

Universidad de Valparaíso
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil Industrial



“Rediseño del proceso de mantenimiento para palas de carguío H&P 2800XP, en Compañía Contractual Minera Candelaria”.

por

Julio Hammad Masso Salah.

Trabajo de Título para optar al Grado de Licenciado en Ciencias de la Ingeniería y Título de Ingeniero Civil Industrial.

Profesor Guía: Luis Seccatore G.

2014

Agradecimientos

Al final de este proceso quisiera agradecer a mi familia, el pilar fundamental de todo lo que soy, en especial a mis padres, porque sin ellos, sin su amor, consejos y apoyo indiscutibles, no habría llegado hasta aquí, por entregarme educación, herramientas, valores y enseñanzas de vida necesarias para cuando ellos no estén.

A mis hermanos Samia y Taufick por estar conmigo siempre., por escucharme y ayudarme continuamente, sobre todo en mi época de estudiante

A mi jefe en Minera Candelaria Don Patricio Moya quien me enseñó y con bastante paciencia guio en este proyecto, además de enseñarme capacidades básicas para desempeñarme en el ambiente laboral de la minería.

A mis amigos que estuvieron a mi lado a lo largo de toda esta etapa y que me apoyaron y acompañaron en todo momento, quienes siempre creyeron en mí.

A mis profesores, que me escucharon y atendieron mis dudas durante la elaboración de mi memoria, como lo fue mi profesor guía Luis Seccatore.

Finalmente, a todos aquellos que hicieron posible que hoy esté aquí. Muchas gracias.

Índice

Índice de ilustraciones.....	6
Indice de tablas.....	6
Glosario	7
Lista de abreviaturas y siglas.....	10
Diagrama de flujo de procesos.	11
Resumen.	12
Capítulo 1: Introducción	14
Introducción	15
Planteamiento del problema.	17
Objetivos.....	17
Objetivo General.....	17
Objetivos Específicos.	17
Resultados esperados	17
Alcances y límites.	17
Capítulo 2: Descripción de la empresa.....	19
Visión de CCMC	20
Misión de CCMC.....	20
Reseña Histórica	20
Ubicación.....	22
Palas Electro mecánicas en Compañía Contractual Minera Candelaria.....	23
Capítulo 3: Descripción del problema.....	25

Criterio para la mantención en Minera Candelaria.	26
Pala Electro Mecánica P&H_2800XP	27
Costo de falla en palas 2800XP para CCMC	29
Mantención en palas.....	29
Mantenimiento Reactivo en Palas.....	29
Mantenimiento Predictivo en Palas.....	30
Mantenimiento Preventivo (PM) en Palas.....	33
Apoyo de empresas externas en la mantención preventiva	35
Utilización de palas P&H_2800XP, en Minera Candelaria.	36
Disponibilidad requerida por parte de la empresa.....	36
Capitulo 4: Marco Teórico.	38
Mantenimiento	39
Estrategias de mantenimiento.....	40
Mantenimiento de reparación (Reactivo)	40
Mantenimiento predictivo o condicional	41
Mantenimiento preventivo (PM)	43
Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).....	44
Que es PMO	45
Diferencias funcionales entre RCM y PMO	46
Diferencias metodológicas entre RCM y PMO	47
Cómo y porqué el PMO es más rápido que el RCM	48
Debilidad del PMO.....	48
Consecuencias de falla.....	49
Evaluación de tareas propuestas.....	49

Análisis de criticidad	50
Desarrollo de la matriz de criticidad	51
Capitulo 5: Desarrollo de la metodología.....	54
Planteamiento del problema.	55
Ausencia de procedimiento planifique una correcta coordinación	55
Falta de flexibilidad por parte de los ejecutores de la operación	56
No existe una estandarización para la documentación	57
Poca especificación sobre el proceso de mantener un componente.....	59
Falta de mecánicos y eléctricos	60
Metodología	61
Diagrama de Flujo del proyecto, para la creación de Mantenimiento	61
Pasos Realizados en el Proyecto.....	62
1.-Levantamiento del Proceso de Mantenimiento Preventivo	62
2.-Descartar procedimientos que no agreguen valor a la Disponibilidad	64
3.-Generar una pauta de Mantención adecuada para las Palas	68
4.-Designar frecuencia de mantención	68
5.-Estandarizar el documento de mantenimiento	69
6- Coordinar trabajos en la mantención	71
7.- Validar rediseño, mediante juicio de expertos en el tema	73
Capitulo 6: Conclusiones.....	75
Conclusiones	76
Recomendaciones	78
Bibliografía	79
Anexo.....	80

Anexo N° 1 Cartas Gantt	80
Anexo N°2 Evaluación de criticidad.	84
Anexo N°3: modificaciones de documento de mantención.....	101
Anexo N°4: modificaciones de Formato	104
Anexo: N°5 Disponibilidad	105
AnexoN°6 Reglamento de Seguridad Minera.....	109
Anexo N°7 Diagrama de partes de la Pala P&H_2800XP	112

Índice de ilustraciones.

ILUSTRACIÓN 1 UBICACIÓN DE MINERA CANDELARIA; IMAGEN PROPIEDAD DE CCMC	22
ILUSTRACIÓN 2 ORTO IMAGEN DE INSTALACIONES MINERA CANDELARIA; IMAGEN PROPIEDAD DE CCMC.....	23
ILUSTRACIÓN.¡ERROR! UTILICE LA FICHA INICIO PARA APLICAR 0 AL TEXTO QUE DESEA QUE APAREZCA AQUÍ..3.0 CRITERIO DE MANTENIMIENTO, GERENCIA DE MANTENIMIENTO COMPAÑÍA CONTRACTUAL MINERA CANDELARIA. FUENTE PROPIA....	27
ILUSTRACIÓN 4.0.¡ERROR! UTILICE LA FICHA INICIO PARA APLICAR 0 AL TEXTO QUE DESEA QUE APAREZCA AQUÍ..4; FORMULA DE CRITICIDAD FUENTE: (LEVITT, 2005)	50
ILUSTRACIÓN 4.¡ERROR! UTILICE LA FICHA INICIO PARA APLICAR 0 AL TEXTO QUE DESEA QUE APAREZCA AQUÍ..5; FORMULA PARA ESTIMAR IMPACTO TOTAL DE UNA FALLA A LA EMPRESA. FUENTE: (LEVITT, 2005)	51

Índice de tablas

TABLA 3.0-1 TABLA FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN PALAS P&H_2800XP. ELABORACIÓN PROPIA.	32
TABLA 4.0-1 VALORIZACIÓN DEL IMPACTO QUE OCASIONA EN CADA FACTOR UNA FALLA. FUENTE:	51
TABLA 4.2 CRITERIO PARA VALORIZAR LA FRECUENCIA ANUAL DE FALLAS EN FLOTA DE PALAS FUENTE:	52

Índice de gráficos

GRÁFICO 3.0-1 PARETTO DE DISPONIBILIDAD PALAS H&P_2800XP PERIODO 2013. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	30
GRÁFICO 3.0-2 GRAFICO DE UTILIZACIÓN DE PALAS P&H_2800; PERIODO: MARZO 2012- OCTUBRE 2013. FUENTE: MINERA CANDELARIA.	36
GRÁFICO 3.3 GRÁFICA DE DISPONIBILIDAD EN PALAS P&H_2800XP; PERIODO: MARZO 2012 - JUNIO 2013. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	37

Glosario

A

Acción correctiva: acción realizada para eliminar la causa de una falla o una situación indeseable, con el fin de evitar que vuelva a ocurrir.

B

Botadero de una mina: lugar en donde es depositado, el material estéril, proveniente de la mina.

C

Criadero: “Agregado de sustancias inorgánicas de útil explotación, que naturalmente se halla entre la masa de un terreno” (Real Academia Española)

Chancador: máquina que tritura rocas minerales, con el propósito de facilitar procesos posteriores, los cuales tienen el fin de separar los metales del material.

D

Disponibilidad: indicador que expresa el tiempo en que el equipo o sistema se encuentra operativo respecto de la duración total que debiese haber funcionado.

E

Estéril: “Parte inútil del subsuelo que se halla interpuesto en el criadero”. (Real Academia Española)

F

Frecuencia de falla: La cantidad de fallas que ocurren en un tiempo determinado.

“fase 8”: Dentro de Minera Candelaria corresponde al fondo de la mina a tajo abierto, es donde se encuentra el mineral que debe ser cargado en camiones para su traslado al chancador primario.

“fase 9”: Dentro de Minera Candelaria se denomina a cierta área de la mina a cielo abierto donde actualmente se realizan trabajos de desarrollo, removiendo gran cantidad de material estéril con destino a botadero.

L

Ley de mineral: es el porcentaje de minerales u otros componentes con valor comercial, que contiene el terreno.

LOTOTO: siglas en ingles de (lock, out, tag out, try out), el cual es un procedimiento para bloquear energías en equipos o componentes, antes del ingreso del personal, para esto todo el que entre en la zona de riesgo debe bloquear por medio de un candado, con el propósito de solo el que bloqueó pueda desbloquear al retirarse del lugar.

Pasos del LOTOTO:

1. Identificar energías peligrosas
2. Obtener permiso de bloqueo
3. Aislar la fuente de energía
4. Bloquear el dispositivo de aislamiento
5. Probar y testear el equipo
6. Eliminar la energía acumulable

M

Mantenimiento eléctrico: mantenimiento realizado por especialistas, con el propósito de mantener los componentes eléctricos de un sistema, componentes como cableados, transformadores, condensadores, motores eléctricos, etc.

Mineral: “Sustancia inorgánica que se halla en la superficie o en las diversas capas de la corteza del globo, y principalmente aquella cuya explotación ofrece interés” (Real Academia Española) (Real Academia Española)

Mina a tajo abierto: son aquellas explotaciones mineras que se encuentran en la superficie del terreno

P

PIT: palabra en inglés para Pozo.

S

“Stock Pile”: lugar de acopio del mineral, donde después de haber sido reducido de tamaño por el chancador primario, el material se apila en espera de ser procesado por la planta.

V

Vehículos de apoyo: vehículos motorizados, encargados de facilitar el trabajo a los componentes que desarrollan las funciones principales de la compañía, por lo general estos vehículos, mantienen los caminos o facilitan las condiciones de trabajo terreno.

Lista de abreviaturas y siglas

CCMC: Compañía Contractual Minera Candelaria

PM: mantenimiento preventivo

PMO: siglas en inglés (PM Optimisation),

SAP: Programa computacional que procesa datos de Sistemas, aplicaciones y productos

OT: orden de trabajo, programada desde el software SAP

PSI.: Pounds per squareinch; unidad de presión del sistema anglosajón, donde se mide libra-fuerza por pulgada cuadrada.

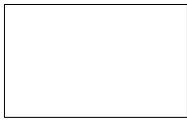
MTBF: Mean time between fail; tiempo promedio entre fallas.

MTTR: Mean time to recovery; tiempo promedio para reparar la falla.

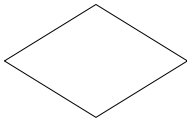
RCM: Reliability centered maintenance; mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Diagrama de flujo de procesos.

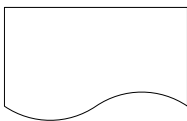
= identifica el ingreso de información.



=Identifica el proceso como una acción



=Identifica la toma de decisiones como la aprobación o rechazo a cierta prueba



=Transferencia física o la generación de un documento



= Muestra la Dirección del flujo del proceso

Resumen.

En el ambiente de la minería se manejan grandes capitales derivados de la producción, donde las empresas mineras generalmente sólo pueden manejar las variables de costos y producción. Para esto se deben buscar equipos que aumenten la producción a un menor costo.

Al considerar factores donde se pueden mejorar los costos dentro de las faenas mineras la mantención es el mayor costo controlable, ya que es la única forma de asegurar disponibilidad y confiabilidad en componentes críticos, para que esto se pueda cumplir la mantención debe ser integral, debiendo realizar mantenciones preventivas, predictivas y reactivas

El Proyecto Titulo se desarrolla en “Palas eléctricas P&H2800” equipos críticos para la producción de una minera, ya que estas son las encargadas de extraer el material desde el suelo para su posterior transporte. Específicamente nos enfocaremos en el caso de “**Compañía Contractual Minera Candelaria**”, donde se busca aumentar la eficiencia de las mantenciones al rediseñar el proceso de mantención preventiva en palas de carguío P&H 2800.

La Minera posee 3 palas P&H 2800, las cuales son mantenidas cada 300 Hrs de trabajo o aproximadamente 15 días de calendario, en donde trabajan 4 eléctricos y 5 mecánicos, más apoyo de empresas externas.

Este Trabajo se inició por medio de un levantamiento del proceso de PM, para lo cual: se estudiaron manuales de fábricas, se realizaron análisis de datos y entrevistas con especialistas. Esto permitió conocer el proceso de mantenimiento en su totalidad junto con sus problemáticas

El proyecto genero una pauta de mantenimiento para cada componente, lo que aumenta la precisión de los resultados del proceso.

Utilizando matrices de criticidad se designó la frecuencia para mantener cada componente de las palas P&H 2800, lo que mejoró la eficiencia de recursos humanos para cada mantención.

Se mejoró la coordinación entre equipos de trabajo al generar una carta Gantt para cada mantención colaborando con la reducción de obstaculizaciones entre equipos de trabajo.

Además se incorporaron protocolos durante las mantenciones con el propósito de mejorar la seguridad y permiten estandarizar futuras modificaciones algunos ejemplos son: pausas pre establecidas para realizar pruebas, identificación del mantenedor de cada componente e incorporación de normas de seguridad en cada mantención.

Capítulo 1: Introducción

Introducción

La industria minera en nuestro país se ha visto en la obligación de cambiar sus políticas de producción, para llegar a ser una Industria competitiva a nivel mundial. Las políticas de producción, que han sido modificadas, están relacionadas con el mejoramiento de la calidad del producto final, aumento de la producción y la reducción de los costos de producción.

La producción en la industria minera, depende, entre otras cosas, de la disponibilidad de la maquinaria productiva. La disponibilidad es una característica del diseño y fabricación de las máquinas, que debe ser explotada y conservada permanentemente por medio de una correcta operación y adecuado programa de mantenimiento.

El principal motivo por el cual los equipos dejan de estar disponibles en un momento dado son las fallas. Las fallas son de los más diversos tipos, tienen múltiples causas y sus efectos son muy variados. Tales fallas pueden ir desde aquellas con mínima o ninguna consecuencia, hasta aquellas con resultados catastróficos

Para garantizar la continuidad de la producción, en los niveles requeridos por la industria, la empresa necesita tener un riguroso mantenimiento de los equipos críticos, a fin de evitar pérdidas por detenciones imprevistas, mala calidad del producto o daños a la propiedad

Bajo esta premisa, el mantenimiento se define como la combinación de acciones técnicas y administrativas que buscan evitar fallas para preservar la funcionalidad de los activos físicos en el tiempo, conservándolos para que puedan permanecer de acuerdo con una condición específica, asegurando que éstos se encuentren constantemente y por el mayor tiempo posible, en condiciones de confiabilidad y que sea seguro operar.

