ya sea por carencia de recursos, como de instalaciones y conocimiento más detallado. Dentro de los servicios adicionales, se debe considerar para soportar la alternativa II :

- Reparación de componentes eléctricos, tales como motores eléctricos, colector, transformadores. Se requiere de taller con personas y equipamiento especial (mecánica de banco, tornería, hornos, bobinado de motores, etc.).

- Reparación de componentes mecánicos, tales como transmisiones, poleas, tambores. Se requiere de taller personas y equipamiento especial (mecánica de banco, tornería, soldadura, alivio de tensiones, etc.).
- Reparación mayor de baldes y componentes estructurales, actividad que debe ser realizado fuera de las instalaciones de DRT, por aspectos de seguridad. Adicionalmente se deberá contar con contrato de soldadura de mantenimiento, para la atención en terreno, ya que de existir un recurso interno, deberá estar orientado a las actividades menores de soldadura.
- Limpieza técnica de equipos, sistema contra incendio, aire acondicionado, cabinas. De forma similar al caso de la alternativa I, se deberá contratar algunas actividades de mantenimiento o reparación.
- Esta alternativa no deja ninguna exclusión al servicio de mantenimiento, por lo que es responsable total del mantenimiento del equipo. Existe la alternativa de contar con convenios de repuestos o de componentes reparados con un proveedor externo. Por otra parte, se puede realizar la compra de los componentes necesarios al inicio de un proceso de internalización.

Alternativa III. Un servicio de mantenimiento externo con proveedor alternativo, consiste fundamentalmente de la contratación de la mano de obra necesaria para las actividades de mantenimiento, con aporte del mandante de todos los componentes y repuestos necesarios para soportar el servicio, siendo el contratista responsable de gestionar el cambio y las reparaciones durante la duración del servicio. Se considera el suministro de repuestos, servicios, mano de obra y todo lo necesario para realizar las reparaciones de componentes por parte del mandante. No hay proveedor alternativo distinto del representante oficial que tenga la capacidad de realizar reparaciones de componentes con un riesgo razonable, por lo que necesariamente se deberá buscar servicios con el representante, por parte del mandante. Se considera que es el contratista quien realizará toda la gestión de reparaciones, la que deberá estar incluida en el costo del servicio. El mandante deberá considerar recursos internos y servicios para realizar esta parte de la actividad de reparación de componentes (personas,

contratos de diversa índole).

Lo referente al suministro de repuestos se supone de responsabilidad de DRT, por el alto monto de la inversión que significa estos elementos. De similar manera, el contratista podrá sub contratar algunas actividades de mantenimiento o reparación, tales como sistema contra incendio, aire acondicionado, reparación de cabina, aseo industrial, apoyo de soldadura.

Alternativa IV. Un servicio integrado con operación y mantenimiento, supone la contratación de un servicio de carga de materiales, en donde Codelco pagaría por tonelada cargada por los equipos. La empresa externa sería la encargada de realizar la adquisición de los equipos que fueran capaces de dar cumplimiento a los tonelajes exigidos en los Planes Mineros, siendo responsable integral del proceso de carguío, desde la operación al mantenimiento de sus equipos. Los equipos deben ser aportados por el contratista. Existe en el mercado empresas que están dando este servicio, pero no de la capacidad requerida por la DRT, sino que en capacidades más bajas, lo que no satisface las necesidades de los planes Mineros de DRT.

6.2.- Análisis de Alternativas Estratégicas de Servicio

La tabla N° 9 presenta un cuadro resumen con los aspectos a considerar en la evaluación de las 4 alternativas planteadas, considerando diversos aspectos relacionados con el servicio, del ámbito de las personas, técnico, soporte de talleres, entre otros.

Las alternativas III y IV, el servicio de mantenimiento con proveedores alternativos y el servicio integrado de operación y mantenimiento, tienen el menor puntaje y es muy poco probable su implementación, respecto de alternativas I y II.

Item	Aspecto Evaluación	Alternativa I	Alternativa II	Alternativa III	Alternativa IV
1	Facilidad de Implantación	3	1	2	2
2	Grado de reversibilidad	3	1	3	3
3	Alineamiento estratégico	3	1	2	2
4	Sustentabilidad	3	2	2	2
5	Disponibilidad RRHH	2	3	2	2
6	Rotación de personal	1	3	1	1
7	Disponibilidad de componentes	3	2	2	1
8	Soporté técnico de fábrica	3	1	1	1
9	Soporte de componentes	3	3	1	1
10	Suministro de repuestos	3	2	1	1
11	Talleres especializados	3	1	1	1
12	Capacidad técnica	3	2	1	1
13	Cap. reparaciones mayores	3	1	1	1
14	Reparaciones de baldes	3	2	1	1
15	Reparación de estructuras mayores	3	2	2	1
16	Estrategias de mantenimiento	3	2	1	1
17	Desarrollo de monitoreo en línea	3	2	1	1
18	Indicadores y resultados en Minería	3	3	1	2
19	Experiencia en Minería	3	3	1	1
20	Impacto en costos	3	2	2	2
21	Sinergias	3	2	1	1
Puntaje Macro Alternativa		60	41	30	29

Tabla N°9, Evaluación de alternativas de servicio

Sólo la alternativas I y II, el Servicio de Mantenimiento Externo con el representante del Fabricante y el Servicio de Mantenimiento Interno, son las alternativas estratégicas para la realización del mantenimiento de la flota de palas de DRT que deben ser consideradas, para dar soporte a la flota de palas de DRT.

6.3.- Análisis FODA de Alternativas Estratégicas de Servicio

Las tablas N° 10 y N° 11 muestran el Análisis FODA de las dos alternativas para el servicio de mantenimiento de la flota de palas de DRT.

Análisis FODA Alternativa I, Mantenimiento Externo	
Interno	Externo
Fortalezas	Oportunidades
<p>Organización</p> <ul style="list-style-type: none"> - Experiencia en Servicio desde 1996. <p>Servicios & Contratos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Referentes de mercado en servicios de mantenimiento Minero. - Contrato Marc a 10 años (2011 - 2021) - Buenos resultados en contratos de servicios. - Mayor experiencia en contratos Marc. 	<p>Organización</p> <ul style="list-style-type: none"> - Crecimiento Minero en próximos años. <p>Mercado Metales</p> <ul style="list-style-type: none"> - Demanda de metales, cobre demandado en China. - Proveedores de equipos con oportunidades de ventas de equipamiento.
Debilidades	Amenazas
<p>Organización</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rotación de personal especialista. - Aumento de remuneraciones de personal especialista. - Falta mayor acercamiento con Cliente. - Falta de Ejecutivos en Mantenimiento. - Falta mayor cantidad de Ingenieros Especialistas. <p>Servicios & Contratos</p> <p>KPI's</p> <ul style="list-style-type: none"> - Incumplimiento de disponibilidades de Palas de cable P&H XPB. 	<p>Organización</p> <ul style="list-style-type: none"> - Déficit de personal en Minería, Internalización. - Reemplazo de personal con experiencia. - Altas remuneraciones en empresas mandantes. <p>Servicios & Contratos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tendencia a aumento en costos - Monopolización de proveedores (Caterpillar). - Alta demanda de servicios externos en nuevas Mineras. <p>Proveedores</p> <ul style="list-style-type: none"> - Proveedores con mucho poder y clientes cautivos. - Proveedores con menor tolerancia al riesgo.

Tabla N° 10, FODA alternativa de mantenimiento externo

La debilidad de la modalidad de mantenimiento externo se visualiza en la rotación del personal del proveedor del servicio de mantenimiento Marc. Se debe elaborar estrategia que responda a esta debilidad de resultar la alternativa más económica de servicio. La tabla N° 11 muestra el análisis FODA de la alternativa de mantenimiento interno. Las debilidades de esta alternativa son la falta de personal con conocimiento técnico, por lo que se debe buscar en el mercado. Por otra parte, se necesitará de todas formas servicios de mantenimiento externo para soportar esta alternativa, no siendo totalmente sustentable. Otra debilidad corresponde a la falta de alineamiento estratégico, ya que el mantenimiento no es el giro esencial de la Corporación.

Análisis FODA Alternativa II, Mantenimiento Interno	
Interno	Externo
Fortalezas	Oportunidades
<p>Organización</p> <ul style="list-style-type: none"> - Baja rotación de personal, Know how propio. - Mayor disponibilidad de RRHH para trabajar en Mineras. - Menos conflictos con Contratistas. <p>Servicios & Contratos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Referentes de mercado en servicios de mantenimiento Minero. 	<p>Organización</p> <ul style="list-style-type: none"> - Crecimiento Minero en próximos años. <p>Mercado Metales</p> <ul style="list-style-type: none"> - Demanda de metales, cobre demandado en China. - Proveedores de equipos con oportunidades de ventas de equipamiento. (Palanca para nuevos servicios de mantenimiento).
Debilidades	Amenazas
<p>Organización</p> <ul style="list-style-type: none"> - Falta de personal técnico especializado (Buscar en Mercado). - Bajo grado de reversibilidad de la Alternativa. - Falta de alineamiento estratégico - Necesidad de contar con contratos de servicios de soporte. - Agenda Sindical Codeko. <p>Servicios & Contratos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sin servicios de soporte adecuados (Licitar) - Sin recursos destinados a Servicios y Contratos Palas DRT. - Sin soporte de componentes y stock de repuestos. <p>KPI's</p> <ul style="list-style-type: none"> - Incumplimiento de disponibilidades de Palas de cable P&H XPB. 	<p>Organización</p> <ul style="list-style-type: none"> - Déficit de personal en Minería, Internalización. - Reemplazo de personal con experiencia (servicios). - Altas remuneraciones en empresas mandantes. <p>Servicios & Contratos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tendencia a aumento en costos - Monopolización de proveedores (Caterpillar). - Alta demanda de servicios externos en nuevas Mineras. <p>Proveedores</p> <ul style="list-style-type: none"> - Proveedores con mucho poder y clientes cautivos. - Proveedores con menor tolerancia al riesgo.