Acorde a esta situación La Minera en donde se desarrolla el proyecto de Título, realiza constantemente mantención de tipo reactivo, predictivo y preventivo. Siendo en este último, donde se realizará el Proyecto de Título, específicamente en los equipos críticos “Palas de carguío P&H2800” al buscar aumentar la eficiencia de los procesos de mantenimiento preventivo.

Los procesos de mantenimientos preventivos consisten en la detención de las Palas durante 16 horas, donde se realizan una serie de procedimientos de inspección y corrección de fallas.

En este trabajo de Título se buscará aumentar la eficiencia de las mantenciones preventivas, en especial se orientará a reducir la mano de obra utilizada en cada mantención. Buscando minimizar una serie de problemas como ausencia de procedimientos que planifiquen una correcta coordinación entre equipos de trabajo, falta de flexibilidad en las mantenciones, poca especificación en el proceso de mantención, siendo poco precisa, lo que genera un procedimiento de mantención con un gasto excesivo de mantenedores o HH,

Por medio de trabajo en terreno, consulta a manuales, especialistas, análisis de datos y la utilización de métodos de gestión del mantenimiento como OPM y Matices de Criticidad, se generó un procedimiento de mantención con la frecuencia correspondiente para mantener cada componente, además de una coordinada intervención de los equipos de trabajo en la Pala. Todo lo anterior, fue desarrollado con el propósito de aumentar la eficiencia en los procesos de mantenimiento, lográndose reducir la ayuda de contratistas y, por consiguiente, una reducción en los costos de mantención del equipo, además de proporcionar una mejor mantención.

Planteamiento del problema.

Objetivos

Objetivo General.

Rediseñar el mantenimiento preventivo en palas de carguío H&P 2800 XP₇ para aumentar la eficiencia en este proceso.

Objetivos Específicos.

1. Coordinar mantenencias eléctricas con mantenencias mecánicas, para evitar interferencia entre partes.
2. Designar tareas necesarias en cada mantención programada
3. Establecer propuestas de estandarización para los procesos rediseñados de las palas.
4. Validar rediseño, mediante juicio de expertos en el tema.

Resultados esperados

- Reducir tiempos de palas paralizadas durante las mantenencias programadas.
- Desarrollar un procedimiento de mantención más eficiente.
- Contar con un manual de procedimiento estándar para cada acción de mantención,

Alcances y límites del Proyecto de Título.

- Este Proyecto de Título no incluye la implementación, sólo el diseño de la mejora. Este Proyecto de Título sólo incluye el diseño de la mejora.

- La propuesta no desarrolla el cómo hacer la mantención de los componentes de la pala, si no que enuncia cuándo y qué mantener de cada componente.
- El Proyecto de Tesis no desarrolla una aclaración específica de los componentes, dado que ello está detallado en el “*manual de mantenimiento de la pala*”, documento que cuentan los propietarios de la misma.

Capítulo 2: Descripción de la empresa.

A continuación se presentarán los antecedentes generales Visión, Misión, ubicación geográfica, breve reseña histórica, estructura organizacional, propiedad de la compañía y otros antecedentes contingentes.

Visión de CCMC

“Ser reconocida como una Compañía líder en Atacama, donde los habitantes de la región deseen trabajar, líderes en la protección del medio ambiente, el cuidado del personal y el desarrollo de sus trabajadores y las comunidades vecinas y por su firme apoyo al desarrollo sustentable.”

Misión de CCMC

“Alcanzar una tasa promedio de producción de 355 millones de libras de cobre en los próximos 5 años, a un costo unitario en el tercer cuartil de la industria, con el más alto estándar de seguridad y protección del medio ambiente, junto con el desarrollo social de las comunidades, en un ambiente estimulante y emprendedor para nuestros trabajadores.”

Reseña Histórica

En 1987, tras un sostenido y planificado programa de exploraciones efectuado por un experimentado equipo de geólogos nace Minera Candelaria.

Este importante yacimiento de cobre se ubica en la Comuna de Tierra Amarilla, a 600 metros sobre el nivel de mar y a 29 kilómetros al sudeste de Copiapó, en la Región de Atacama.

Después de completos estudios de factibilidad, que concluyeron en 1991, en octubre de 1992 se inician los trabajos de construcción del proyecto. Destacan por su envergadura una moderna Planta industrial y las instalaciones de Puerto Punta Padrones, ubicado en la Bahía de Caldera.

Paralelamente, en la mina se realizaba la remoción de más de 75 millones de toneladas de material estéril a fin de acceder al mineral.

En septiembre de 1994 se inició la producción de concentrado de cobre con la marcha blanca de las instalaciones, funcionamiento que sigue a la fecha y se estima que estima dure hasta 2030.

Posteriormente y de acuerdo al diseño original del proyecto, en marzo de 1996 se inicia la Fase II, un proceso de expansión en el que destaca principalmente la ampliación de la planta concentradora, consistente en la construcción de una segunda línea de producción cuyo objetivo es optimizar las operaciones.

La materialización de la Fase II culmina en octubre de 1997 con su puesta en marcha.

En la actualidad, Candelaria representa una de las mayores inversiones mineras realizadas en Chile y la mayor en Atacama, lo que la convierte en una significativa fuente de desarrollo para esta Región.

En marzo de 2007, Freeport-McMoRan Copper & Gold Inc. Adquiere Phelps Dodge Corporation, y junto con ello, pasa a ser operador y accionista mayoritario de sus activos en Sudamérica, entre los que destaca Candelaria.

Freeport-McMoRan Copper & Gold es una compañía minera internacional con importantes y atractivos recursos. Posee reservas probadas y probables de cobre, oro y molibdeno de larga vida útil y geográficamente diversificadas.

Sus principales filiales son:

- PT Freeport Indonesia, cuyo principal activo es la mina Grasberg y que comprende, además, un 25% de la propiedad de PT Smelting.
- Freeport-McMoran Américas, que comprende operaciones mineras de Sudamérica y Norteamérica: Cerro Verde en Perú; El Abra, Candelaria y

Ojos del Salado, en Chile; Sierrita, Bagdad, Chino, Tyrone, Morenci, Safford y Henderson, en Estados Unidos.

- AtlanticCopper, que opera una fundición y refinería de cobre en Huelva, España.
- TenkeFungurume, proyecto de cobre y cobalto en la República Democrática del Congo.
- Cotiza en la Bolsa de Nueva York bajo la sigla de FCX y su casa matriz está ubicada en Estados Unidos. Además tiene operaciones y oficinas en América, Europa, África y Asia.

Ubicación.

Compañía Minera Candelaria se encuentra ubicada a 800 kilómetros al norte de Santiago y 20 kilómetros al sudeste de Copiapó, al lado Sur del Desierto de Atacama y al lado Oeste de la Cordillera de los Andes, y a tan sólo 9 kilómetros de Tierra Amarilla, con una elevación de 680 metros sobre el nivel del mar. (Figura 1)

Minera Candelaria comprende una extensión de 4000 hectáreas que incluyen la Mina, la Planta Concentradora, el tranque de Relaves y otras instalaciones, las cuales se encuentran en la cercanía de la Carretera Panamericana 5 Norte, ruta por la cual se transporta en camiones el concentrado de cobre hasta el Puerto Punta Padrones, ubicado en el Puerto de Caldera, distante 100 kilómetros al Noroeste.



Ilustración 1 Ubicación de Minera Candelaria; Imagen Propiedad de CCMC

La Compañía posee como propiedad legal 5.199 hectáreas, de ésta, los derechos de explotación minera se ejercen sobre 4.204 hectáreas incluyendo las instalaciones portuarias en Caldera. Estas propiedades contemplan además, contratos de servidumbre con terceros.



Ilustración 2 Orto imagen de instalaciones Minera Candelaria; Imagen propiedad de CCMC

Las instalaciones físicas de Minera Candelaria ocupan 1.476 hectáreas, donde se albergan todos los procesos involucrados en la extracción y procesamiento del mineral, estos son: Mina rajo, Planta Concentradora, Planta de magnetita, botaderos de estéril, stocks, edificios de administración y puerto de embarque.

La Minera Candelaria es un deposito IOCG (cobre, oro, óxido de hierro). Mineralización de sulfuro primario corresponde a Calcopirita.

Palas Electro mecánicas en Compañía Contractual Minera Candelaria

Actualmente la Minera cuenta con 6 palas P&H, de las cuales 3 son modelo 4100 y las demás 2800, en este último modelo se desarrollará el Proyecto de Título.

Organigrama personal mantenimiento de las palas

Organigrama de relevancia para el mantenimiento de las palas, en el cual se representan todos los cargos que tiene gestión en el mantenimiento.

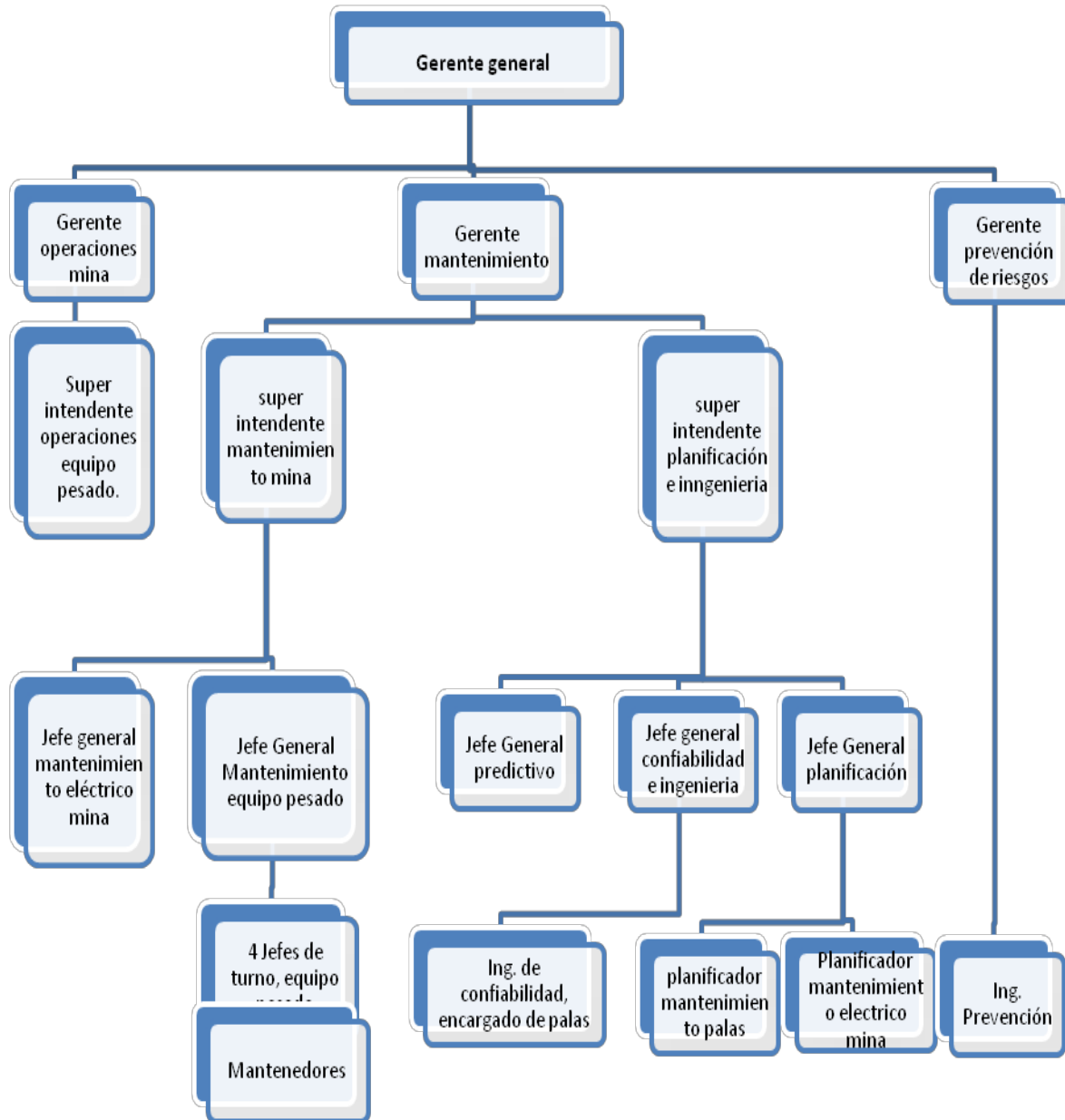


Ilustración 2.2 Organigrama Mantenimiento Palas Electro Mecánicas Compañía Contractual Minera Candelaria. Fuente Propia

Capítulo 3: Descripción del problema.

Criterio para la mantención en Minera Candelaria.

Cabe destacar la visión que tiene la empresa para la mantención de sus equipos ya que la Gerencia de Mantención tiene una visión amplia del término “mantención”, éste no sólo se orienta en los equipos sino que además se preocupa de las personas, enfocándose en 6 pilares u objetivos fundamentales, buscando generar una mantención integral para la empresa. Al mantener el lado humano se logra que los trabajadores trabajen mejor alcanzando mejores resultados generales.

A continuación, se presentan en la tabla 6 pilares fundamentales, cuyo objetivo es mejorar los procesos preventivos en la mantención de las palas, contribuyendo en los pilares de la Gerencia de Mantención.

Área	Pilares	Como afecta a CCMC
Personal	Seguridad laboral	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Realizar mejoras de PMs involucra revisar accionares seguros. ➤ Mantenciones adecuadas para evitar accidentes ocasionados por mal funcionamiento de equipos.
	Clima laboral	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aclara funciones, delimitando labores y responsabilidades ➤ reducir interferencias entre equipos de trabajo
	Desarrollo personal	Los nuevos programas tendrán aportes de todos los involucrados, por los que se sentirán parte y colaboradores del proceso

Equipos	Índices de productividad	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aumento de la Disponibilidad ➤ Aumento de la confiabilidad
	Costos	Reducción de esfuerzos, como HH
	Mejora Continua	Este proyecto es una Mejora Continua

Ilustración. ¡Error! Utilice la ficha Inicio para aplicar 0 al texto que desea que aparezca aquí..3.0 Criterio de Mantenimiento, Gerencia de Mantenimiento Compañía Contractual Minera Candelaria. Fuente Propia

En su operación las palas y los camiones de alto tonelaje son apoyados por equipos menores que pueden ser cargadores frontales, motos niveladoras, willdozer, tractores y camiones aljibes. Estos equipos menores empujan el material amontonándolo en pilas que sean más fáciles de tomar para la pala, emparejan el terreno por donde pasaran éstas y mantienen despejados los caminos de rocas que pueden dañar los neumáticos de los camiones, los camiones aljibes mantienen los caminos regados para evitar la polución de polvo.