Tabla N° 11, FODA alternativa de mantenimiento interno

6.4.- Servicio de mantenimiento externo, interno mantenimiento de palas

No ha existido una alternativa distinta a las vistas, desde la creación de la DRT. El proveedor del servicio de mantenimiento, tiene un alto poder monopólico, debido a que es el único proveedor de componentes y partes requeridas para el servicio de mantenimiento de palas P&H. Existen proveedores alternativos de partes, pero sólo para un número limitado de piezas. La forma de contener los aumentos de precio de los repuestos, es definiendo en los contratos la metodología de indexación, para a partir de esta, realizar los ajustes a los precios del servicio que tienen que ver con esta variable. La amenaza de entrada de otras marcas y proveedores alternativos, es una palanca de negociación para asegurar cierto nivel de costos. Una forma de impedir alzas relevantes en el servicio, es traspasando la responsabilidad al contratista del mantenimiento.

Los contratos antiguos de mantenimiento han sido de un plazo de 5 años, éstos se han

encarecido por el corto plazo en que el tercero debe rentabilizar su inversión y en la medida de que se ha incrementado el plazo, ha aumentado el precio. Se debe buscar contratos de mayor plazo, en lo posible de 10 años o más, en función de la vida económica proyectada para el activo.

La estrategia de negocios usada para el servicio, corresponde a la de contención de costos (interno o externo), buscando cumplir permanentemente los gastos indicados en los presupuestos operacionales de cada período, optimizando el ciclo de recambio de componentes y repuestos, para cumplir con valores actualizados de gastos. Para asegurar un flujo de gastos más bajo en el transcurso del tiempo, se debe buscar que los contratos de mantenimiento de más larga duración y búsqueda de alianzas estratégicas con los proveedores de equipos Mineros.

Respecto de como se visualiza el servicio en el futuro, todo dependerá del flujo de gastos y el valor presente de las alternativas interna y externa. Las orientaciones Corporativas son claras en que se debe buscar la disminución de gastos, por lo que se debe privilegiar la alternativa que ofrezca y mantenga el menor nivel de gastos, asegurando el cumplimiento de los indicadores de desempeño requeridos.

Disponibilidad de recursos

En relación a las competencias necesarias para llevar adelante el servicio, ya sea en forma interna o externa, corresponden a las de carácter técnico y de gestión. En relación a la técnicas, existe una falta de personal capacitado en el ámbito de la electrónica de control, lo que impone restricciones al servicio externo (e interno).

No existe el recurso interno en DRT, necesario para realizar las actividades requeridas. Disponer de personas de otras Divisiones, no es factible, ya que no existe recurso disponible ocioso que tenga las competencias necesarias para realizar las actividades de mantenimiento. Ya sea para la alternativa externa o interna, la dotación base mínima, para la atención de 7 pala de cables, es de 104 personas. Existe alta demanda de personal con experiencia en mantenimiento de equipos Mineros.

La alternativa de contratación para que el servicio sea realizado en forma interna, sin embargo tiene un alto grado de irreversibilidad, ya sea en el corto, mediano plazo o largo plazo, siendo una de las principales desventajas de esta alternativa de servicio.

No se visualiza diferencia en la calidad del mantenimiento realizado con recursos externos. La diferencia esencial en la calidad del mantenimiento esta dada por el soporte de Ingeniería de las empresas proveedoras de servicios, al contar con asesoría técnica de los fabricantes de equipos, así como planes de mantenimiento con el mismo soporte. La fuente natural de suministro de mano de obra para las empresas mandantes, con mantenimiento interno, son las personas de las empresas de servicios, las que tienen la formación, capacitación y experiencia requerida por los mandantes.

El Mercado y Análisis de la Industria

Existen diversas modalidades para la ejecución del servicio de mantenimiento en la Minería Nacional. La necesidad de dar servicio de mantenimiento a cualquier equipo Minero esta presente en toda la Industria y es desarrollada ya sea con recursos internos, como con recursos externos.

La tabla N° 12, muestra la forma en la cual el servicio de mantenimiento de equipos Mineros, es desarrollado en distintas mineras del país. No esta desarrollado en el mercado nacional la alternativa de contratación de un servicio de carga, con operación y mantenimiento incluido, fundamentalmente debido a la alta inversión que significa la compra de una pala de cable de más de 58 yardas cúbicas de capacidad. Esta alternativa ni siquiera es ofrecida por los representantes de las marcas en el país.

Faena Minera	Palas Electromecánicas	Camiones Extracción
BHP, Cerro Colorado	Externo	Interno
Dona Ines de Collahuasi	Externo, Interno	Externo
Quebrada Blanca	Interno	Externo
SCM El Abra	Interno	Interno
El Tesoro	Externo	Externo
Mina Esperanza	Interno	Externo
Cuadra Mining	Externo	Externo
Caserones	Externo	Externo
Codelco, División Andina	Externo	Externo
Codelco, DMH	Externo	Externo
Mina Gaby	Externo	Externo
Mina Los Pelambres	Externo	Externo
Mina Invierno	Externo	Externo
Lomas Bayas	Interno	Interno
Mantos Blancos	Interno	Interno
Zaldivar	Interno	Interno
Minera Escondida	Interno	Interno
Minera spence	Interno	Externo
Codelco Chuquicamata	Interno	Interno
Codelco Radomiro Tomic	Externo	Externo
Candelaria	Interno	Interno

Tabla N° 12, Servicios de Mantenimiento en Mineras del País

Algunas mineras están dando preferencia a la alternativa de mantenimiento interno para sus flotas de pala de cables, fundamentalmente debido a que corresponden a los equipos más estratégicos dentro de la operación Minera.

Como se puede apreciar, están vigentes las alternativas de mantenimiento interno y externo para la ejecución de los servicios de mantenimiento requeridos.

Para los equipos Mineros, los servicios de mantenimiento Marc son realizados por el representante en Chile de cada marca, no existiendo otras empresas que puedan dar el soporte integral de mantenimiento, por no contar con el soporte técnico requerido, respaldo de pool de componentes y stock de repuestos necesarios, así como el contrato con fábrica y mano de obra calificada por la misma.

Existe una limitada cantidad de empresas que pueden suministrar repuestos y componentes alternativos para los equipos, por lo que la mayor parte de los elementos

requeridos para el servicio de mantenimiento son adquiridos al proveedor directamente o a su representante en el país, por las empresas que tienen mantenimiento interno.

Para el caso de pala de cables de cable, las dos marcas presentes en Chile son P&H y Caterpillar, representados por JoyGlobal y Finning Chile S.A.. Ambos proveedores no pueden realizar servicios integrales de mantenimiento en los equipos de la competencia. No se tiene antecedentes de servicios por largos períodos de tiempo que estas empresas realicen en equipos de la competencia.

Empresas del rubro de mantenimiento industrial, presente en Plantas Mineras o Industriales, no realizan actividades de relevancia para el mantenimiento de los equipos Mineros, fundamentalmente por no contar con el soporte de componentes, repuestos, experiencia en mantenimiento de palas, además de la nula posibilidad de contacto con fabricantes de los equipos.

Empresa	Mano de Obra Calificada	Experiencia	Soporte de Componentes	Stock de Repuestos	Relación con Fábrica	Contratos de Servicios	Evaluación
JoyGlobal	3	3	3	3	3	3	3,0
Finning	3	3	1	1	1	3	2,0
Siemens	2	1	1	1	1	1	1,2
FFE Minerals	2	1	1	1	1	1	1,2
Komatsu	3	3	1	1	1	1	1,7
Liebherr	2	2	1	1	1	1	1,3

Tabla N° 13, Evaluación de Servicio en Palas

En tabla N° 13, se muestra tabla con análisis de concentración de empresas presentes en el mercado nacional que pueden realizar servicios de mantenimiento en equipos Mineros. La debilidad principal de las alternativas al representante en Chile de Palas P&H, corresponde a que no cuentan con stock de repuestos y componentes. Por otra parte, se visualiza la nula relación con fábrica que tendría cualquier alternativa distinta.