Pala Electro Mecánica P&H_2800XP

Son equipos de carguío eléctrico desarrollados para la mediana y gran minería a cielo abierto. Las palas realizan su trabajo por medio del llenado de su balde (cucharón de la pala) cuya capacidad de carga nominal es de 70 toneladas.

Las palas eléctricas son equipos costosos y críticos en la producción que necesitan de mantenimiento preventivo para asegurar la producción en el tiempo. Tienen lenta movilidad por lo que no puede trabajar en más de un punto.

Comparadas con palas hidráulicas que ocupan combustibles fósiles, las eléctricas resultan más económicas, para una misma producción, sin embargo, la inversión inicial para una pala eléctrica es mayor que para una hidráulica.

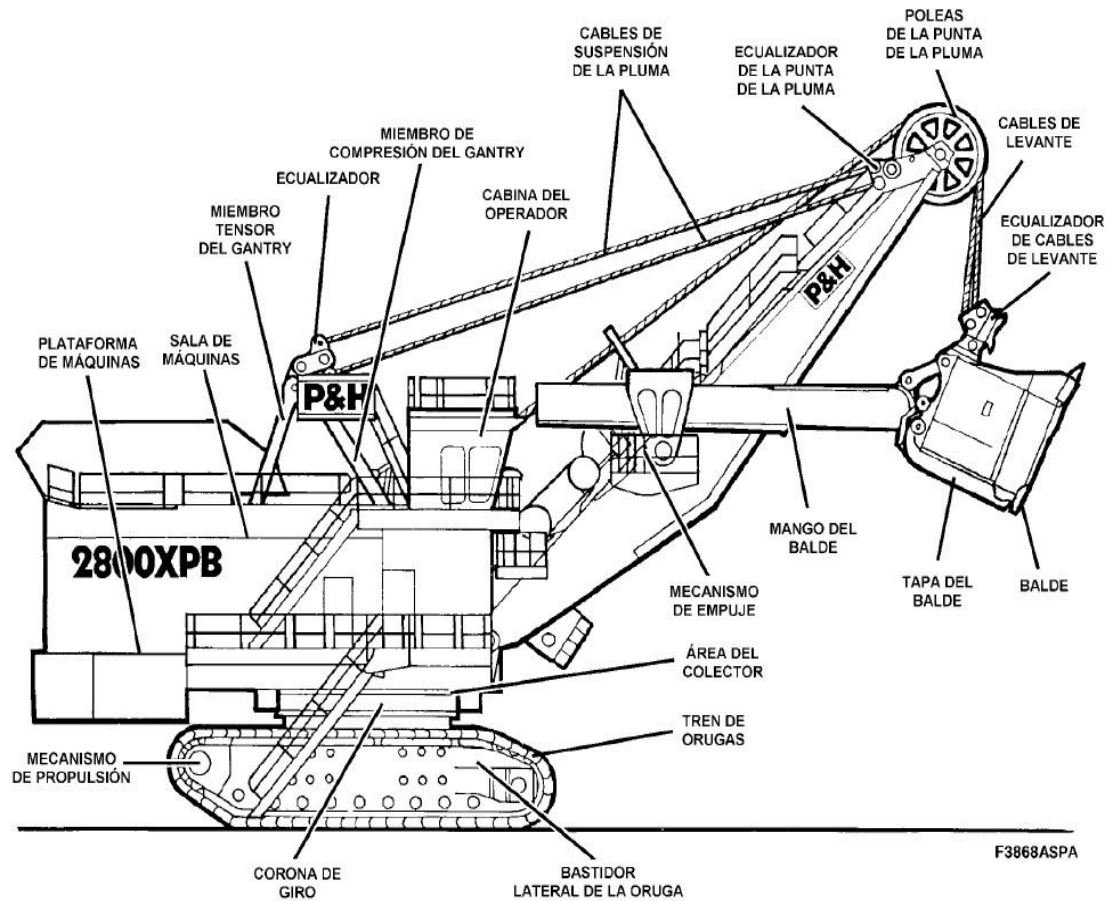


Ilustración 3.1 Diagrama de Pala P&H 2800XPB; Fuente: "Manual de Taller P&H 2800XPB "

Para mayor visualización de las partes ver Anexo N°7 donde se encuentran diagrama de partes claves de las Palas 2800XP

Costo de falla en palas 2800XP para CCMC

Actualmente la empresa estima como costo de falla o costo de ineficiencia, perdiendo ésta al tener la pala detenida o sin funcionamiento, para esto la fórmula que ocupa es:

$$\text{Costo de falla} = \text{Facturación que deja de percibir} - \text{Costos variables de operación}$$

Ilustración 3.2 Formula evaluación de costos de falla para empresa de trabajo continuo. Fuente (Levitt, 2005)

Generando un costo para la empresa de 7.983 \$US/Hrs. Este costo es estimado mediante el cálculo de producción en dólares realizado en promedio por una pala durante una hora, menos el costo de operación de la misma.

Debido al elevado costo de ineficiencia o falla, es relevante mantener una alta disponibilidad en palas, por lo tanto es indispensable contar con un adecuado mantenimiento de sus componentes.

Para mayor información de disponibilidad y utilización de palas ver anexo N°5.

Mantenimiento en palas

En las palas se realizan tres tipos de mantenimientos: reactivas, predictivas y preventivas, procesos que serán detallados a continuación:

Mantenimiento Reactivo en Palas.

Se realiza Mantenimiento reactivo después de la ocurrencia de fallas imprevistas, las más comunes son:

- Evitables:

- Incidentes operativos, por lo general derivados de un mal manejo de parte del operador de la pala u operadores de otros vehículos, como vehículos de apoyo.
- fallas de materiales o componentes mal mantenidos.
- Inevitables:
 - Sucesos y fallas imprevistas o factores al azar.

En el siguiente gráfico de Pareto se observa las fallas más comunes en las palas, donde las barras azules expresan el tiempo detenido por estos casos y en rojo el porcentaje acumulado.

Cabe destacar, que por las características del terreno el componente que más falla es el balde, específicamente los elementos de desgaste de éste, por lo que este componente tiene inspecciones diarias, además de cámaras que constantemente los monitorean.

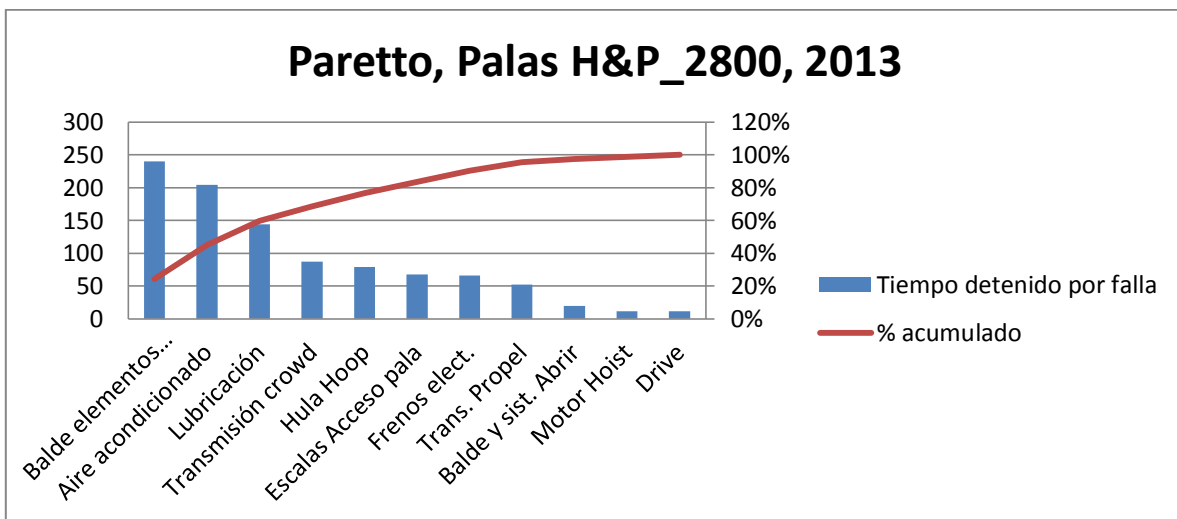


Gráfico 3.3 Pareto de Disponibilidad Palas H&P_2800XP Periodo 2013. Fuente: elaboración propia.

Mantenimiento Predictivo en Palas.

En Minera Candelaria existe el Departamento de Mantenimiento Predictivo encargado de examinar y analizar los componentes de la pala para anticiparse a la ocurrencia de fallas. Elaboran informes de los análisis realizados para que otros

departamentos los utilicen. Estos departamentos pueden solicitar análisis y ensayos específicos y además colaboran al desmontar componentes y despejar áreas dentro del equipo para ser examinadas por el especialista predictivo.

Durante todas las detenciones de las PM se realizan exámenes y ensayos no destructivos por parte del Departamento de Mantenimiento Predictivo, como:

- Inspecciones en terreno, con el fin de visualizar grietas o fisuras superficiales. Esta inspección por criterio del examinador, puede utilizar tintas penetrantes para marcar la falla, la cual se mide y fotografía.

Estas Inspecciones son realizadas especialmente en:

- Ejes de motores
 - Piezas estructurales sometidas a grandes esfuerzos, como el anclaje de la pluma u otras piezas tensoras.
- Ultra sonidos, realizados para visualizar grietas internas que no se logran ver superficialmente, se realizan a ejes y a otras partes solicitadas en forma especial. Este examen debe ser apoyado por mecánicos mantenedores, ya que requiere desarmar algunos componentes para descubrir la pieza a examinar. Cabe destacar que este es el único procedimiento dentro de las mantenciones que no incluye el procedimiento de la mantención de menor horas La frecuencia de PM en que se realiza el análisis de cada pieza se presenta la siguiente tabla 3.0.4:

PM	300	600	300	1200	300	600	300	2400
Propel derecho	√		√		√		√	
Propel izquierda	√		√		√		√	
Swing delantero	√		√		√		√	
Swing trasero		√		√		√		
Hoist delantero		√				√		
Hoist trasero		√				√		

Shipper shaft		√				√		
Crowd				√				
Eje central				√				
Polea punta				√				
Perno punta				√				
Eje pluma								√
Tambor levante								√

Tabla 3.4 Tabla frecuencia de mantenimiento predictivo en palas P&H_2800xp. *Elaboración propia.*

- Análisis de vibraciones, a través de sensores especializados son permanentemente monitoreadas en línea las vibraciones de componentes específicos. Análisis que permiten realizar un seguimiento en el tiempo de las vibraciones, se utiliza en:
 - Motores: Propel, Hoist, Crown, y Swing.
 - Transmisiones de los motores: Propel, Hoist, Crown, Swing.

- Termografías, es un estudio que se realiza por medio de una cámara térmica la que logra visualizar los diferenciales de temperatura, se realizan seguimientos y tendencias. Es utilizado, especialmente, para examinar la aislación de componentes, tableros eléctricos, uniones eléctricas y pasa muro o para verificar el adecuado funcionamiento de piezas móviles, ya que un elevado roce produce calor. Este examen no se efectúa de manera periódica, sólo se realiza si es solicitado por el personal de operación o mantención motivado por una sospecha de falla.

Todos los Procedimientos nombrados anteriormente son efectuados para realizar un posterior seguimiento en la evolución de la falla, cuyo objetivo es tener una estimación de la vida útil de cada componente.

Mantenimiento Preventivo (PM) en Palas.

Actualmente se efectúan mantenciones programadas, las que son realizadas en periodos estandarizados de 300 horas de operación, Estas mantenciones involucran alrededor de 700 actividades, entre las que se encuentran:

- Revisiones, cuyo objetivo es inspeccionar todos los componentes críticos de la pala, además se miden desgastes y se realizan pruebas para revisar que el equipo tenga un adecuado funcionamiento.
- Limpieza de la pala, procedimiento que se realizan soplando la tierra que cubre el componente, además de otras limpiezas como extracción de lubricantes y aseo en general. Esto se efectúa para evitar que la suciedad dañe equipos electrónicos o contamine la lubricación de mecanismos, además de la necesidad de tener componentes limpios para poder revisarlos visualmente de manera adecuada.
- Lubricaciones en general y cambios de filtros. Esto es una de las prioridades, ya que por la gran cantidad de polvo en suspensión los lubricantes son rápidamente contaminados, perdiendo sus cualidades.
- Reparaciones de piezas dañadas o con desgaste. Estos pueden ser por causas naturales del trabajo o malos manejos.
- Calibraciones, ya que la pala está constantemente sometida a vibraciones, y golpes por desaceleración, provocados por su funcionamiento natural.

Actualmente los procesos de Mantención Preventiva que se realizan en las palas se distinguen en 4 tipos de PM diferenciados (ver tabla 3,0.2) por el tiempo en que son efectuados, teniendo: "PM300" realizándose a las 300 horas de operatividad, "PM600" la cual se ejecuta a las 600 horas de operatividad y bajo este mismo concepto tenemos la de PM1200 y PM2400 horas.

La secuencia de mantenciones se realiza de la siguiente manera, primero se ejecuta la mantención de 300Hrs, luego la de 600 y se devuelve nuevamente a la mantención de 300 horas, después una mantención de 600Hrs, 1200, 300, 600, 300 y 2400Hrs como lo explica de mejor manera el diagrama siguiente Una vez

que las mantenciones preventivas llegan a la mantención correspondiente de 2400 Horas, se desarrolla una mantención completa por la Empresa P&H, donde se vuelven los contadores a cero, volviendo al inicio, con la mantención de 300 horas nuevamente.



Ilustración 3,0.5 Diagrama con el orden de Mantenciones Preventivas realizadas a Palas 2800, en Minera Candelaria. Elaboración propia.

La PM300 es la más básica, dándole primordial importancia a la revisión de componentes y lubricación del equipo. Luego cada PM siguiente tiene como base lo que conlleva la anterior más otras actividades propias de cada mantención, la PM600 incluye la de 300, la PM1200 Incluye la PM600 y por ende, incluye la PM300, siguiendo la misma lógica la PM2400 incluye las actividades de PM1200. Cada PM incluye a la anterior más otras actividades propias. Quedando con la PM300 considerada la más básica y la PM2400 con la mayor cantidad de actividades.