6.5.- Recomendación de servicios para el mantenimiento de palas

La alternativa de mantenimiento externo continua siendo factible en DRT. Se tiene un contratos de servicios con horizonte de 10 años, con la factibilidad de ejecutar todas las

actividades de mantenimiento requeridas por la flota de palas, desde aquellas que son ejecutadas directamente en DRT, como para aquellas que son ejecutadas fuera de ella. La principal debilidad se relaciona con la rotación del personal, por lo que es necesario definir estrategia de retención del personal especialista externo. Por otro lado, se debe mejorar la capacidad técnica del personal, fundamentalmente es aspectos relacionados con la electrónica de control de las máquinas, válido para alternativa interna o externa.

Los servicios que debe contemplar el contrato de mantenimiento son los siguientes :

- Mantenimiento programado e imprevistos, para todas las especialidades, mecánica, eléctrica, lubricación y soldadura. Se incluye cambios menores y mayores de componentes, realizado en DRT. Contempla toda la mano de obra requerida, Ingeniería de Mantenimiento, Suministro de repuestos y bodega, traslado de materiales y componentes desde talleres a DRT.
- Mantenimiento sintomático (vibraciones, ultrasonido, rodados, inspección estructural, inspección de rodados).
- Ingenieros de Servicios, en especialidades mecánica y eléctrica, responsables de soporte técnico en terreno y contacto con fábrica.
- Suministro y cambio de elementos de desgaste, cables de levante y menores. La mano de obra requerida está contemplada en el servicio.
- Mantenimiento menor y mayor de baldes (puertas, aros), con suministro de repuestos. El mantenimiento menor es realizado en DRT, con soldadores presentes en el contrato en forma permanente, además de soporte de especialistas de taller de reparación de componentes estructurales.
- Mantenimiento menor y mayor de componentes eléctricos, mecánicos y estructurales. El mantenimiento menor es realizado en DRT, con mecánicos, eléctricos y soldadores presentes en forma permanente en el contrato.

CAPITULO 7, ESTRATEGAS DE ASEGURAMIENTO DE DISPONIBILIDAD

7.1.- Necesidades de mantenimiento teóricas

Existen varias necesidades de atención en las palas. Los servicios de mantenimiento son realizados a intervalos fijos, cada 500 horas de operación o en forma mensual, en distintas especialidades, existiendo pautas guía de actividades que deben ser ejecutadas, priorizadas por su nivel de criticidad. Estas actividades corresponden básicamente a revisiones, ajustes, mediciones, limpieza, reapriete, inspección visual, pruebas, entre otras. Están elaborados planes de mantenimiento, basados en estas pautas, las que se consideran de carácter táctico, siendo elaboradas por el proveedor de servicios de mantenimiento, en distintas especialidades. Se realiza análisis de condiciones a través análisis espectral de vibraciones mecánicas, ultrasonido, tomografía y medición de desgastes de acuerdo a patrones. La sustitución o reacondicionamiento cíclico se realiza en función del avance en cumplimiento de horas de uso de los componentes, su condición y evidencia de daños que es necesario reparar. Existe la necesidad de cumplir con actividades no ejecutadas de los planes de mantenimiento o puntos identificados para su ejecución posterior (backlogs). Por otra parte, existen necesidades de mantenimiento asociadas a la edad y a la severidad de la operación, las que se dan fundamentalmente en los componentes estructurales. Se atienden diversos tipos de falla en terreno, en cualquier especialidad, comparando el desempeño en función del tiempo medio entre fallas y el tiempo medio de reparación.

Un aspecto relevante es determinar la dotación necesaria para el mantenimiento. Se realiza estimación de la misma, en base a las actividades estándares y las de sustitución y reacondicionamiento cíclico mayores, para determinar más adelante el gasto por mano de obra y comparar alternativas interna y externa.

Por otro lado, una pérdida importante de productividad en el mantenimiento de las palas, para cualquier alternativa de servicio, corresponde a que todo el mantenimiento es realizado en la Mina, existiendo tiempos de traslado hasta cada pala, necesidad de abandonar los puntos de trabajo por tronadura, traslado hasta casino para colación preparación de elementos y posterior retiro, necesidades de seguridad operacional, que

en conjunto impactan en al menos un 35% del tiempo disponible de cada trabajador, es decir, se cuenta con menos de 8 horas efectivas para un turno de 12 horas de duración, lo que tiene un impacto en la dotación necesaria, a diferencia del mantenimiento de otros equipos mineros, que es realizado fundamentalmente en taller.

La tabla N° 14 muestra la estimación de dotación para los primeros 10 años de operación de una pala 4100 XPB o XPC AC.

Sin componentes	Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Mantenimiento periódico	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Cambio componentes menores		1		6		1		6		1	
Cambio componentes mayores					6						27
Reparaciones estructurales mayores			3		5			3			11
Personas por pala año	15	15	18	21	26	15	15	23	15	53	

Con componentes	Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Mantenimiento periódico	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Cambio componentes menores		1		2		1		2		1	
Cambio componentes mayores					2						23
Reparaciones estructurales mayores			1		1			1		1	1
Personas por pala año	15	15	16	17	18	15	15	17	15	40	

Tabla N° 14, determinación de dotación para servicio pala 4100 XPC AC

La tabla N° 14 superior muestra la dotación anual para el caso de no contar con pluma, bastidores, transmisión de levante y el cuadro inferior, la dotación necesaria en el servicio, en caso de contar con estos componentes. Desde el punto de vista de la dotación, el hecho de contar con componentes de respaldo implica menor cantidad de recursos para las actividades de mantenimiento, así como menor tiempo de detención de las máquinas. Se desprende la necesidad de contratar las reparaciones estructurales y cambio de componentes mayores, de forma de cubrir las demandas puntuales de recursos asociadas a estas reparaciones (72.000 horas hombre en 10 años), además de la ganancia en disponibilidad por realizar el cambio y no la reparación del componente.

La dotación base para las actividades normales de mantenimiento, se estimó en 15 personas, 12 correspondiente a personal operativo y 3 personas a personal administrativo (Jefes de turno, prevención de riesgos, planificación y programación,

inspección técnica y sintomática), 2.681 horas hombre mes por pala. Para el caso de 7 palas, la dotación debiera ser de 104 personas, 18.770 horas hombre pala. El servicio contratado por DRT cuenta con 126 personas. La dotación mínima necesaria para la alternativa interna es de 104 personas.

7.2.- Servicios a considerar, gastos más relevantes en el servicio

En punto 6.5 se define las actividades más relevantes a ser ejecutadas en el mantenimiento de la flota de palas, válidas para alternativa de ejecución interna o externa.

Para la modalidad de servicio vigente en DRT, se encuentra contratado el servicio de mantenimiento, existiendo 8 componentes del gasto, las que se encuentran cauteladas en términos de precios y metodologías de reajuste.

Las componentes del gasto son :

- Costo fijo del servicio, cancelado en pesos, y que corresponde al pago de la dotación, equipamiento, herramientas, traslado de personas, elementos de protección personal, capacitación, vehículos, máquinas.
- Tarifa de repuestos, cancelado en dólares y que corresponde al pago de los repuestos, costos de reparación de componentes (mano de obra, repuestos, equipamiento de taller), definida por tramos de edad de cada pala y cancelada en función de las horas de operación hasta completar el tramo.
- Tarifa por cables, cancelado en dólares y que corresponde al pago por uso de cables de levante, cables de suspensión y abrir balde, suministrador por el proveedor del servicio Marc y cancelada en función de las horas de operación.
- Tarifa por reparación de baldes, cancelado en dólares y que corresponde al mantenimiento mayor cada 4000 horas de uso del balde, cuando se procede al cambio. Contempla todos los repuestos necesarios, aceros de planchas, soldadura y mano de obra para reparación mayor en taller, como la mano de obra para atención en terreno, cancelada en función de las horas de operación,

hasta llegar al cambio.

- Elementos de desgaste, cancelado en dólares y por consumo de piezas, según precios unitarios definidos al inicio del contrato.
- Reparaciones estructurales, cancelado por evento en función de precios base definido para el contrato, en donde se contemplan los principales componentes estructurales de las palas.
- Lubricantes y aceites, aportados por DRT.
- Reparaciones fuera de Marc, fundamentalmente asociados a daños por incidente, cotizadas por evento, cuando existe la necesidad de ser cubiertas por personal adicional al contrato.

En la gráfica 50, se muestra los gastos totales de mantenimiento para la alternativa de mantenimiento interno y la externo y el valor actual de gastos, al 8% anual, para una pala modelo 4100 XPC AC. La alternativa de ejecución de mantenimiento externo es más económica que la interna, fundamentalmente debido al que el costo de la mano de obra del recurso interno en Codelco es casi un 50 por ciento más alta y el costo de los repuestos, aproximadamente un 16% mas alto en la alternativa interna (comparando oferta Marc respecto evaluación interna de proyección de cambio de componentes de palas y costo asociado). La diferencia en un horizonte de 10 años para una pala nueva es de MUS\$ 7,5. Se usa los datos de la tabla N° 14 para la determinar el gasto por dotaciones. Ya que la estrategia de las Mineras es disminuir gastos en todo ámbito, la alternativa interna es mucho más cara de ejecutar que la externa. En términos de resultados, no existe diferencia notable en la calidad del mantenimiento y los indicadores de disponibilidad alcanzados.

En relación a como se distribuye el gasto de mantenimiento para una pala modelo 4100 XPC AC, la figura 51 muestra como se distribuye el gasto de mantenimiento, para la alternativa más económica, mantenimiento externo. El elemento de gasto más relevante corresponde los repuestos y componentes, seguido del gasto fijo del servicio y las reparaciones estructurales de balde.

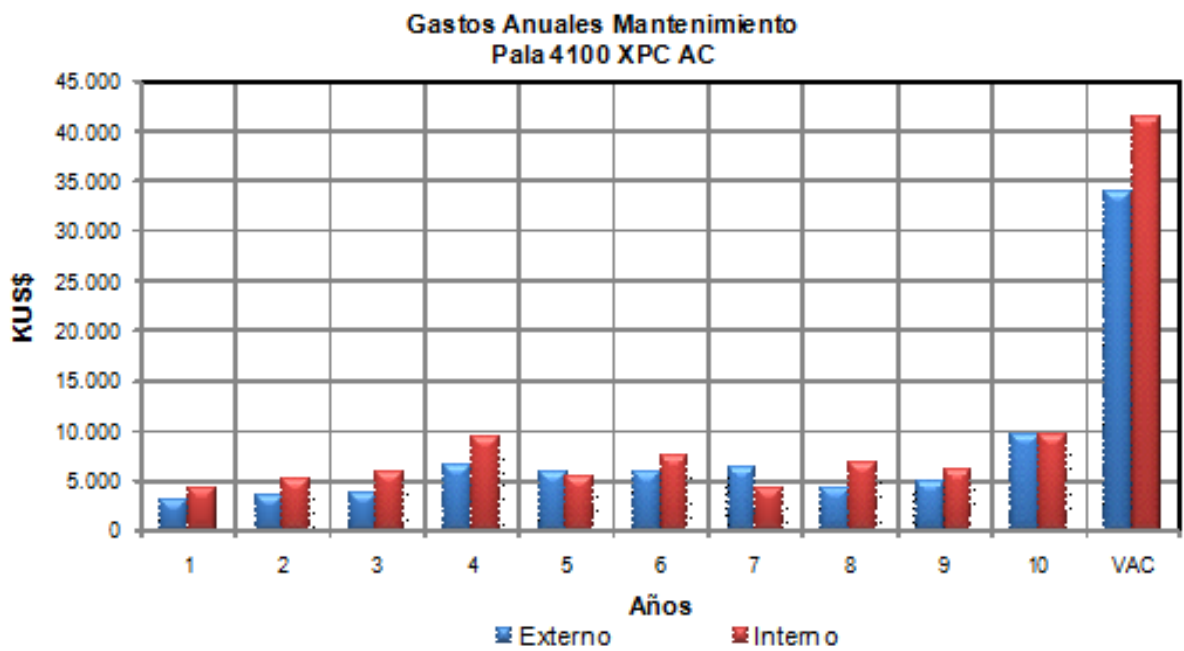


Figura N°50, VAC alternativas de mantenimiento interno y externo.

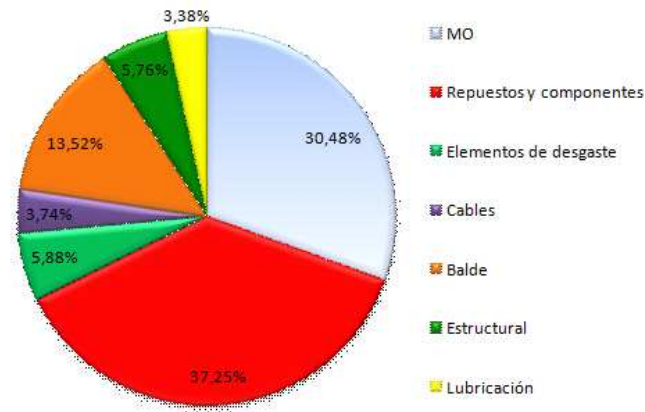


Figura N°51, Distribución de gastos en servicio de mantenimiento externo

7.3.- Componentes y repuestos estratégicos

Para evitar extender los tiempos de detención, ya sea por sustitución cíclica, como por fallas, es necesario contar con determinados componentes de respaldo. Con esta modalidad sólo se procede al intercambio de componentes y el retirado es enviado a reparación. Los tiempos de reparación dependen de la existencia de repuestos y daños, fundamentalmente y no es recomendable realizar estas reparaciones con el equipo detenido, salvo para detenciones mayores, en donde existe el tiempo suficiente para retirarlos, repararlos y volver a instalarlos.

Para el caso de DRT, cuenta con un contrato Marc con una empresa de servicios, JoyGlobal, en donde se garantiza contar con aquellos repuestos y componentes que son de propiedad de la empresa que presta el servicio, con los que se da soporte a los requerimientos. Sin embargo, estos repuestos y componentes sirven de respaldo para todas aquellas otras faenas Mineras que tienen contratos de mantenimiento vigentes con la empresas prestadora de servicio en DRT. Por otra parte, la empresa prestadora de los servicios no cuenta con algunos componentes de recambio que tienen altos tiempos de reparación, como por ejemplo, transmisión de levante y pluma. La figura 7.2 muestra los componentes de respaldo que se consideran necesarios para soportar el servicio de mantenimiento, en cualquier modalidad. De esta información, se desprende que es necesario definir respaldo de componentes con los que no cuenta la empresa prestadora de servicio y la DRT. En particular, es necesario contar con el respaldo de una transmisión de levante y una pluma.

La División Chuquicamata cuenta con una pluma de respaldo, la que eventualmente puede ser usada por las Divisiones de Codelco que tengan la necesidad de contar con ella. Se requiere realizar una definición corporativa respecto de como proceder al uso de estos componentes de respaldo en forma coordinada. El tiempo de reparación de este componente depende del nivel de daño estructural que se tenga, pero existe un significativo ahorro de tiempo al proceder al cambio. La disminución en el tiempo de intervención por recambio se estima en 30 días, cada 5 años, para cada pala. En División Chuquicamata se han presentado dos fallas catastróficas de plumas en los

últimos 6 años, una en el modelo 4100 A y otra en el modelo 4100 XPB. La figura 52 muestra una de estas fallas catastróficas.



Figura N° 52, Falla catastrófica pluma 4100 XPB

Se considera necesario contar con una transmisión de levante que pueda ser usada por los dos modelos de palas 4100 XPB y 4100 XPC AC, la que puede ser adquirida por DRT o por la empresa de servicio. El contrato Marc de DRT define que no se tendrá este componente de respaldo, por lo que será necesario negociar esta adquisición. La disminución en el tiempo de intervención por recambio se estima en 14 días, cada 5 años, para cada pala.

En relación a los bastidores, la empresa prestadora de servicios cuenta con un par de bastidores de su propiedad, los que pueden ser intercambiados cuando exista la necesidad y que se encuentran cautelados por el contrato de servicios vigente, en términos de costos de las reparaciones. La disminución en el tiempo de intervención por recambio se estima en 21 días, cada 4 años. La figura 53 muestra daños típicos en la zona de rodadura de un bastidor 4100 XPB.



Figura N°53, Bastidor con daños en rodillos y elementos estructurales

La DRT cuenta con una cantidad importante de componentes de recambio para el modelo 4100 XPB, adquiridos cuando se tuvo una modalidad de contrato del tipo LPP (Labor parts plus), pudiendo algunos ser usados por el modelo 4100 XPC. Sin embargo, para el caso del modelo 4100 XPC, la DRT no cuenta con soporte, siendo responsabilidad de la empresa prestadora de servicios.

Un riesgo relacionado con soportar por medio del servicio contratado los componentes, corresponde a que el pool de componentes de respaldo de la empresa prestadora de servicios es usado para dar soporte a otros servicios en el país por parte del proveedor. Por otro lado, al inicio de la operación de los modelos de palas 4100 XPC AC, no se tiene todo el stock de componentes de respaldo, los que irían llegando gradualmente, según el avance en el uso de los componentes de las palas en servicio. Si bien existe mediciones de disponibilidad y desincentivos por su incumplimiento, el costo de oportunidad por detener una pala por falta de repuestos es mucho mayor que el desincentivo.