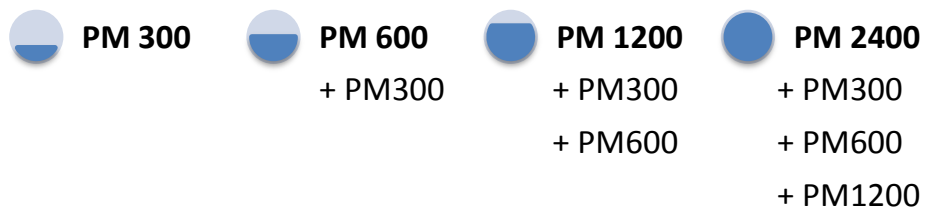


Ilustración 3.0.6 Diagrama contenido de PM, en palas P&H 2800XP, Fuente: Minera Candelaria

En la Empresa se dividen a los mantenedores preventivos en eléctricos y mecánicos, técnicos que por las características propias del trabajo que

desempeñan deben tener especializaciones y procedimientos de trabajo distintos, pero que al momento de la intervención deben trabajar en forma simultánea. Por lo tanto, se puede decir que las mantenciones son electro-mecánicas. En una misma mantención se ejecuta OT eléctricas y OT mecánicas. La PM completa por programa debe ser realizada en 16 horas cronológicas o 2 turnos de trabajo ya que cada turno dura 8 horas, trabajando 4 eléctricos y 5 mecánicos.

Apoyo de empresas externas en la mantención preventiva

La empresa realiza por medio de mantenedores internos las mantenciones a las palas, pero además este proceso es apoyado por empresas externas, las cuales trabajan en 2 modalidades descritas a continuación:

La primera modalidad es la designación de un equipo específico para mantener. La empresa especializada se encarga completamente del mantenimiento de ese componente, este método se ocupa para:

- La lubricación, Empresa “Bell Ray” es la encargada de todo el sistema de lubricación.
- El aire acondicionado de la cabina del operador es mantenido por la Empresa “Sol Norte”.

Ambos componentes son mantenidos por empresas externas debido a la especialización que se requiere en el tema,

La segunda modalidad, consiste en la contratación por HH de trabajo, estos son ejecutores para tareas específicas o para apoyar el trabajo de un mantenedor de la empresa, este puesto es variable, pero por lo general es adjudicado por la Empresa Zargo la cual apoya generalmente con 4 mecánicos con equipamiento completo, con un costo de US\$4.000 semanales.

Utilización de palas P&H_2800XP, en Minera Candelaria.

Al analizar la utilización de las Palas P&H 2800xp se obtuvo que éstas tienen una utilización promedio de 70% como muestra el gráfico siguiente, dato netamente de Operaciones, el cual no tiene mayores relevancia para la Mantención ya que ésta se preocupa por la Disponibilidad o Indicadores como MTTR y MTBF.

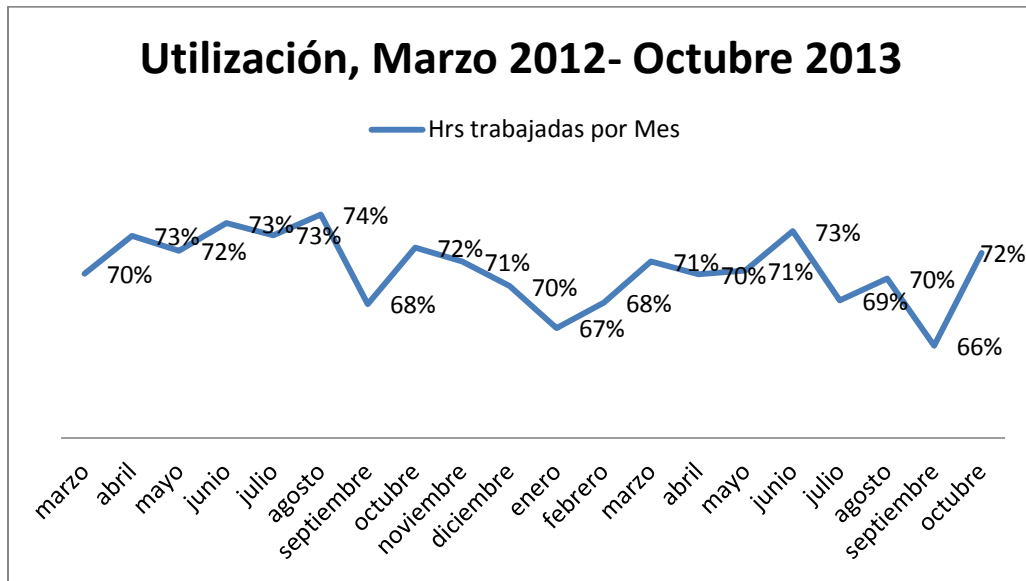


Gráfico 3.0.6 Grafico de Utilización de palas P&H_2800; Periodo: marzo 2012- octubre 2013. *Fuente: Minera Candelaria.*

Disponibilidad requerida por parte de la empresa

En marzo del 2013, auditores norteamericanos, provenientes de Freeport Mcmoran, (la Compañía dueña de la Minera) realizaron una inspección en las palas de Minera Candelaria.

Auditoría que reveló como falencia en la Minera la baja disponibilidad de Palas de extracción. Ya que ésta en promedio se manejaba en un 85%, debiendo obtener una disponibilidad mínima organizacional del 90%. Por lo cual la Minera realizó cambios internos, incrementando esfuerzos, en mantenimiento de palas. Para esto se modificaron los turnos de trabajo del personal, al encargado de las palas se le modifica su turno de 5 días de trabajo y 2 de descanso por turnos de 6 días de

trabajo con 2 de descanso. Este cambio junto con otros esfuerzos más pequeños logró aumentar la disponibilidad a un 88% no alcanzando la meta corporativa. Es por ello, que surgió como un tema de relevancia para la Minera. La que debe seguir realizando reestructuraciones para mejorar este indicador.

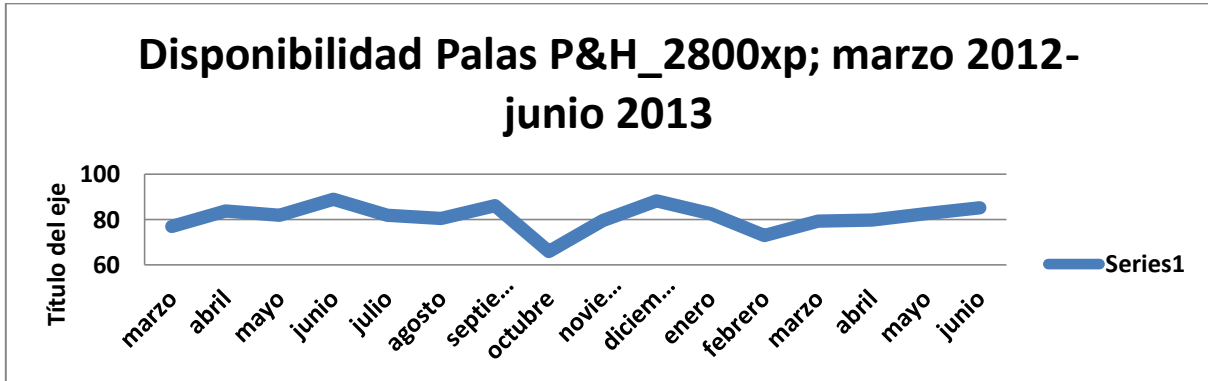


Gráfico 3.0-1 Gráfica de disponibilidad en palas P&H_2800xp; Periodo: Marzo 2012 - Junio 2013.
Fuente: Elaboración propia.

Para mayor información sobre disponibilidades históricas de las palas ver anexo N°5

Capitulo 4: Marco Teórico.

Mantenimiento

La efectividad del sistema productivo depende, entre otras cosas, de la disponibilidad de los equipos. La disponibilidad, a su vez, depende en gran medida de las fallas que presentan dichos equipos. Por tal motivo, es indispensable realizar un completo análisis de fallas para formular un programa de mantenimiento acorde a las necesidades de la empresa. Es importante determinar las fallas que tienen lugar en el equipo al que se le realizará el análisis; por tal motivo se mencionarán los principales tipos de fallas que se presentan en los equipos mineros:

- Fallas mecánicas
- Fallas eléctricas
- Fallas de instrumentación
- Fallas de operación o mal manejo.

Dentro de los tipos de fallas que presentan las palas, las mecánicas son las de mayor frecuencia y de mayor criticidad. Dentro de las más importantes podemos destacar:

- Falla producida por desgaste
- Falla producida por corrosión
- Falla producida por situación que excedió la resistencia mecánica
- Falla producida por fatiga
- Fallas hidráulicas

El objetivo de realizar un adecuado programa de mantenimiento es lograr una mayor disponibilidad y productividad de los equipos, reduciendo de esta manera los costos debidos a la no disponibilidad o a la producción bajo estándares, como consecuencia de un funcionamiento defectuoso. Al tener mayor disponibilidad, el resultado inmediato es la menor compra de repuestos, la disminución de stock y,

por ende, una reducción de costos. Estos factores son los que hacen a la empresa más competitiva dentro de la industria minera

Se ha determinado que dentro de la estructura de costos de producción de una empresa minera nacional, el costo correspondiente a la actividad de mantenimiento es de un 25 a un 40% del costo total.

La actividad de mantenimiento tiene, como costos directos: la reparación de fallas, que incluye repuestos, mano de obra externa, lubricantes, herramientas, etc. Y los costos indirectos, producidos por la no utilización del equipo. Para la empresa son de mayor importancia los costos indirectos, ya que ellos están relacionados con la disminución de la producción esperada. Sin embargo, los costos más importantes para la actividad de mantenimiento son los referidos a los costos directos. (Moubray, 1997)

Estrategias de mantenimiento

El mantenimiento se divide en tres grandes estrategias, los cuales serán desarrollados a continuación:

- Mantenimiento reactivo.
- Mantenimiento predictivo.
- Mantenimiento preventivo.

Mantenimiento de reparación (Reactivo)

El Procedimiento reactivo busca la reparación de fallas de manera eficaz con el objetivo de evitar la repercusión en eventos mayores. El mantenimiento de reparación se puede realizar durante la ocurrencia de la falla, aunque por lo general se realiza una vez ocurrido el suceso, básicamente es un procedimiento en donde el componente es utilizado hasta que falle y/o deje de operar de manera requerida.

El mantenimiento de reparación podría ser considerado como un último recurso, es más, intuitivamente podría ser considerado como un fracaso de la organización, en la ejecución del mantenimiento, pero ese no es el caso. El mantenimiento de reparación podría ser un primer acercamiento para un grupo de componentes dentro de un sistema donde los recursos están enfocados a otros activos, posiblemente en activos más importantes o donde el costo de la planificación supere el costo de reparación y pérdidas; por ejemplo al quemarse una ampollita dentro de una oficina, donde el costo de cambiar la bombilla más el costo de pérdida por la falta de esa bombilla son tan bajos que la mejor opción es la mantención reparativa.

Para equipos con fallas ocurriendo al azar y en forma instantánea, el mantenimiento de reparación podría ser la única opción. De acuerdo con lo anterior se podría considerar rediseñar un sistema tomando en cuenta esta clase de fallas.

Cabe destacar que el mantenimiento de reparación está en todas las organizaciones que manejen activos en el tiempo, ya que este es el proceso que logra reparar accidentes o causas imprevistas. (Arata)

Mantenimiento predictivo o condicional

El mantenimiento predictivo consiste en analizar variables de componentes funcionales, cuyo resultado permite detectar las desviaciones de estos parámetros antes de que ocurra el evento de falla.

Explicado de mejor manera, el Mantenimiento Predictivo consiste en analizar la evolución de ciertas variables y asociarlos al progreso de fallas, con lo que se intenta estimar el periodo de tiempo en que esa falla afectarán de manera importante cierto componente, esto se desarrolla con el propósito de poder planificar intervenciones con tiempo y preparación suficiente, para que esa falla nunca tenga consecuencias graves.

La medición de los parámetros se puede realizar de forma periódica, continua y por presunción de desviaciones de variables, estos análisis son seleccionados dependiendo de diversos factores como el tipo de proceso, las fallas a diagnosticar y la inversión que se quiera realizar. Para esto actualmente hay gran variedad de análisis y mediciones, entre los más comunes están: análisis de vibraciones, emisiones acústicas, ultrasonidos, inspección magnética, termografía, y pruebas destructivas.

Dentro de las ventajas de este tipo de mantenimiento se encuentra:

1. Existe una reducción importante de los costos de mantención, ya que al evitar una falla catastrófica se evitan grandes costos de mantención.
2. Reducción del tiempo de parada, al conocer que elemento no está funcionando de acuerdo a sus requerimientos.
3. Seguimiento de la evolución de un defecto en el tiempo.
 1. Verificación del estado de la máquina, lo que se puede realizar de forma periódica y/o ocasional, con lo que se puede confeccionar un archivo histórico del comportamiento de componentes.
 2. Conocer con precisión el tiempo límite de operación sin que haya un fallo imprevisto. Permite la toma de decisiones sobre parada de una línea de máquinas en momentos críticos.
 3. Al identificar y mantener componentes con un inadecuado funcionamiento, se evita que otros componentes fallen.
 4. Garantiza la confección de formas internas de funcionamiento o compras de nuevos equipos.
 5. Reducción en las HH utilizadas para la mantención, ya que un procedimiento preventivo ocupa menos esfuerzo humano que uno reactivo (falla catastrófica)
 6. Disminución de los riesgos asociados a la realización de un trabajo de emergencia versus un trabajo programado.

7. Evitar fallas que ocasionen accidentes, por ejemplo la caída de una estructura en altura, donde no solo se tiene el costo de la pérdida material, sino que además se tiene el riesgo de seguridad.

Habitualmente, este tipo de mantenimiento es efectuado por personal experto en el tema, con equipos y herramientas especializadas, es por ello que su costo es alto, pero posterior a su efectiva realización, las mantenciones lograran evitar fallas catastróficas, con lo que la empresa se asegurara bajos niveles de costos generales, además de mayores índices de disponibilidad y confiabilidad a largo plazo. (Arata)

Mantenimiento preventivo (PM)

El mantenimiento preventivo buscar mejorar la confiabilidad de los procesos, mediante el uso de procedimientos periódicos que permiten la eliminación de fallas tanto crónicas como potenciales. La meta del PM es prolongar la vida útil de la maquinaria. El tiempo de la vida de los componentes puede ser prolongado cuando son disminuidas las causas o potenciales causas de fallas, por consiguiente las frecuencias de fallas disminuyen.

Asimismo, para desarrollar una planificación eficiente en base a costos, se debe considerar que los componentes del sistema deben ser mantenidos, en el tiempo correcto y con el procedimiento correcto de mantenimiento. En este contexto, esto significa canalizar el mantenimiento a los componentes críticos, aquellos que tienen un impacto significativo en la confiabilidad del sistema para reducir las causas dominantes lo que generara una reducción de costos totales de la empresa, estos costos son variables a cada rubro.

El objetivo del mantenimiento preventivo es evitar costos de mantenimiento de reparación y otros costos que forman parte de una falla inesperada de un componente, por ejemplo, el costo de tener una maquinaria detenida, accidentes por tener en equipo en mal estado, etc.

El mantenimiento periódico.