Sistema	Componente	Modelo	Stock Sugerido	Servicio	DRT
Air	Compresor Pala	4100XPC AC/DC	1	Si	Si
Boom	Polea motor crowd	4100 XPC AC	1	Si	No
Boom	Polea punta Pluma	4100XPC AC/DC	1	Si	Si
Boom	Pluma	4100XPC AC/DC	No	No	No
Crowd	Crowd Motor	4100 XPC AC	1	Si	No
Crowd	Crowd Motor	4100 XPB	1	Si	Si
Crowd	Crowd Brake	4100 XPC AC/DC	1	Si	Si
Crowd	Blower Crowd	4100XPC AC/DC	1	Si	Si
Crowd	Saddle Block	4100XPC AC/DC	1	Si	Si
Crowd	Transmisión crowd	4100XPC AC/DC	1	Si	No
Dipper	Snubber Hidraulico (Dual)	4100XPC AC/DC	2	Si	Si
Dipper	Mango	4100XPC AC/DC	1	Si	Si
Dipper	Balde	4100 XPC AC	1	No	Si
Dipper	Balde	4100 XPB	1	No	Si
Electric	Blower Principal	4100XPC AC/DC	1	Si	Si
Electric	Inversor 580 KVA	4100 XPC AC	2	Si	No
Electric	Collector Ring	4100 XPC AC	1	Si	No
Electric	Collector Ring	4100 XPB	1	Si	Si
Electric	Modulo Aire Acondicionado	4100XPC AC/DC	1	No	Si
Electric	Main Transformer (REF)	4100 XPC AC	1	Si	No
Electric	Aux Transformer (REF)	4100 XPC AC	1	Si	No
Hoist	Hoist Motor	4100 XPC AC	1	Si	No
Hoist	Hoist Motor	4100 XPB	1	Si	Si
Hoist	Hoist Brake	4100 XPC AC	2	Si	No
Hoist	Blower Hoist	4100XPC AC/DC	1	Si	Si
Hoist	Transmisión hoist	4100XPC AC/DC	No	No	No
Propel	Propel Transmisión	4100XPC AC/DC	1	Si	Si
Propel	Bastidor izquierdo	4100XPC AC/DC	1	Si	No
Propel	Bastidor derecho	4100XPC AC/DC	1	Si	No
Propel / swing	Swing/Propel Motor	4100 XPB	1	Si	Si
Propel / swing	Propel Brake	4100XPC AC/DC	2	Si	Si
Propel / swing	Swing/Propel Motor	4100 XPC AC	1	Si	No
Swing	Swing Brake	4100XPC AC/DC	2	Si	Si
Swing	Blower Swing	4100XPC AC/DC	1	Si	Si
Swing	Transmisión swing	4100XPC AC/DC	2	Si	Si

Tabla N° 15, Componentes de respaldo flota de palas 4100 XPB y 4100 XPC AC

Se recomienda contar con stock de componentes stand by por parte de DRT, en particular motores eléctricos principales, transformadores y colector para el modelo 4100 XPC AC. Se debe comprar una transmisión de levante para ambos modelos de palas. El monto de la inversión para estos componentes es de MUS\$ 3.

Al contratarse los servicios de mantenimiento, no se contempla adquisiciones de componentes en la etapa de compra de los equipos, situación que debe ser modificada, definiendo cuales serán los componentes que se deberá adquirir junto con la compra de los equipos, para contar con un soporte mínimo.

En la eventualidad de internalización del servicio, se contaría con soporte, ya que los tiempos de entrega de componentes no son inferiores a un año.

7.4.- Sinergias entre Divisiones de Codelco y otras Mineras

Ha existido sinergia en el uso de componentes de respaldo entre las Divisiones Radomiro Tomic y Chuquicamata, particularmente desde la creación de la División Codelco Norte. Sin embargo, se debe definir una política Corporativa a este respecto, por corresponder a inversiones realizadas por la Corporación, de forma de que no se deba depender de las personas responsables del mantenimiento en ambas Divisiones para definir el uso, sino que de criterios de negocio, producción y oportunidad.

Para el caso de DRT, al contar con servicios de mantenimiento Marc, esta cautelado el costo de la reparación de los componentes en contrato, por lo que al contar con algunos componentes con mayor probabilidad de falla, disminuye el riesgo de espera por no contar con componentes oportunamente por parte del proveedor del servicio, cuando se produce la falla de alguno. La disminución en el tiempo de intervención por espera de componentes, se estima en 6 días, cada año.

En relación a la política, debe contemplar la forma en la que se define las prioridades entre Divisiones y la entrega de los componentes reparados por parte de la división que hizo uso del componente, definiendo criterios de calidad para las reparaciones.

No se ha avanzado en sinergia con otras Mineras en definición de estrategia de adquisiciones y uso de componentes. Existe una oportunidad que debe ser explorada por los ejecutivos de las empresas Mineras, con el objetivo de disminuir gastos en adquisición de componentes y menor exposición a extensión de detenciones por no contar con respaldo o por la necesidad de realizar las reparaciones de los componentes con mayor tiempo al que corresponde por el cambio.

7.5.- Estrategia de corto y largo plazo

Para asegurar un buen desempeño de la flota de palas es necesario considerar los siguientes aspectos :

- I.- Contrato de servicios de mantenimiento, para el caso de DRT.
- II.- Daños por eventos operacionales producidos en las máquinas.
- III.- Fallas eléctricas imprevistas
- IV.- Falas mecánicas imprevistas
- V.- Reparaciones estructurales programadas y no programadas
- VI.- Stock de componentes de recambio.
- VII.- Contar con información relevante de los equipos.
- VIII.- Administración de los contratos de mantenimiento.
- IX.- Know how interno.

En base a estos elementos, se proponen las siguientes estrategias :

Estrategia de Contratos

- Por la definición Corporativa de externalización de servicios para DRT, se debe contar con un contrato robusto, de un plazo no menor a 10 años, el que tenga toda las necesidades cubiertas de actividades que sea necesario ejecutar en terreno o taller en la flota de palas.
- El contrato debe contemplar precios base para el pago de los distintos elementos de costo, en particular lo concerniente a las reparaciones estructurales de componentes mayores de palas, así como la metodología de reajuste de las mismas.

- Ante incrementos de flota, se debe usar la palanca de compra para obtener descuentos, servicios adicionales en el contrato, extensiones de plazo del mismo.
- Se debe avanzar en la mayor cobertura de actividades, dejando la menor cantidad posible de actividades excluidas, para disminuir la brecha entre disponibilidad Física y Marc de la flota de palas. La disponibilidad de contrato o Marc, no cuenta a la hora de cumplir con los compromisos de producción.
- En relación a los KPI's del servicio, se debe buscar aquellos que sean más fáciles de controlar y que tengan un impacto importante en el resultado operacional esperado, a los que se les debe asignar el mayor porcentaje de penalización, en caso de no cumplimiento. La disponibilidad es el elemento central de medición del servicio.
- Para el caso de las palas P&H, Codelco cuenta con varios equipos de esta marca en 3 Divisiones, por lo que un paso importante es la búsqueda de una alianza estratégica con el proveedor, buscando la forma de mejorar el desempeño global de los servicios en Codelco, identificando las mejores alternativas técnicas y económicas de servicio que el proveedor ofrece y que se produzca la sinergia de recursos entre los contratos vigentes y un menor gasto a Codelco.
- Un elemento importante que debe ser abordado por Codelco es el uso del SAP por parte de los proveedores de servicios de mantenimiento, definiendo los aspectos mínimos que deben ser informados por cada proveedor, para contar con un registro de información mínima necesaria para la gestión del mantenimiento. A este respecto, se propone avanzar en la entrega de licencia para el registro de todas de las detenciones de los equipos, el registro de componentes y sus horas de operación, así como la elaboración del plan de mantenimiento (pautas, cambios de componentes, inspecciones de relevancia, entre otros). A este respecto, la información entregada en los sistemas debe ser la plataforma para la mejora de indicadores, disponibilidad y confiabilidad operacional.

- Por otro lado, para el caso de DRT se cuenta con todas las actividades y suministros contratada. Para el caso de los elementos de desgaste y cables, reparaciones de baldes, existen proveedores alternativos que compiten con el proveedor del contrato Marc. Es importante mantener vigentes y compitiendo a estos proveedores alternativos y al proveedor Marc, de forma de asegurar precios competitivos en el contrato. Las mayores debilidades en los proveedores alternativos corresponde a la calidad de los suministros y la oportunidad de entrega y aunque en general ofrecen menores precios, son estas debilidades las que finalmente se transforman en mayores costos.

Estrategia de Operación del Contrato

- En vista de la debilidad respecto de la rotación del personal en el contrato de servicios, se debe mantener el conocimiento experto en el contrato de DRT, para lo que se propone exigir al proveedor del servicio una estructura organizacional que de respuesta a este requerimiento y al personal clave asociado. En particular se debe contar con Ingenieros de Soporte para las especialidades eléctrica, mecánica, soldadura, con una orientación al apoyo en caso de fallas y evaluaciones técnicas específicas indicadas en los planes de mantenimiento, así como capacitación técnica al personal del contrato, en forma permanente. Es esencial contar con este soporte en la vida del contrato.
- Por otra parte, la línea de supervisión operativa del contrato debe contar con personas de experiencia comprobada, en las mismas especialidades, en sistema de turnos, especialistas técnicos de primera línea, quienes deben supervisar y dar soporte de primera línea al personal ejecutor directo. Es esencial contar con este soporte en la vida del contrato.
- Se debe contar con un plan de formación de personal especialista, ya sea para Ingenieros o Técnicos externos y personal propio de la DRT. La DRT debe dar espacio para el desarrollo de estas personas dentro del servicio, aprendiendo directamente en el contrato. Si bien no es posible asegurar que este personal

clave permanezca en el servicio, la empresa proveedora del servicio debe reponer al personal clave por otras personas que tengan el mismo nivel de experiencia técnica de aquellos que se retiren del servicio.

- Por otro lado, se debe buscar la disminución de imprevistos de origen mecánico y eléctrico, a través de la implementación de metodologías de análisis de confiabilidad, con énfasis en la elaboración de proyectos de mejoramiento en problemas reiterativos. El proveedor del servicio de mantenimiento usa la metodología RCM II para la elaboración de planes de mantenimiento, al igual que Codelco. Es imperativo trabajar en la identificación de problemas y elaboración de propuestas de mejoramiento.

Estrategia Operacional Interna en DRT

- Como se vio, una cantidad importante de las detenciones son provocadas por mala operación de las máquinas, por lo que se hace relevante contar con un sistema de capacitación y re instrucción permanente de los operadores de palas, el que refuerce en forma teórica y práctica las buenas prácticas de operación, responsables de aproximadamente u 11% de las detenciones imprevistas. Se plantea como meta disminuir en un 50% las detenciones asociadas a malas prácticas, lo que provocará un incremento de un 1% en el nivel de disponibilidad de las palas.
- Por otro lado, la línea de mando de la Superintendencia de Operaciones Mina, debe estar inserta en este plan de capacitación y la formación debe poner énfasis en identificar las malas prácticas de operación y dar el refuerzo necesario a los operadores, cuando se evidencie problemas.
- Se debe proceder a desarrollar y capacitar a Instructores internos, para que puedan ser ellos quienes estén liderando la capacitación en las buenas prácticas de operación.
- Por otro lado, se debe contar con Auditoría externa de la operación de las

máquinas, con la empresa proveedora del servicio de mantenimiento, como una forma de verificar que se este entregando el conocimiento necesario y se pueda certificar la calidad de operación de las máquinas en forma independiente.

- Desde el punto de vista del mantenimiento, se debe buscar la forma de implementar el monitoreo en línea de variables específicas que puedan dar aviso oportuno de averías que se estén iniciando o de malas prácticas de operación que se produzcan y que queden registradas en los sistemas de las máquinas (impacto de giro, levante de pluma). Las tres palas 4100 XPC AC cuentan con PreVail (remote health monitoring de P&H). Para los modelos más antiguos de palas, se debe buscar alternativas tecnológicas de monitoreo, las que deben ser enfocadas en controlar aquellos componentes con tiempos de reparación de mayor relevancia y en los que no se tiene respaldo de componentes. Se debe avanzar en análisis espectral de vibraciones de las transmisiones de levante y empuje.
- Para el personal profesional de la Superintendencia de Mantenimiento de DRT, se debe contar con un plan de desarrollo, que contemple conocimientos técnicos de los distintos equipos en servicio en la Gerencia Mina, en particular de palas de cable, así como en los aspectos específicos del contrato asociado. Es necesario rotar a los profesionales de esta unidad, para que se pueda compartir experiencia y contar con más personas capacitadas para administrar los servicios con un conocimiento técnico administrativo de alto nivel, en particular de las palas de cable.

Estrategia de Componentes

- Para el caso de DRT el soporte de componentes esta incluido en el contrato de mantenimiento Marc. Sin embargo, no se tiene total certeza de contar con ellos en caso de falla, ya que son usados por el proveedor del servicio de mantenimiento para dar soporte a todos los servicios que tiene en Chile, por una parte y al proceso de reparación que tienen una vez cambiados. Por otro lado, el

proveedor no tiene todos los componentes necesarios para dar un soporte total.

- Para aquellos componentes que ya han sido adquiridos por Codelco, deben ser compartidos entre las Divisiones, cuando el proveedor de DRT tenga problemas en suministrar a tiempo sus propios componentes, debiendo ser devueltos completamente reparados, cuando disponga de los suyos, evitando demoras por espera de componentes.
- Por otro lado, para aquellos componentes que no tiene Codelco y el proveedor del servicio de mantenimiento, se debe negociar la compra de aquellos faltantes. La amenaza de que sean de propiedad del proveedor del servicio, corresponde a que puedan ser usados para soportar otras faenas y servicios, fuera de Codelco. La amenaza interna es el aumento de gastos en servicios. Como primera instancia se debe buscar la sinergia en Codelco, entre Divisiones Chuquicamata, Andina y Radomiro Tomic.

Estrategia de detenciones programadas e imprevistas

- Se debe respetar los tiempos designados al mantenimiento, definidos en los planes Mineros, entregando los equipos a Mantenimiento en forma oportuna. Demoras excesivas en la entrega hace perder recursos valiosos en las actividades de mantenimiento. De igual forma, se debe entregar los equipos cuando se cumpla el tiempo programado. Los planes de mantenimiento deben contemplar las demoras operacionales habituales, tales como las tronaduras.
- Se debe separar de las actividades de mantenimiento, lo concerniente al cambio de cables de levante y componentes en las palas. Deber ser realizados en forma separada, al igual que el mantenimiento predictivo. Habitualmente las actividades menos urgentes quedan postergadas y no ejecutadas y son las de mantenimiento rutinario (revisiones, inspección, ajustes, limpiezas, entre otras).
- Aproximadamente, entre el quinto a sexto año de operación de las palas nuevas se debe contemplar realizar reparación estructural de los componentes

principales, tal como pluma (cambio si se cuenta con respaldo), bastidores (cambio de los mismos) y mantener observación semestral de los componentes del sistema de giro hasta su cambio, al décimo año aproximadamente. Se debe tener un kit de corona de giro y sub componentes, ya que estos repuestos no fueron considerados en la oferta del servicio de mantenimiento Marc del proveedor, ya que su oferta fue por 10 años de servicio. La División Chuquicamata cuenta con un sistema de levante de palas, el que debe ser usado para no gastar aproximadamente los KUS\$ 500 que cuesta el arriendo de este dispositivo con el proveedor del servicio Marc (sinergia).

- Para las detenciones programadas, se debe buscar el apoyo de recursos externos para la ejecución de las actividades que le corresponde realizar al proveedor Marc. Sin este apoyo es poco probable alcanzar a realizar las actividades de mantenimiento en los tiempos programados. La dotación del servicio debe ser ajustada al mantenimiento normal, cambio de componentes y atención de fallas y reforzada para las detenciones mayores.
- Se han obtenido muy buenos resultados realizando la reparación de componentes estructurales con el proveedor del contrato Marc. Se recomienda seguir con esta modalidad, buscando mantener precios de las reparaciones, usando la amenaza de nuevos proveedores. El elemento central a este respecto es asegurar precios de mercado y no arriesgar calidad por precio.
- Respecto de las detenciones imprevistas, se plantea contar con un equipo de especialistas del contrato destinado sólo a este propósito, con dedicación exclusiva, los que en caso de ser sobrepasados, deben solicitar apoyo a Ingenieros de Servicio y personal de mantenimiento. Se debe trabajar para identificar problemas recurrentes y elaborar planes de acción específicos para los problemas detectados, por medio de metodologías de análisis (FMECA, RCM II u otras), de forma de disminuir los imprevistos y aumentar la confiabilidad, mejorando el tiempo medio entre fallas.

Estrategia de Administración del Contrato

- Para la administración del contrato de mantenimiento por parte del mandante, se debe destinar a Ingeniero Civil Mecánico o Electrónico, con al menos 10 años de experiencia en mantenimiento de equipos mineros, secundado por un Ingeniero Civil de especialidad contraria al administrador. Es clave contar con una contraparte técnica de experiencia para el servicio, quienes puedan auditar en forma permanente todos los aspectos relacionados con el alcance del servicio contratado, los que deben recibir capacitación en todos los aspectos de las máquinas por parte del proveedor y en aspectos de administración de contratos y negociación, por parte de Codelco.
- Se debe dar importancia a la presencia física de los responsables de Codelco en los equipos, en especial para revisar aspectos de seguridad operacional en el desarrollo de los servicios. Todas las actividades son desarrolladas en la Mina, por lo que un control efectivo sólo puede ser desarrollado con presencia en terreno.
- Desde el punto de vista de los aspectos mecánicos, es importante revisar la ejecución periódica de las actividades de ajuste de las máquinas, además de la revisión de los informes de inspección de esta especialidad y los de condición estructural de componentes, elaborados según la periodicidad indicada en planes de mantenimiento. Desde la perspectiva electrónica, eléctrica y de control, de igual manera, es necesario revisar en forma permanente la ejecución de las pautas de mantenimiento periódicas. En general se requiere participar en la revisión de información del servicio, asegurando la ejecución de calidad y oportunidad de los planes, participar en proyectos de mejoramiento para la solución de problemas reiterativos, verificar la capacidad técnica del personal de servicios, auditar aspectos específicos, controlar el avance físico y financiero del contrato, siendo una contraparte técnica preparada, dando ayuda al proveedor y exigiendo el cumplimiento de los compromisos contractuales.

7.7.- Impacto en el negocio

En tabla N° 16, se muestra la comparación entre el tiempo de detención por pala para tres componentes relevantes, reparación de pluma, transmisión de levante y de bastidores, determinando la indisponibilidad asociada en un plazo de 10 años.

Para la estrategia actualmente utilizada, detener para reparar los componentes, se requiere de 116 días de detención en 10 años (3,2% de indisponibilidad). Al contar con estos componentes para el recambio, se tiene un tiempo de detención por recambio de 34 días en 10 años (0,9% de indisponibilidad).