Proceso de mantenimiento preventivo en donde las tareas se realizan a intervalos normales. Esta es una buena estrategia en casos donde las fallas ocurren en forma regular. Los espacios de tiempo entre mantenimientos deberán basarse en el tiempo esperado para la falla. Usualmente los espacios de tiempo se basan en las especificaciones del fabricante o las políticas de la empresa. No se debe generalizar el mantenimiento periódico sólo a espacios de tiempo, ya que hay una diversidad de parámetros que pueden ser considerados para considerar el transcurso del periodo, por ejemplo, distancias recorridas, cantidad de productos fabricados, cantidad de material movido. (Arata)

Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)***Estructura general***

El mantenimiento centrado en la confiabilidad es una filosofía de mantenimiento que se efectúa mediante un proceso de análisis de sistemas, con el propósito de desarrollar y optimizar los programas de mantenimiento preventivo en las organizaciones

El proceso de análisis requiere el conocimiento de los elementos significativos del sistema, determinar modos de falla y análisis de efectos, evaluar consecuencias de falla y tareas de mantenimiento.

RCM provee un esquema formal para manejar la complejidad de los asuntos de mantenimiento pero no suma nada nuevo en sentido estrictamente técnico, RCM y los procedimientos pueden ser expresados en formas diferentes, de cualquier forma el concepto y principio fundamental del método permanecen igual.

Las siguientes características se originan de la primera definición de RCM, y definen y caracterizan el método:

- Preservación de la función del sistema

- Identificación de modos de falla
- Establecimiento de prioridades y
- Selección de tareas aplicables y efectivas de mantenimiento

Preguntas funcionales del RCM

De acuerdo al estándar SAEJA 1011, cualquier programa RCM debe asegurar que las siguientes preguntas son respondidas satisfactoriamente y en la misma secuencia en que se muestran:

1. ¿Cuáles son las funciones y niveles estándar de desempeño asociados a los activos en el contexto operacional actual? (funciones)
2. ¿En qué forma estos fallan en alcanzar sus supuestas funciones? (fallas funcionales)
3. ¿Qué es, lo que causa cada una de sus fallas funcionales? (modo de falla)
4. ¿Qué sucede cada una de esas fallas ocurre? (Efecto de la falla)
5. ¿En qué forma afecta, cada una de esas fallas? (consecuencias de la falla)
6. ¿Qué puede hacerse, si hay algo que hacer, para prevenir cada una de esas fallas? (Tareas Proactivas e Intervalos de Tareas)
7. ¿Qué puede hacerse si no se encuentre una tarea preventiva adecuada? (Moubray, 1997)

Que es PMO

PMO, busca optimizar el mantenimiento preventivo, para lo cual ya deben existir planes de mantenimiento. Básicamente el PMO busca resolver los mismos problemas que el RCM, sólo que el PMO se basa en mejorar un sistema ya existente, para lo cual también se debe contestar una serie de preguntas adecuadas para un sistema ya existente, estas son:

1. ¿Qué tareas de mantenimiento están siendo llevadas a cabo por el personal de operaciones y mantenimiento? (recopilación de tareas)
2. ¿Cuáles son los modos de falla asociados con la planta bajo examen? (análisis del Modo de Falla)
3. ¿Cuál es (cuáles son) el (los) Modo de Falla que cada tarea existente supone prevenir o detectar?
4. Que otros Modos de Falla han ocurrido en el pasado que no han sido listados o no han ocurrido, pudiendo originar una situación riesgosa?
5. ¿Qué funciones podrían perderse si cada falla ocurriera en forma imprevista? (funciones) (pregunta opcional)
6. ¿Qué sucede cuando ocurre una falla? (efectos de la falla)
7. ¿De qué manera importa cada falla? (consecuencias de la falla)
8. ¿Qué debería hacerse para predecir o prevenir cada falla? (tareas proactivas e inventarios de tareas)
9. ¿Qué puede hacerse si no se encuentra una tarea preventiva adecuada? (acciones por defecto)

La metodología completa de PMO tiene nueve pasos. Las nueve preguntas listadas más arriba son un sub conjunto de la metodología completa del PMO. Los pasos adicionales del PMO no listados arriba son los siguientes:

- Agrupando y revisando
- Aprobación e implementación
- Programa dinámico
(Steve)

Diferencias funcionales entre RCM y PMO

El RCM y el PMO son productos totalmente distintos con el mismo objetivo: definir los requerimientos del mantenimiento de los activos físicos. Los administradores de activos, sin embargo, deben estar conscientes de que fueron desarrollados para utilizarse en situaciones totalmente distintas. El RCM fue diseñado para

desarrollar el programa de mantenimiento inicial, durante las etapas de diseño del ciclo de vida del activo (Moubray 1997) mientras que el PMO ha sido diseñado para su uso durante la etapa de utilización del activo.

Como resultado: el PMO es un método de revisión mientras que el RCM es un proceso de establecimiento. Aunque llegan al mismo programa de mantenimiento, el PMO es más eficiente y flexible en el análisis que el RCM cuando existe un programa de mantenimiento relativamente bueno en operaciones y hay alguna experiencia en la operación y características de las fallas de la planta. (Steve)

Diferencias metodológicas entre RCM y PMO

La diferencia central entre el RCM y el PMO es la manera en que se generan los Modos de Falla:

El RCM genera una lista de Modos de Fallas a través de una evaluación rigurosa de todas las funciones, considerando las fallas funcionales y luego estableciendo cada modo de falla que se relaciona con cada falla funcional. El RCM busca analizar todas las fallas en todas las piezas de un equipo dentro del sistema que se está estudiando.

El PMO genera una lista de Modos de Fallas desde el programa de mantenimiento actual, una evaluación de las fallas conocidas y la revisión de toda la documentación técnica – en forma primaria los diagramas de procesos e instrumentación.

La diferencia entre los dos enfoques significa que el PMO lidia con un grupo significativamente menor de Modos de Falla que el RCM y llega a los Modos de Fallas en un marco de tiempo bastante menor. (Steve)

Cómo y porqué el PMO es más rápido que el RCM

Descripción General de porqué el PMO es más rápido

1. Los modos de falla de poca relevancia no son analizados por el PMO mientras en RCM analiza todos los Modos de Falla posible.
2. Usando PMO muchos modos de falla pueden sumarse y analizarse juntos mientras los modos de falla del RCM se analizan en forma separada
3. Con el PMO el análisis funcional detallado es un paso opcional. La función del equipo se completa como una parte de la evaluación de las consecuencias porque la consecuencia de una falla, por definición, es la pérdida de función.

El diseño del equipo y la forma en que es operado determinar el tipo y probabilidad de los modos de falla. El contexto del análisis de mantenimiento, los modos de falla pueden dividirse en categorías basado en lo siguiente.

- Su probabilidad
- Su consecuencia y
- Lo práctico y factible de prevenirlos o predecirlos

El foco de un buen diseño de equipo es asegurar altos niveles de confiabilidad, mantención y operatividad. Esto significa eliminar las fallas de alta positividad y alta consecuencia. Por consiguiente, no es sorprendente que, cuando se revisa el juego completo de Modos de Fallas posibles usando el análisis RCM por lejos el mayor número de conclusiones o recomendaciones son Mantención no programada. (Steve)

Debilidad del PMO

La única debilidad del PMO comparado con el RCM en plantas que ya han estado en operación por algún tiempo, es que el PMO no lista todos los Modos de Falla. Esto puede ser importante desde el punto de vista de una evaluación de repuestos. Sin embargo, si la motivación para hacer el análisis de mantenimiento

es generar un programa PM focalizado y eficiente esta desventaja es irrelevante.
(Steve)

Consecuencias de falla

Las empresas que utilizan un determinado activo se afecta de alguna forma cuando ocurre una falla. Algunas de las fallas afectan tanto la calidad del componente como el servicio al cliente, en otras amenazan la seguridad o el medio ambiente, incrementan los costos de operación y otras tienen algún impacto en todas o en alguna de estas áreas.

Las fallas de este tipo presentan problemas cuando no son prevenidas ya que el tiempo que se destina en corregirlas afecta a las empresas, debido a que los recursos que consume la falla se podría utilizar mejor en otra parte.

Los efectos de la falla nos indican que es lo que pasa cuando ocurre una falla y las consecuencias nos indican cómo y qué tan importante son. Por lo tanto si se puede reducir los efectos de falla en términos de frecuencias y/o severidad se está reduciendo también las consecuencias asociadas.

Evaluación de tareas propuestas

El paso de evaluación de tareas es usado para guiar el análisis a través de un proceso de preguntas y respuestas. La información suministrada para aplicar la lógica de decisiones RCM son los modos de falla dominante encontrados en los pasos anteriores.

Las tareas de mantenimiento para eliminar cada modo de falla son evaluadas por su aplicabilidad y efectividad. El criterio usado para determinar la aplicabilidad depende del tipo de tarea preventiva mientras que la efectividad depende de las consecuencias de falla.

Las tareas de mantenimiento preventivo desarrolladas por RCM están basadas en las características de confiabilidad de los equipos. Estas tareas son también

inspecciones o cambios con una frecuencia establecida. El proceso lógico de RCM determina requerimientos e intervalos iniciales para las siguientes tareas preventivas:

- limpieza
- condición
- tareas por vida limite
- combinaciones
- búsqueda de falla.

Análisis de criticidad

Metodología que permite establecer el impacto que ejerce la falla de un componente, a un proceso, con lo cual se pueden jerarquizar la importancia de cada componente, dependiendo del efecto que produzcan.

Para cuantificar el impacto total que proporciona la falla de un componente se debe considerar el impacto en todos los ámbitos en que puede afectar, dentro y fuera de la organización.



Ilustración 4.0. ¡Error! Utilice la ficha Inicio para aplicar 0 al texto que desea que aparezca aquí..4; **Formula de criticidad Fuente: (Levitt, 2005)**

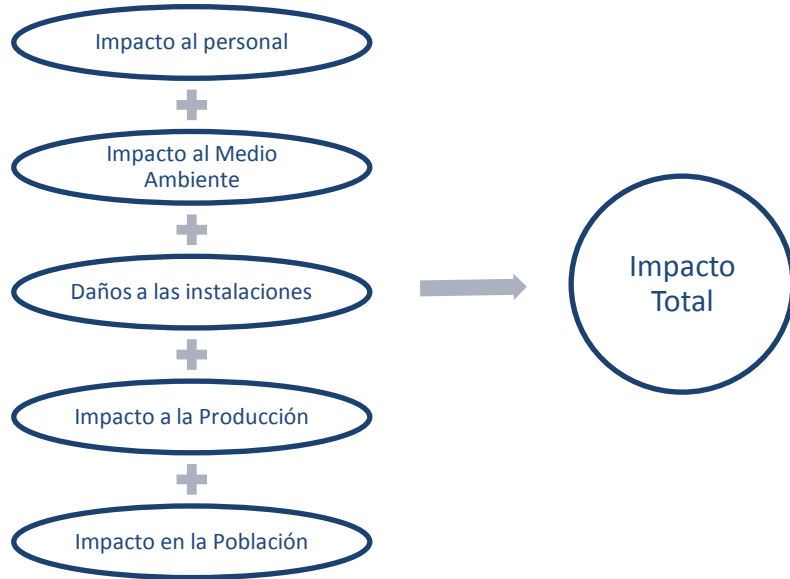


Ilustración 4. *Error! Utilice la ficha Inicio para aplicar 0 al texto que desea que aparezca aquí..5; Formula para estimar Impacto Total de una falla a la empresa. Fuente: (Levitt, 2005)*

Análisis que al jerarquizar la importancia de las piezas permite facilitar la toma de decisiones acertadas y efectivas, al poder enfocar los esfuerzos en los componentes más relevantes para el adecuado funcionamiento, por lo que mejoramos la confiabilidad del sistema al administrar de mejor manera el riesgo.

Desarrollo de la matriz de criticidad

Análisis de impacto para matriz de criticidad

Se valoriza cada uno de los ámbitos del 1 al 3 como muestra la tabla a continuación, luego se suma el valor de cada factor para obtener el impacto total que ocasiona la falla de un componente en la empresa.

Impacto que ocasiona cada factor	
Descripción de valorización	Valorización
No afecta en caso de falla.	0
Daño mínimo, se debe programar reparación.	1
Daño moderado, puede desarrollar funciones temporalmente.	2
Daño crítico, no puede desarrollar su función sin reparar.	3

Tabla 4.0-1 Valorización del impacto que ocasiona en cada factor una falla. Fuente (Levitt, 2005):

Análisis de Frecuencia, para matriz de criticidad.

Para designar este parámetro se asignaron los siguientes valores representados en la tabla 4.2, donde se asignó un valor dependiendo de la frecuencia de falla de cada componente. Como el procedimiento de mantenimiento será el mismo para todas las palas de la flota se agruparon todas ellas para asignar la frecuencia media de fallas.

Frecuencia anual de falla en Flota Pala P&H_2800XP		
Frecuencia anual	Significado	Valorización
[0]	No hay registro oficial de falla	1
] 0 ; 0,2]	Una falla cada 5 años o mas	2
] 0,2 ; 1 [Una falla entre 1 a 4 años	3
[1 ; 4]	Falla entre 1 a 4 veces al año	4
[4 ; ∞ [Falla mínimo 4 veces por año	5

Tabla 4.2 Criterio para valorizar la frecuencia anual de fallas en Flota de palas *Fuente: Propia*

Cabe destacar, que la frecuencia de falla no es muy alta ya que hay un ingeniero calificado, encargado específicamente de la confiabilidad de las palas.

Matriz de criticidad

Para estimar la criticidad se cuantifica la gravedad de las consecuencias de una falla y se entrecruzan con la frecuencia posible de la falla, obteniendo una matriz que inter-relaciona estas dos categorías, obteniendo la matriz de criticidad, como se muestra en la figura de a continuación:

Frecuencia de fallas	5	5	10	15	20	25	30	35	40	45
	4	4	8	12	16	20	24	28	32	36
	3	3	6	9	12	15	18	21	24	27
	2	2	4	6	8	10	12	14	16	18
	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Categoría de Consecuencias								

Tabla 4.3: Matriz de Criticidad, Fuente: (Levitt, 2005).

En el eje vertical se representa la frecuencia con la que podrían ocurrir fallas y en el eje horizontal se representan cuantificadas las consecuencias de ocurrir una falla en el componente analizado. Al interceptar ambos ejes se obtiene que:



Tabla 4.4 Criterio de intervalos para evaluar Criticidad de falla, Fuente: elaboración propia. Fuente propia.

Especificando parámetros de criticidad, categorizándolos en criticidad baja, media y alta, con ella se puede otorgar el grado de importancia que tiene el componente para el proceso, donde se dan los rangos:

Capitulo 5: Desarrollo de la metodología.

Planteamiento del problema.

Los planes de mantenimiento fueron creados el año 2004, tomando requerimientos y fallas de esa fecha. Mantenciones que con el tiempo se le adicionaron ítem o procedimientos de mantenimiento o inspección, llegando a un promedio de 800 actividades por mantención.

En Minera Candelaria a través del tiempo se han desarrollado modificaciones en las palas ya sea por cambio de tecnologías en especial en el ámbito electrónico en donde la nueva tecnología de sensores y computadores han evitado inspecciones humanas o por mejoras que se han desarrollado en RCM, el que continuamente está modificando las Palas, como la incorporación de ventiladores nuevos que evitan sobrecalentamiento o refuerzos estructurales, siendo estas algunas causales de fallas que se han eliminado.

Debido a la constante incorporación de procedimientos de mantenimiento, más las modificaciones efectuadas, las pautas de mantenimiento se encuentran con una sobre mantención de un 11%. Lo que significa que aproximadamente un 11% de las tareas no agregan valor a la funcionalidad de la pala. Dato proporcionado a comparar lo estipulado en las pautas de mantención y lo realizado realmente.

Ausencia de procedimiento que planifique una correcta coordinación en el actuar de los equipos eléctricos y mecánicos.

Actualmente en las Mantenciones Preventivas se desarrollan mantenimientos electro-mecánicos, aunque las intervenciones se ejecutan en la misma máquina durante el mismo periodo de detención, la planificación de ambos sistemas se desarrollan por separado, ya que estos procesos son planeados por planificadores distintos: existe un planificador eléctrico y un planificador mecánico, sin considerar los procedimientos de su contra parte. Este factor adquiere bastante relevancia al momento de una mantención, en especial para el mantenimiento eléctrico, ya que los mecánicos continuamente están reactivando la pala para desarrollar pruebas, o realizar maniobras como el cambio de cadenas o cables de

levante, donde es esencial que la pala esté operativa ya que la autopropulsión de la misma permite desarrollar el procedimiento.

El conflicto se produce en que los electricistas necesitan que el equipo esté totalmente desconectado para intervenirlo. Por protocolo de seguridad ningún electricista puede trabajar si el equipo se encuentra energizado o en modo de operatividad. Además se debe considerar que al momento de reactivar la pala, todo el personal involucrado debe abandonar la máquina y desbloquearla, según indica el procedimiento LOTOTO. Esto provoca que las maniobras del equipo mecánico interfieran fuertemente sobre las maniobras eléctricas, para graficar, un eléctrico que esté revisando cables dentro de un equipo debe re-conectarlos, cerrar su área de trabajo, ir a desbloquear retirando su candado, esperar a que se ponga en marcha la Pala y que el equipo mecánico realice sus maniobras. Después de esto debe nuevamente realizar el bloqueo dirigiéndose a su lugar de trabajo y reanudar sus tareas. Esto le quita valioso tiempo o HH de trabajo, ya que en la programación eléctrica no están programadas estas detenciones, las que generan una pérdida de alrededor de 8 HH de trabajo, considerando que podría ser un turno de trabajo completo para un mantenedor.

Falta de flexibilidad por parte de los ejecutores de la operación

Existe poca flexibilidad a las necesidades de la mantención, debido a que actualmente los ejecutores del proceso de mantención, se limitan sólo a realizar lo especificado en el documento, no efectuando labores distintas de lo estipulado, generándose que un 5% aproximadamente de las mantenciones no se realice una corrección detectable a simple vista o se realice una mantención claramente no necesaria.

Cuando un mantenedor inspecciona un componente específico, si la orden de trabajo indica “revisar el componente” el mantenedor se limita sólo a revisar y si lo encuentra en malas condiciones simplemente lo deja estipulado en la orden de trabajo para ser reparado en la próxima parada que se efectuará 300 horas

después, dándose este problema alrededor de 4 veces por año teniendo 144 mantenciones aproximadamente, generándose en un 3% de las mantenciones.

Cuando la orden de trabajo está estipula un cambio de componente, el mantenedor simplemente cambia el componente, sin confirmar las horas de uso de este, siendo que aproximadamente en un 2% de las ocasiones el componente está casi nuevo, debido a que recientemente ya fue cambiado por falla, (este problema sólo afecta ciertos componentes, otros deben ser cambiados por procedimiento normal, como son los filtros de aceite y de aire), generando un aumento en los costos directos e indirectos de mantención.

Ambos casos demandan una mayor supervisión durante la ejecución de los trabajos por parte del jefe de turno, el cual debe revisar constantemente las labores efectuadas por los equipos de trabajo. Haciendo menos eficiente en el uso de personal la mantención.

Si una falla que debiese ser reparada, es desplazada para la próxima mantención, esta falla puede derivar en un daño mayor para el mismo u otros componentes, lo cual se traduce en un trabajo mayor para los mantenedores y un aumento de los costos, por consiguiente un proceso de mantención poco eficiente.

No existe una estandarización para la documentación

No existe una estandarización de documentos, generando problemas y entre los más comunes tenemos el nombrar una pieza con diversos nombres y repetitividad de tareas, ambas consecuencias están a continuación:

Diversos nombres para un mismo componente

En las mantenciones se da con bastante frecuencia que componentes estén mal nombrados, lo que genera confusiones en el proceso de mantención como ejemplo ver anexo N°3, produciéndose redundancias de procedimientos, además de dificultar la planificación.

Los distintos nombres que se le da a un componente derivan de la función que cumple, la ubicación donde esté instalado y la “jerga minera”. Encontrándose que en alrededor de en una de cada ocho acciones se encuentra un componente con un nombre distinto al consignado en el Manual de P&H, siendo los nombres erróneos más comunes, los que muestra la tabla 5.0

<i>Pieza</i>	<i>Otro Nombre</i>	<i>Frecuencia otro nombre</i>	<i>De un total de:</i>
<i>Propel</i>	– Avance	– 10	– 32
	– Propulsión	– 12	
<i>Crown</i>	– Pluma	– 34	– 44
	– Empuje	– 6	
	– Propulsión	– 1	
<i>Giro</i>	– Virar	– 30	– 40

Tabla 4.03, Tabla de piezas mal nombradas en pautas de mantención. Fuente propia

Redundancia de procedimientos.

En los planes de mantención se encuentran especificada la intervención hacia un componente en distintas actividades provocando una pérdida de esfuerzos, en especial de HH. Estos casos se dan específicamente en mantenciones donde se encuentran acciones que tratan a las mismas piezas, por ejemplo en el plan general de mantención, se estipula la inspección de frenos, considerando que hay un plan de mantención específico para ellos, donde el primer paso es inspeccionar este mecanismo, con lo que se genera una doble revisión. Como ésta se encuentran otras redundancias durante todo el proceso, ver en anexos. N°3

Donde se logró encontrar en la PM de 300HRS (es la base de las otras mantenciones) de un total de 565 acciones, 43 están siendo redundantes, teniendo un total de 7,6% de las tareas repetidas, las cuales no agregaban valor al proceso, al contrario, reducen directamente la eficiencia de éste.

El 98% de las repetitividads se encuentra en la mantención de 300Hrs, teniendo 1 actividad repetitiva en la tarea de 1200Hrs y 2 en la de 2400Hrs, extras a las ya mencionadas en la de 300Hrs, es decir, que todas las mantenciones tienen una gran cantidad de tareas repetitivas.

Cabe destacar, que hay procedimientos repetitivos que sí agregan valor o están dentro de las políticas de la empresa, en especial destacan los procedimientos de Seguridad como el LOTOTO.

Poca especificación sobre el proceso de mantener un componente.

Se da poca especificación en los trabajos eléctricos y mecánicos, pero presentaba mucho más en la parte eléctrica ya que de 43 componentes mecánicos a mantener, 2 no tenían un procedimiento de mantención, en cambio de 45 componentes eléctricos, 12 no tenían un procedimiento definido de mantención y no se especifica de una manera detallada el proceso a realizar, sino que sólo se estipula el enunciado de mantener el componente, ejemplo "Mantener motor hoist".

Lo que deja una interpretación muy amplia de mantención dándose un sinnfín de acciones correctivas a realizar, el trabajo queda dispuesto a la experiencia del mantenedor, provocando falta de precisión en las mantenciones.

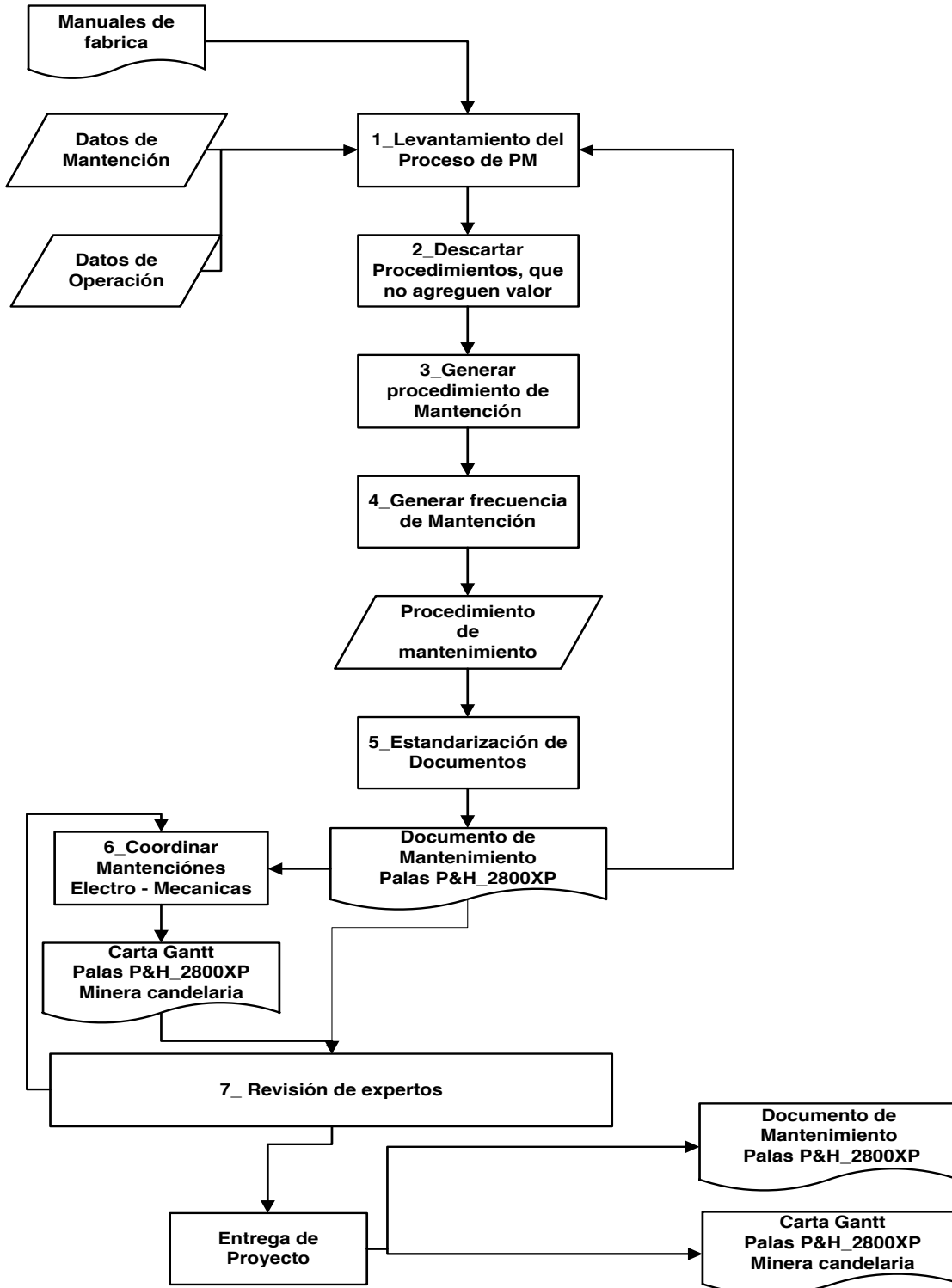
Falta de mecánicos y eléctricos

Al momento de concluir una mantención si es que ésta no se logró concluir, los jefes de turno culpan la falta de ejecutores, lo cual ocurre alrededor del 30% de las veces, este número es bastante conservador, ya que se da que operadores no realizan la mantención completa, pero marcan el documento como terminado completamente. (un experto dice que se falsea hasta en un 20% en los documentos).

Actualmente se ocupan 5 mecánicos y 4 eléctricos en cada mantención, por la falta de personal se le pide a una empresa contratista que apoye a la mantención con 4 mecánicos extras con equipamiento completo, por un turno de 8 horas, con un costo extra aproximado de US\$ 4.000

Metodología

Diagrama de Flujo del proyecto, para la creación del documento de Mantenimiento y Cartas Gantt



Pasos Realizados en el Proyecto

El Proyecto de Título se realizó en seis pasos descritos a continuación, donde el desarrollo de cada paso permitía la realización del próximo con el propósito de obtener un documento que contenga las pautas de cada mantenimiento más una carta Gantt o un documento que coordine los procedimientos de trabajo.

1.-Levantamiento del Proceso de Mantenimiento Preventivo

El levantamiento del proceso de mantenimiento preventivo, procedimiento que contó principalmente de 3 partes:

- a. Estudio de manuales de fábrica
- b. Análisis de operaciones
- c. Análisis del proceso de mantenimientos preventivos

a. Análisis y estudio de manuales de fábrica y datos del proveedor

Estudio del manual de fábrica “Manual de Taller P&H 2800 XP”, el cual tiene un procedimiento para inspeccionar y cambiar componentes, explicando metodología y frecuencia. Básicamente expresa inspecciones y lubricación cada 250 horas de trabajo además de cambiar componentes dependiendo de la las horas de trabajo correspondiente.

b. Análisis de operaciones sobre las palas

Además se efectuaron entrevistas en terreno a operadores del equipo y jefes de turno de la operación, los cuales no tienen mayor participación en las mantenciones más que manifestar observaciones sobre mal funcionamiento o cambio de características de algún accionar.

Cabe destacar que los operadores de las palas son los operadores de equipos en mina más experimentados, ya que antes de pasar a operar una pala deben pasar por varios otros equipos.

Un tema de bastante relevancia en este punto es la gran cantidad de modificaciones que se le han agregado a las palas dentro de la Minera, gracias al mantenimiento centrado en la Confiabilidad o RCM.