El impacto de contar con estos componentes de respaldo es una disminución de 82 días de detención (2,25% más de disponibilidad en 10 años de cada pala). Considerando sólo las 3 palas nuevas, se tiene un total de 246 días más de operación en 10 años (más de 8 meses de operación de una pala).

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Impacto Disponibilidad
Reparación	Pluma					35						3,2%
	Tx hoist					25						
	Bastidores				28				28			
Cambio	Pluma					10						0,9%
	Tx hoist					10						
	Bastidores				7				7			

Tabla N° 16, Impacto de estrategia de componentes

Considerando un arriendo de un cargador WA1200, las horas de operación y rendimiento necesario para suplir la falta de una pala, sin contar con componentes y la comparación de la inversión en los componentes, sin considerar el incremento de producción por tener más tiempo de una pala, existe un delta VAC favorable a la alternativa de contar con los componentes de respaldo. No está valorizado el ahorro en mano de obra utilizada en la reparación de los componentes, al hacerlo en faena.

Componente	Gasto	Frecuencia	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Mango	200.000	18.000			200.000			200.000			200.000	
Bastidores	280.000	35.000				280.000				280.000		
Pluma	290.000	35.000					435.000					435.000
Conjunto Polea punta pluma	100.000	35.000						100.000				
Carbody	350.000	50.000										350.000
Revolving Frame	200.000	50.000										200.000
Gantry	60.000	60.000										60.000
Saddle Block	120.000	18.000			120.000			120.000			120.000	
Arriendo cargador WA1200						6.274.257						
			0	0	320.000	6.554.257	435.000	420.000	0	280.000	320.000	1.045.000

VAC (8%) : 6.427.718

Componente	Gasto	Frecuencia	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Mango	200.000	18.000			200.000			200.000			200.000	
Bastidores	280.000	35.000				280.000				280.000		
Pluma	290.000	35.000					290.000					290.000
Conjunto Polea punta pluma	100.000	35.000						100.000				
Carbody	350.000	50.000										350.000
Revolving Frame	200.000	50.000										200.000
Gantry	60.000	60.000										60.000
Saddle Block	120.000	18.000			120.000			120.000			120.000	
Inversión componentes						2.000.000						
			0	0	320.000	2.280.000	290.000	420.000	0	280.000	320.000	900.000

VAC (8%) : 3.120.164

Tabla N° 17, VAC de estrategia de componentes

CAPITULO 8, CONCLUSIONES

- I.- El impacto de la estrategia de componentes en la disponibilidad, al disponer de una pluma, un juego de bastidores y una transmisión de levante es de 82 días menos de detención en un horizonte de 10 años, es decir, un 2.25% más de Disponibilidad en el mismo periodo. Contar con estos elementos disminuye el tiempo de detención, al ser necesario sólo realizar el cambio del componente, instalando el componente en condiciones y procediendo a la reparación del componente retirado, sin detención de los equipos, como tradicionalmente se realiza para estos tres tipos de componentes. Para la flota de 3 palas, se tiene un impacto de 246 días más de operación en 10 años.
- II.- Las alternativas para el servicio de mantenimiento de la flota de palas es la de carácter interno y la externo. La alternativa interna no es totalmente autosustentable y requiere de todas formas del apoyo de servicios de mantenimiento externo. Para el caso de DRT se visualiza factible seguir con un contrato de servicios, dando énfasis a la estrategia de operación de contratos, en vista de la debilidad detectada en la rotación del personal. Esta estrategia aborda esta problemática.
- III.- Existe una diferencia importante en el valor actual de gastos entre realizar el mantenimiento en forma externa, respecto la alternativa interna, siendo más económica la externa. El elemento de gasto relevante corresponde al costo de la dotación interna. Otro elemento importante corresponde a la irreversibilidad de la alternativa de mantenimiento interno. Para cada pala nueva, se tiene un delta VAC de MUS\$ de 7,5 a favor de la alternativa externa (MUS\$ 22,5 para las 3 palas en 10 años).
- IV.- No se cuenta con sistemas de información orientados a la gestión del mantenimiento, en donde los proveedores de servicios de mantenimiento registren información relevante de las detenciones de equipos. Es relevante avanzar hacia el uso del SAP Codelco, módulo PM, por parte de los servicios.
- V.- Es necesario actuar en forma temprana cuando se identifiquen desviaciones en la

condición de las máquinas o indicadores clave del servicio, que puedan provocar problemas mayores. Es necesaria una conducta proactiva y preventiva en forma permanente, ya sea del personal propio de Codelco, como la de sus colaboradores.

VI.- Las palas son equipos críticos en una operación Minera y se debe dar el soporte de servicios que esta situación amerita. Desde el punto de vista de este trabajo, se elaboró 6 ámbitos de estrategias aplicables al servicio de mantenimiento de palas de DRT :

- Estrategia de contratos, enfocada a contar con contrato de amplia cobertura para las actividades de mantenimiento con un plazo de 10 años al menos y precios de mercado.
- Estrategia de Operación de contratos, enfocada a contar con soporte técnico especialista en el servicio, por parte del proveedor del servicio Marc.
- Estrategia Operacional interna de DRT, enfocada disminuir daños por mala operación y rescatar información importante de los sistemas de las máquinas en forma remota. Se plantea como meta disminuir a la mitad las detenciones por malas practicas de operación, lo que tendrá un impacto en la disponibilidad de un 1%., es decir, 3,6 días año y 36 días en total en 10 años.
- Estrategia de componentes, enfocada a contar con componentes de repuesto, para disminuir tiempos de reparación, buscando adquirir aquellos con no cuenta el servicio y Codelco, promover sinergia entre Divisiones y disminuir tiempos de detención por reparaciones mayores.
- Estrategia de detenciones programadas e imprevistos, enfocada en el uso eficiente de los recursos del servicio, en énfasis en la calidad y oportunidad de los mismos, eliminación de imprevistos.
- Estrategia de administración del contrato, enfocada a contar con personal especialista interno, contraparte técnica al proveedor Marc, con experiencia técnica y administrativa suficiente para asegurar la ejecución de las actividades del servicio.

Bibliografía

- Arata Adolfo, Ingeniería y Gestión de la Confiabilidad Operacional en Plantas Industriales, Aplicación de la plataforma R-MES, 1a edición, Santiago, RIL editores, 2009, 442 páginas. ISBN : 978-956-284-658-5.
- Moubray John, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II, edición en Español en 2004, 433 páginas. ISBN : 09539603-2-3
- Campbell John D., Jardine Andrew K.S., Maintenance Excellence, Optimizing Equipment Life-Cycle Decisions, Copyright 2001 by Marcel Dekker Inc., 495 páginas. ISBN : 0-8247-0497-5
- Coetzee Jasper L., Maintenance, Maintenance Publishers (Pty) Ltd., Published 1997, 476 páginas. ISBN : 0 620 21504 6.
- Manual de servicio palas P&H 4100 XPB y 4100 XPC, series 41096, 41102, 41153.

Anexo N°1, Recomendaciones Generales de Operación de Palas

1.- Consideraciones generales de Operación

- No colocar la pala muy lejos del frente de excavación. Estando más cerca se logra ciclos de carga más rápidos y mejores factores de llenado.
- No colocar la pala en lugares en donde se requieran ángulos largos de giro. Ubicar la pala donde se use ángulos cortos de giro.
- No dar vueltas cerradas que sobrecarguen las orugas. Dar giros graduales cuando se cambie de dirección.
- No aplicar giro al excavar. Mantener el giro neutro en la excavación.
- No usar el material del camión para frenar el giro. Desactivar el giro con la anticipación necesaria para detener sin tocar la carga.
- No barrer el piso con el balde. Limpie el piso utilizando movimientos normales de excavación.
- No excavar con las esquinas del balde. Se debe excavar usando el ancho del balde, con el filo cortante de los GET del balde.
- No atrapar material de colapso del banco con balde cargado. Abrir la puerta del balde para evitar el atrapamiento o realice giro, si es posible.
- No golpear las zapatas con el balde. Se debe cuidar movimientos de giro en proximidades de orugas.
- No operar en terrenos irregulares o blandos (entierro o balanceo). Se debe tener una base estable y nivelada para trabajar con la pala, llevando bien el piso.
- No utilizar límites de empuje y levante para operar la pala. Los límites son elementos de protección y no de operación normal.

2.- Impactos de giro y giros del balde en el banco

- Realizar levante y un giro con balde dentro del banco sobrecarga la máquina. No se puede realizar movimientos simultáneos.
- Sobrecarga la estructura del mango, los dientes de la cremallera, piñones y correderas (carga lateral).
- Acelera el desgaste de las piezas de la pluma (Talón y pasadores).
- Provoca grietas en mamparos y uniones soldadas interiores de la pluma.
- Sobrecarga al eje de corredera, bujes rodamientos, engranajes (transmisión de empuje).
- Sobrecarga la estructura del balde (conexiones superiores, elementos estructurales, mamparos interiores, labio).
- Sobrecarga los componentes del sistema de giro (piñones y ejes de giro, pasador central, dientes de la corona principal, pistas de rodadura).
- Los modos de falla son de tipo estructural (fallas por fatiga en uniones soldadas, fracturas, desgaste de piezas, entre otras).