Entre las mayores podemos mencionar:

- Cambio de los frenos de disco del motor de levante, los cuales fueron cambiados de frenos de 2 discos a frenos de 3, esto se realizó ya que los frenos de 2 discos estaban sub-dimensionados para el trabajo que realizaban.
- Incorporación de un ventilador extra en el techo de la sala de máquinas, con el propósito de enfriar el motor de levante delantero, evitando una serie de fallas periódicas por sobrecalentamiento de aquellos motores.
- Incorporación de hoola hoops y luces led rojas, para remarcar el área de giro de la pala, con lo que se busca evitar que los vehículos de apoyo se acerquen demasiado a la pala y puedan ser golpeados por ésta.
- Incorporación de sensores dentro de la pala, los cuales son monitoreadas en línea.
- Diversas modificaciones estructurales, con el propósito de reforzar puntos comunes de falla.
- Muchas otras modificaciones, debido a las nuevas tecnologías que se le han ido incorporando, sobre todo en el ámbito electrónico, como sensores y nuevos sistemas de monitoreo.

c. [Análisis de mantenimientos.](#)

En Minera Candelaria, se tiene como política aumentar la vida útil de los componentes, es por esto que gracias a inspecciones periódicas y mantenimiento predictivo se logra extender la vida útil de los componentes entre un 20% a un 50% de lo estipulado por fábrica.

En este punto se realizaron entrevistas a jefes de turno y mantenedores experimentados en el tema, además de visitas en terreno, donde se estudiaron los

por menores de la mantención en especial la obstaculización de los equipos de trabajo la cual llega a 8 HH de trabajadores directo de la Minera, por lo que tenemos más de un 5% de Horas Hombre o un turno entero perdido por mala planificación.

En este paso del Proyecto se recopiló información relevante de manuales para la mejora del procedimiento, además quedó en evidencia que el procedimiento de mantenimiento no puede ser guiado exclusivamente por lo estipulado de fábrica, ya que éstos no expresan las características actuales de las palas, ni las políticas de la empresa.

2.-Descartar procedimientos que no agreguen valor a la Disponibilidad del equipo.

En este punto se lograron descartar procedimientos que no agregan valor a la disponibilidad de la pala, llegando a descartar 39 procedimientos repetitivos y 8 innecesarios para la funcionalidad del equipo.

Como criterio de descarte se utilizó el análisis de las operaciones en terreno, comparadas con las recomendaciones de los manuales y el trabajo en conjunto con mantenedores expertos en la materia, entre los que se destacan: jefes de turno, técnicos en mantenimiento pala y consultas al Jefe General de mantenimiento equipo pesado.

Procedimientos descartados que no agregan valor:

Procedimiento descartado	Motivos de descarte	Tiempo [HH]
“Limpiar techo sala de máquinas, pala”	Sacar el material particulado del techo no agrega ninguna ayuda desde el punto de vista funcional de la pala.	4,00
“Revisar ventiladores motores principales”	Se instalaron sensores que constantemente monitorean: operatividad en los ventiladores y sensores de temperatura en motores	1,17
Mediciones de los niveles de aceite	“los niveles de aceite son monitoreados por el centurión, además en cada mantención es cambiado el aceite”	0,25
Limpiar respiradero de motores	Proceso necesario que se debe efectuar más adelante en el mantenimiento del motor	0,25
Revisar tapas ejes Propulsión	Por las características desérticas de la zona, las tapas no son necesarias para proteger los ejes del agua.	0,17
Revisar que ambos discos de freno sean de la misma marca	Los discos de Freno vienen desde fabrica embalados de a dos y son verificados en una orden aparte de trabajo que es cambiar frenos.	0,25
Mantener sistema Hidráulico de Compresor	Los compresores utilizados en palas no tienen sistema hidráulico.	0,00

Limpiar Sistema hidráulico de ajuste de correas	No agrega ningún valor el limpiar esta pieza, ya que está hecha para trabajar al intemperie.	0,17
Tiempo Total utilizado en acciones sin valor		6,26

Procedimientos descartados por su repetitividad innecesaria.

Procedimientos redundantes	Motivos de descarte	Tiempo [HH]
Revisión previa Total	Revisión en toda la pala hecho por el técnico experto en mantenimiento, inspeccionando piezas que luego son mantenidas en detalle.	4,00
Revisar Frenos motores -21 actividades.	Una inspección visual superficial no tiene valor si antes se desarrollan pruebas de movimiento y después los frenos son mantenidos en detalle por un mecánico.	0,75
Revisar Funcionamiento. Escaleras -6 actividades	Las Escaleras son revisadas durante su mantenimiento en todas las mantenciones.	0,75
Revisar motores -21 actividades	Una inspección visual superficial no tiene ningún valor si después el motor será mantenido por un especialista.	0,50
Revisar compresor -5 actividades	El compresor es mantenido en detallado, no es necesaria una revisión previa.	0,50
Revisar Sistema. rodado, pasadores y pernos. -4 actividades.	Se desarrolla un procedo de mantenimiento más detallado durante todas las mantenciones.	0,25

Limpiar respiradero de motores. - 7 actividades.	Proceso necesario que se debe efectuar más adelante en el mantenimiento del motor	0,25
Otras inspecciones	Otras revisiones menores que están incorporadas en mantenimientos completos a componentes	1,00
Revisar frenos, en mantenimiento de motores.	Al mantener un motor se incluye la revisión de la transmisión, la que incluyen los frenos, considerando que los frenos son mantenidos por separado.	1,75
Revisar contra pesos	Procedimiento realizado por el encargado estructural y el mecánico encargado de sistema de avance.	0,08
Revisar aire acondicionado, desde cabina por Eléctricos.	El aire acondicionado es mantenido por completo por una empresa externa.	0,08
Revisar Cámaras en cabina, por Eléctricos	El sistema de cámaras es mantenido por especialistas en instrumentación.	0,08
Otras actividades		1,17
Total tiempo utilizado en actividades repetidas		7,16

Al descartar procedimientos repetitivos y sin valor alguno para el funcionar de la pala, se logró aumentar la eficiencia en mano de obra, llegando a ahorrar aproximadamente 13:25HH por cada mantención, que corresponde a casi un turno y medio.

De esta etapa del Proyecto se logró dispensar de 1 de 2 mantenedores externos, los que son contratados todas las semanas para apoyar funciones de

mantenimiento. Generando un ahorro de US \$2.000 semanales o US\$104.000 anuales.

3-Generar una pauta de Mantención adecuada para las Palas P&H_2800xp en minera Candalaria

Gracias a la compilación de información obtenida en pasos anteriores, se generó una detallada pauta de mantención para componentes críticos, como frenos, motores y sistemas de lubricación. Proporcionando una mejora, ya que esto incrementa la precisión de la mantención. Como ejemplo ver anexo N°4

Aumentar la precisión de la mantención, aumenta el manejo de la confiabilidad del equipo, ya que al saber los accionares que le fueron desarrollados al componente se facilitan futuros análisis de falla.

Cabe destacar que el Proyecto entrega un documento descriptivo de Mantención donde se detalla el que hacer a cada componente, no especificando cómo hacerlo, este Proyecto se enfoca en el mantenimiento como un proceso.

4-Designar frecuencia de mantención

Por medio de la matriz de criticidad se designó la frecuencia para mantener cada componente. Esto se desarrolló al multiplicar: el valor dado al impacto total con el valor asignado a la frecuencia de falla. Obteniendo una valorización de criticidad, valor que designa los componentes a los que se les deben destinar mayores recursos. En el anexo N°2 de matrices se ven los cálculos de los componentes mayores.

Proceso que genero un cambio de catalogación de criticidad de varios componentes como muestra el grafico 5.0 donde se encuentra representada la cantidad de componentes con Alta, Media y Baja Criticidad, apreciándose reducción de componentes de Alta y Media Criticidad y el aumento de componentes catalogados como de Baja Criticidad.

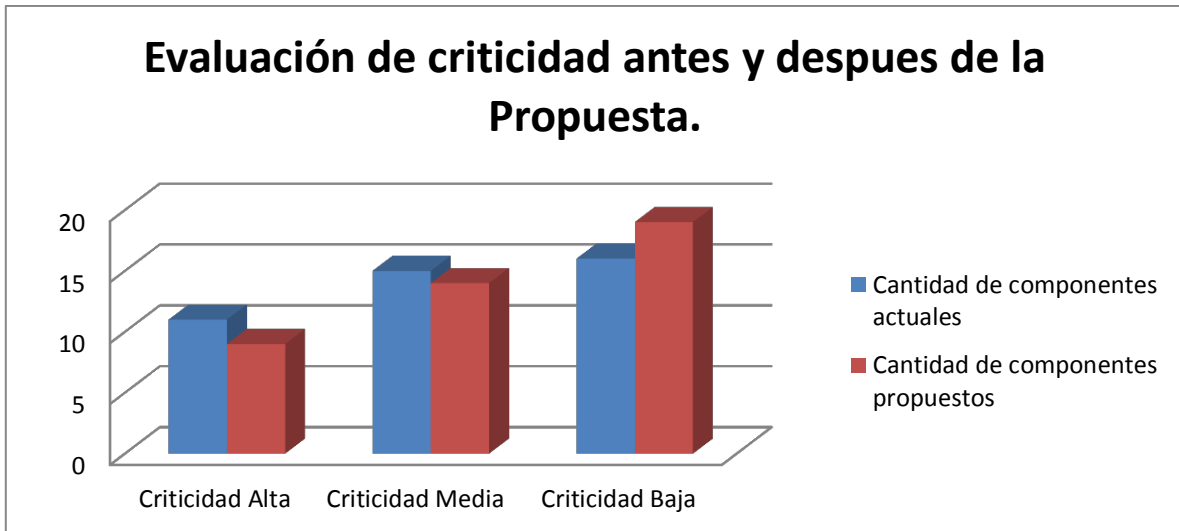


Gráfico 5.0 Evaluación cuantitativa de Criticidad, antes del Proyecto y Evaluación propuesta por el proyecto de Título. Fuente Propia.

Proceso que redujo el mantenimiento de 300 Horas en 1 HH, generando un ahorro de costos de US\$287388 al año, asociado al costo de detención del equipo.

5-.Estandarizar el documento de mantenimiento

Estandarizar nombres, logrando que cada componente o parte tenga un único nombre identificador.

Durante las entrevistas a los especialistas se generaron sugerencias de cambios sobre los documentos de mantenimiento, más modificaciones propias, se generaron modificaciones que colaboraron con mejoras en la mantención como se describe más adelante. Esto se desarrolló con el propósito de mantener un orden en el proceso.

Contribuyó a evitar redundancias, errores y facilitar comparaciones. Donde se tomó como criterio el nombre dado por el “Manual del taller; H&P modelo 2800XP”

Además se debe considerar la reglamentación estipulada en el “Decreto Supremo N°132 de Seguridad Minera”, documento anexado más adelante, el cual exige; entre otras cosas; que todo Manual debe estar escrito en español.

Agrupar las acciones de mantención por componente a mantener, por ejemplo “Motor de Levante”, donde estarán especificadas todas las acciones de inspección y mantención correspondientes a este motor para ese periodo de tiempo e intervenciones tanto mecánicas como eléctricas.

Esto se desarrolló con el propósito de generar un plan de mantención específico para cada componente de la pala, lo que permite analizar en profundidad la mantención que se desarrolla a cada uno de ellos. Además de ser necesario permite evaluar cada componente, por posibles modificaciones al diseño, esto le agrega flexibilidad al proceso de mantención y facilita la toma de decisiones al planificador.

Flexibilizar las mantenciones, buscando que el mantenedor realice su trabajo acorde a las necesidades reales del equipo, para esto al 16% de las actividades que instruían “Cambiar pieza o componente”, se agregó la labor de revisar y medir la características de los componentes previo al cambio, con el objetivo de no realizar trabajos innecesarios que disminuyen la eficiencia de la mantención. Al 21% de las tareas que instruían “inspección” se agregó después de ser revisados los estándares ya establecidos, el concepto de “*mantención o cambio de ser necesario*”, con lo que se espera la disminución de fallas no esperadas y que el mantenedor pueda tomar decisiones sin supervisión.

Además se agregaron una serie de características nuevas a los documentos de mantención como:

- a) Procedimientos de seguridad obligatorios, como bloquear equipos e identificar tareas peligrosas, procedimientos que son parte de la política de la empresa, fue incorporado en todos los documentos de mantenimiento.
- b) Después de la descripción de tareas a realizar en la mantención de los componentes, agrupados por el proceso anterior, se situaron espacios definidos para escribir comentarios y dejar notas sobre la reparación de cada uno de ellos, esta información es útil en la planificación de futuras mantenciones ya que entrega puntos a considerar. Antiguamente este espacio se encontraba al final de cada documento siendo poco práctico ya que se describía la información de muchos procedimientos distintos en un solo lugar siendo difícil desglosar la información.
- c) En cada documento se debe identificar el responsable de la mantención, permitiendo realizar la trazabilidad y el seguimiento en caso de fallas.

6- Coordinar trabajos en la mantención

Este proceso se produjo con el propósito de Coordinar intervenciones entre los equipos que entran a mantener la pala, durante el mantenimiento preventivo.

Coordinar mantenciones eléctricas con mantenciones mecánicas para evitar interferencias entre partes.

Por medio de mediciones en terreno con un cronometro, más entrevista a expertos en el tema se lograron estipular tiempos de trabajo para cada tarea, además de denotar interferencias entre tareas, generándose información pertinente de cada componente, para luego generar una coordinación general.

COMPONENTE	Nombre del componente a mantener
MANTENEDORES NECESARIOS	Se especifica si se necesita eléctricos, mecánicos y el nivel de manejo en el tema.
RECURSOS NECESARIOS	Se nombra si se necesitan recursos como: escaleras, grúas y otros equipos especializados
INTERFERENCIAS CON OTRAS MANTENCIONES	Imposibilidad de realizar otra mantención mientras se realiza esta.
TIEMPO UTILIZADO	Tiempo total para mantener el componente.

Con la información obtenida se formó una mesa de trabajo donde colaboraron: el ingeniero de confiabilidad y técnicos en mantenimiento del área, el equipo apoyado con software, generó una hoja de ruta para los trabajos realizados o una Carta Gantt, con el propósito de reducir las interferencias entre los equipos de trabajo

En el anexo N°2..... se encuentra un resumen de las Cartas Gantt, más un extractos de las mismas.

Como principal modificación a la coordinación del proceso de mantenimiento es: la incorporación de tres detenciones programadas, con el propósito de realizar juntas todas las pruebas que requieran reactivación de la pala. Ver anexo N°1 Cartas Gantt

Hora de detención x Detenciones anuales x N° de palas = Costo Total de falla

Esta coordinación generará una hora menos de detención total de la pala, considerando los costos de detención de US\$7.983 por hora y dos mantenciones mensuales por pala y tres palas en faena, con ello se logra reducir en US\$574.776 al año, los costos por detención para Minera Candelaria..

7.- Validar rediseño, mediante juicio de expertos en el tema

La validación del Proyecto consto de dos partes:

Primero el trabajo terminado fue revisado por jefes de turno y el Planificador en Mantenimiento Pala, los cuales hicieron revisiones completas de documento de mantenimiento y de las Cartas Gantt.