Acciones para minimizar daños

- No realizar un giro con balde penetrando en el banco. Penetrar con el balde en el banco, sólo una vez que se concluya el movimiento de giro de la máquina.
- No detener balde en contra del banco (desaceleración brusca). No limpiar piso usando el balde en giro (barrido).
- No detener balde en giro en la carga de camiones (desaceleración brusca). No acomodar la carga en una tolva con el balde.
- Verificar movimiento de “cabeceo” de correderas. Se debe solicitar ajuste en caso de existir juego.
- No operar sin las planchas de ajuste de las correderas, ya que aumenta el juego de mango y existe más sencibilidad a los impactos en giro.

- Revisión de ajuste de pasador central. Verificar “cabeceo” de la máquina con carga. Exceso de juego en pasador central e impactos sobrecargan corona principal.
- Mantener buena zona de carga (fragmentación del material). Por diseño y seguridad, la máquina no puede cargar material no tronado o doblar bancos.

3.- Levantamiento de pluma

- No dar exceso de referencia de empuje al momento de levantar la carga en el banco.
- Colocarse a una distancia adecuada del banco para no extender demasiado el mango y balde o quedar demasiado cerca del banco.
- Mantener habilitados los sistemas de protección de las máquinas (sensor ABSS de la pluma).
- Dar movimiento suave y continuo de empuje con el mango al arremeter contra un banco.
- Perforación y tronadura adecuada, cuidando de no dejar zonas altas de material duro en el piso de la pala (“patas”).

4.- Propulsión Segura

- Los brazos del mango deben estar en posición horizontal, la línea de los cables de levante en forma diagonal hacia delante y la puerta abierta.
- La propulsión debe ser sobre una superficie lo más plana posible.
- Virar en incrementos de 15 a 20 grados.
- Usar propulsión hacia delante lo más posible. No virar en reversa.

- Verificar condición de tensado de orugas, frenos, pasadores de orugas y ruedas motrices, en especial si la pala subirá.
- Revisar condición del camino, irregularidades, tendido eléctrico, pendiente de rampas.
- La pendiente máxima que una pala P&H se puede mover, subiendo o bajando, con seguridad, es de 15% (sólo mover).
- La pendiente máxima que una pala P&H puede viajar transversalmente, con seguridad, es de 10% (sólo mover).
- Cuidar de que la zona de trabajo este nivelada y firme, ya que la pala no tiene suspensión y las irregularidades del terreno son absorbidas por las estructuras de la pala, ya que no es totalmente rígida, dando lugar a grietas en las uniones soldadas y en planchas de las estructuras.
- El porcentaje de traslado no debe exceder del 6% del total de horas de operación. Cuidar de no realizar traslados más allá de este porcentaje, ya que los componentes del sistema de rodado no lograrán llegar a su vida nominal y se efectuará un gasto relevante antes de lo recomendado.
- En la operación, se debe cuidar de no golpear las zapatas de las orugas con el balde, ya que puede provocar fracturas en el balde o zapatas, pudiendo llegar a ser fallas relevantes desde el punto de vista de seguridad (salida de seguros de pasadores de orugas).

5.- Sistema de giro

Hay varias condiciones operacionales que provocan daños en el sistema de giro :

- Trabajar con pendientes de más de un 5%. La pala no puede exceder este porcentaje, debiendo ser usado un cargador para abrir rampas. Se produce un desgaste de los componentes del sistema de giro.

- Trabajar sin ajuste adecuado en pasador central. Se debe realizar medición de juego y el ajuste requerido, para evitar daños en pistas de rodadura, rodillos y elementos estructurales de la pala.
- Exceso de cabeceo de la pala (boom jacket, carga extendida del balde, swing impact). Por falta de ajuste no existirá un contacto uniforme de los rodillos y pistas, pudiendo fracturar pistas, rodillos, con el consiguiente tiempo de reparación asociado.
- Trabajar en la misma posición. Una buena práctica operacional es realizar 3 giros completos al inicio de cada turno. Con esto se logra lubricar superficie de los rodillos, distribuyendo de mejor manera el desgaste de los mismos y de la zona de desgaste de la corona.
- Detener el giro con contramarcha y disminución de velocidad de giro, para evitar golpes en dientes de corona. Las detenciones bruscas de giro no son recomendadas por los altos esfuerzos que transmiten.
- No trabajar en zonas con riesgo de caídas de rocas de gran tamaño, que pueden sacar contrapesos y dañar componentes estructurales. Se debe revisar la zona de trabajo y en caso de existir rocas de gran tamaño, comunicar a línea de mando para buscar zona de carga más segura.
- No mover rocas de gran tamaño usando el giro de la máquina (balde y mango). Se debe usar bulldozer para empujar y sacar rocas grandes de la zona de carga.
- Los modos de falla típicos son el desgaste irregular de componentes del sistema de giro y fisuras en componentes estructurales.

Anexo N°2, Estimación de intervenciones en palas 4 100 XPB y 4100 XPC AC

Periodo	Sistemas	Actividades	Tiempo, días
más de 96000	Giro	Cambio de pin central, tuerca y bujes	60
48000 a 54000	Giro	Cambio corona de giro, pistas, piñones de giro, buje pin central y revolving. Reparacion estructural y mecanizado apoyo de pista en revolving frame. Reparacion estructural carbody, mecanizar base apoyo pistas y corona de giro	60
	Levante	Cambio de corona y rodamientos tambor hoist. Reparación estructural tambor Chequeo dimensional y reparación estructural caja hoist. Cambio de bujes y pasadores de montaje.	
	Pluma	Cambio de bujes y pasadores de gantry y pluma, reparación estructural mayor	
	Alta tensión	Cambio seccionador caja inferior de alta tensión	
30000 a 36000	Propel	Cambio transmisiones de propulsión; pernos y acoplamientos nuevos.	30
	Levante	Girar corona y cambio rodamientos tambor hoist. Reparación estructural tambor Cambio de reducciones intermedias; ejes, coronas y rodamientos. Cambio ejes de primera reducción; ejes, acoplamientos y rodamientos.	
	Pluma	Cambio de bujes y pasadores. Reparacion estructural Cambio de planchas a cajones de desgaste	
	Crowd	Cambio shipper shaft, corona, bujes y gollitas de apoyo Cambio de eje intermedio, corona y rodamientos Cambio de eje de primera reducción y rodamientos Chequeo dimensional y reparación estructural caja crowd	
	Lubricación	Cambio de bombas de circulación de aceite de transmisiones; Crowd, Hoist y Swing	
	Alta tensión	Cambio seccionadores gabinete de alta tensión (Principal y Auxiliar) Cambio anillos colectores por unidad reparada	
	Sala Máquinas	Cambio ventiladores principales por unidades reparadas Cambio de huinches para cambio de cables por unidades reparadas	
24000 a 30000	Propel	Cambio de polines, ruedas guías y ruedas tensoras del Rodado. Reparación estructural de bastidores	15
	Crowd / Pluma	Cambio de cables de suspensión por unidades nuevas Cambio de Dipper trip por unidad reparada	
	Giro	Cambio de transmisiones de giro; pernos y acoplamientos nuevos.	
18000 a 24000	Propel	Cambio de zapatas por unidades nuevas Cambio de ejes propel por conjuntos nuevos Cambio de tumblers por unidades nuevas	7
	Giro	Cambio de ejes y piñones de giro	
	Crowd / Pluma	Cambio de poleas de pluma por unidad reparada; preferencia aplicar up-grade.	
	Sala Máquinas	Cambio de ventiladores de gabinetes eléctricos por unidades reparadas	
12000 a 18000	Crowd / Pluma	Cambio de mango por unidad reacondicionada; cambio de cremalleras, bujes y pasadores Cambio de saddle blocks; cambio de bujes y placas desgaste Cambio de piñones de shipper shaft, en conjunto con instalacion de mango con cremalleras nuevas Cambio de ventilador motor C.C. Crowd	4
	Hoist	Cambio de ventilador motores C.C. Hoist	
	Giro	Cambio de Motores de C.C, ventiladores y Frenos de giro	
	Propel	Cambio de Motores de C.C, ventiladores y Frenos de propulsión	
6000 a 12000	Propel	Cambiar pasadores y seguros a zapatas. Hacer trimming de flujo plástico.	3
	Aire Comprimido	Cambiar compresor de aire Cambiar válvulas relief, solenoides, direccionales y descarga rápida de aire comprimido	
	Lubricación	Cambio de bombas, válvulas direccionales y relief de sistema central de grasa	
	Crowd / Pluma	Reparación estructural de mango (Cambio por Unidad Reacondicionada solo si necesario) Cambio de Motor de C.C.	
	Hoist	Cambio de Motores de C.C Cambio de Frenos de levante	
	Crowd / Pluma	Cambio de Frenos de Empuje (Crowd)	
0 a 6000	Dipper	Cambio de Balde por unidad reacondicionada	2
	Dipper	Reparacion estructural, cambio bujes, cambio sistema cierre puerta	