Luego el Proyecto de Titulo fue presentado con el propósito de ser oficializado, donde fueron entregadas las pautas de mantención desarrolladas en el Proyecto de Memoria para ser examinadas y aprobadas por especialistas en el tema, subidas al sistema SAP. Las pautas ya habían sido revisadas por varios involucrados, los cuales tienen años de experiencia y preparación sobre el tema

Cargo de expertos que aprobaron el Proyecto.

- Súper intendente en mantenimiento e Ingeniería de Mantención.
- Jefe General en Mantención Equipo Pesado.
- Jefe General en Departamento de Confiabilidad e Ingeniería.
- 3 ingenieros de confiabilidad mina.
- Planificador Mantenimiento palas.
- Planificador Mantenimiento Eléctrico mina.
- Jefe de turno Mantenimiento Equipo Pesado.
- Ingeniero en Prevención de Riesgos de Mantenimiento.

Una vez terminada la presentación los asistentes entregaron sus comentarios, los que no fueron muchos, ya que la mayoría de ellos estaban informados de lo que se trataba en el Proyecto o, participó directamente en éste. Finalmente todos los participantes aprobaron el Proyecto realizado.

Capitulo 6: Conclusiones.

Conclusiones

El trabajo de Título se enmarco en el proceso de mantenimiento preventivo de las Palas P&H_2800XP en Compañía Contractual Minera Candelaria, logrando por medio del rediseño del proceso aumentar su eficiencia, a través del desarrollo de siete objetivos específicos.

La cuantificación del ahorro para la empresa fue medida en dólares, para normalizar la medición, ya que en algunos casos se aumentó la eficiencia en mano de obra y en otros en horas de detención. Se eligió la divisa norte americana debido a que los costos de la empresa de manejan de esta manera.

1. Se levantó el proceso de mantenimiento de la pala, por medio de estudio de manuales, entrevista al personal a cargo, antecedentes en terreno e informes históricos de la Compañía. Que dio como resultado la comprensión del proceso y los equipos que participan.
2. Se descartaron procedimientos repetitivos o que no agregan valor, a través de comparación con manuales y trabajo en terreno, encontrándose en total 47 actividades de mantenimiento que no agregaban valor alguno para el funcionamiento de la pala, generando un ahorro directo de US\$104.000 al año por conceptos de reducción en mano de obra externa.
3. Por medio de estudio en manuales de fábrica y del trabajo en conjunto con especialistas en el tema, se generó un detallado procedimiento de mantenimiento para cada componente de la pala, lo que colabora con aumentar la precisión del mantenimiento.
4. Se designó una frecuencia de mantenimiento que enfoca los recursos en los componentes de mayor criticidad para la operatividad de la pala, con el propósito de hacer más eficiente el proceso completo de mantenimiento.

Generando un ahorro al reducir el tiempo de la mantención de 300Hrs lo que se traduce en un ahorro de costos de US\$287.388 al año por concepto de reducción en una hora el tiempo de detención.

5. Se generaron mejoras del diseño de la documentación para la mantención, proporcionando un procedimiento más ordenado que facilitará futuras modificaciones al mantenimiento, además de incorporar mejoras en seguridad.
6. Se coordinaron las interacciones, entre los equipos de trabajo durante las detenciones logrando reducir las horas de detención en un 6,25%, equivalente en 1 de 16 horas de detención, lo que significa en costos de detención en US\$574.776 al año.
De este procedimiento no se considera como ahorro la menor utilización de mano de obra, ya que los mantenedores son parte de la compañía teniendo contrato fijo, por consiguiente, no se genera un ahorro directo para a empresa.
7. Se validaron las propuestas del rediseño en el mantenimiento predictivo para Palas P&H_2800, validación hecha por medio de juicio de expertos, efectuado primero con el análisis de especialistas y luego con una presentación a los administradores del mantenimiento, lo que oficializa las modificaciones y permitirá la posterior implementación del proyecto en la empresa.

Como Proyecto de Título se realizó el objetivo principal al generar un aumento en la eficiencia de las mantenciones de Palas P&H_2800 en Minera Candelaria, esto se concretó por medio de la realización de los siete objetivos específicos ya nombrados. Resultado cuantificable en ahorro de costos para la empresa que alcanza la suma de US\$966.164, gracias a su futura implementación al año al implementar el proyecto en Minera Candelaria.

Recomendaciones

Para asegurar una adecuada mantención en el tiempo, que después de cada modificación efectuada a las Palas P&H_2800, se debe realizar una modificación a los procedimientos de mantenimiento, por medio de actualizaciones a las pautas de mantención.

Bibliografía

Real Academia Española. (s.f.). *Diccionario de la lengua española; vigésima segunda edición.*

Arata, A. (s.f.). *Ingeniería y Gestión de la Confiabilidad operacional en plantas industriales.* RIL EDITORIAL.

Levitt, J. (2005). *Complete guide to preventive and predictive maintenance* . New york Ny.

Mineria, M. d. (07 de febrero de 2004). Reglamento de Seguridad Minera. *Publicado en el Diario Oficial*, pág. Decreto supremo N° 132.

Moubray, J. (1997). *RCM: Reability Cebered Maintenance.* Industrial Press.

Steve, M. (s.f.). *PM Optimisation Maintenance analysis of the future.*

Anexo

Anexo N° 1 Cartas Gantt

En la ilustración de a continuación se representa un resumen de la Carta Gantt realizada en el Proyecto de Título, este es sólo una representación ya que la verdadera Carta tiene más de 400 tareas por lo que resulta poco práctico apedazarla a este documento.

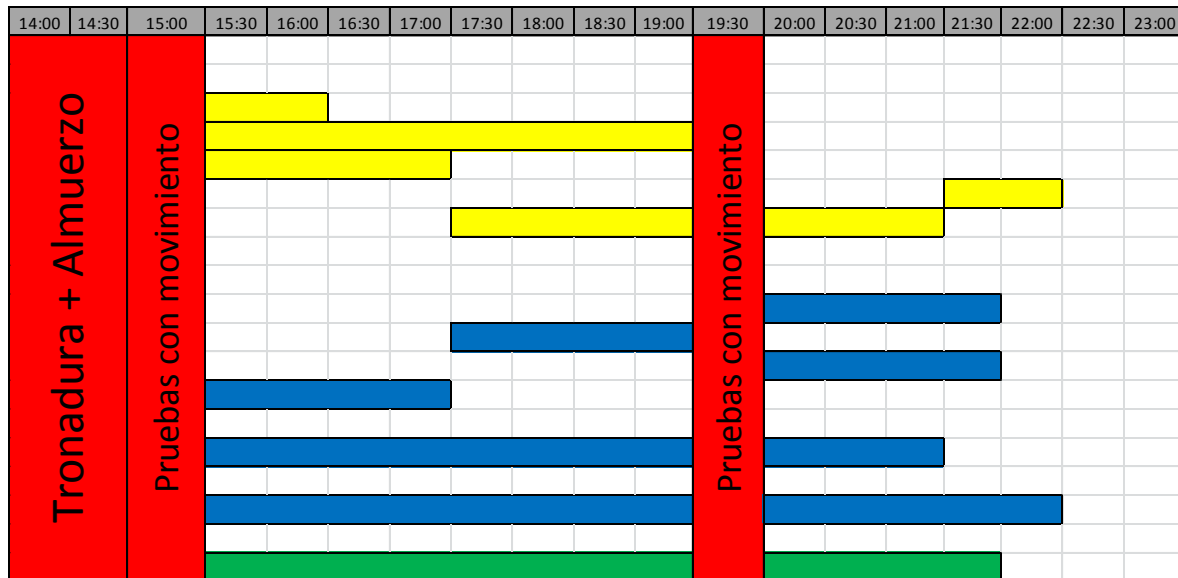
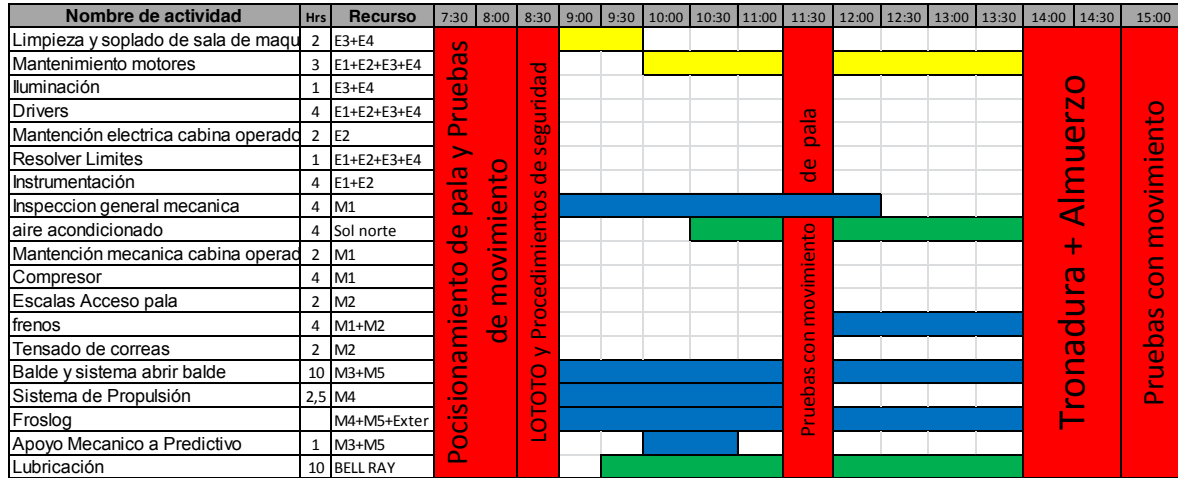
En relación a lo anterior, se presenta una tabla, especificando distintos colores, los cuales tienen relación con los cascos de cada equipo de trabajo de la Minera.

Descripción	Color
Detención de la mantención	Rojo
Trabajo de eléctricos	Amarillo
Trabajo de Mecánicos o soldadores	Azul
Trabajo de contratistas	Verde

Cuadro que describe las siglas utilizadas en la Carta Gantt

Nombre	Sigla
Eléctrico 1, más experimentado en el tema	E1
Eléctrico 2	E2
Eléctrico 3	E3
Eléctrico 4, menos experimentado en tema	E4
Mecánico 1, más experimentado en el tema	M1
Mecánico 2	M2
Mecánico 3	M3
Mecánico 4	M4
Mecánico 5, menos experimentado	M5
Sol norte, Empresa Contratista especialista en Aire acondicionado	Sol norte
Bell Ray, Empresa Contratista especialista en lubricación	Bell ray
Empresa externa, que apoya trabajos.	exter

A continuación, se presenta el resumen de la Carta Gantt la que representan los tiempos iniciales que se posiciona la pala y generan bloqueos de seguridad. En el Proyecto se generaron tiempos establecidos para la realización de las pruebas, donde se buscó que estas detenciones interrumpiera la menor cantidad de procedimientos, coordinándolos antes y después de las pruebas.



A continuación, se presentan extractos reales de los procedimientos de mantenimiento. Se representa la pauta para desarrollar la mantención que deben realizar los equipos de trabajo:

Nombre de actividad	Hrs	Recurso	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00
Instrumentación	4	E1+E2	Pocisionamiento de pala y pruebas de movimiento	LOTOTO y procedimientos de seguridad							Pruebas con movimiento					Tronadura + Almuerzo	Pruebas de Movimiento	
Sistema Tooth Metrics	1	E1																
Sistema Mesh	1	E1																
Sistema Terralife	1	E1																
Radio Comunicaciones	0,5	E1																
Sistema de Fragmentación	0,5	E2																
Sistema Dispatch	0,5	E2																
Sistema CAES	1	E2																
Sistema Accuweigh	1	E2																
Rampa MEM	0,5	E2																

14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30	19:00	19:30	20:00	20:30	21:00	21:30	22:00	22:30	23:00		
Tronadura + Almuerzo	Pruebas de Movimiento										Prueba de Movimiento									

Nombre de actividad	Hrs	Recurso	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00
Lubricación	10	B1+B2	Pocisionamiento de pala y pruebas con movimiento	LOTOTO y procedimientos de seguridad							Pruebas con movimiento					Tronadura + Almuerzo	Pruebas con Movimiento	
Lubric. Transmisión Propel	1	B1+B2																
Lubric. Rodado Oruga	1	B1+B2																
Lubric. Transmisión Swing	1,5	B1+B2																
Lubric. Transmisión Hoist	0,5	B1+B2																
Lubric. Tornamesa	1	B1+B2																
Lubric. Sistema Neumático	0,5	B1+B2																
rellenar niveles de lubricación	0,5	B1+B2																
Lubric. Cables de suspensión	1,5	B1+B2																
Lubric. Correderas	0,5	B1+B2																
Lubric. Pluma	1	B1+B2																
Lubric. Transmisión Crowd	1	B1+B2																

14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30	19:00	19:30	20:00	20:30	21:00	21:30	22:00	22:30	23:00		
Tronadura + Almuerzo	Pruebas con Movimiento										Pruebas de Movimiento									

14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30	19:00	19:30	20:00	20:30	21:00	21:30	22:00	22:30	23:00		
Tronadura + Almuerzo	Pruebas con Movimiento										Pruebas de Movimiento									

Anexo N°2 Evaluación de criticidad.

A continuación, se presentan los cálculos realizados para evaluar la criticidad de los componentes de la pala, donde estos son designados como de: criticidad baja, media o alta. El proceso fue descrito en detalle en el Análisis de Criticidad.

La inspección de componentes, colabora en la detección de fallas, pudiendo designar su posterior mantención, con lo que se tiene un gran impacto en la producción de la pala y seguridad del personal, además de evitar fugas u otros daños ambientales, se debe considerar que por la gran cantidad de componentes que se inspeccionan, la frecuencia con que este método encuentra fallas es bastante elevada.

Inspección mecánica	
Impacto al personal	3
Impacto medio ambiente	2
Daños a las instalaciones	0
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	3
Impacto Total	8
Frecuencia	5
Criticidad	40
Criticidad Alta	

Mantención aire acondicionado	
Impacto al personal	3
Impacto medio ambiente	1
Daños a las instalaciones	0
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	0
Impacto Total	4
Frecuencia	5
Criticidad	20
Criticidad Alta	

Mantenimiento aire acondicionado	
Impacto al personal	3
Impacto medio ambiente	1
Daños a las instalaciones	0
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	0
Impacto Total	4
Frecuencia	5
Criticidad	20
Criticidad Alta	

Debido a las elevadas temperaturas dentro de la mina las cuales superan los 40°C, es indispensable para el operador de la pala, mantener el aire acondicionado operativo, para esto debe ser mantenido constantemente ya que trabaja en un ambiente saturado de polvo en suspensión y sometido a constantes vibraciones, lo que daña el sistema.

Mantenimiento cabina operador	
Impacto al personal	3
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	0
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	3
Impacto Total	6
Frecuencia	2
Criticidad	12
Criticidad Media	

Mantenimiento que se preocupa de mantener controles de mando, asiento del operador y visibilidad desde la cabina (vidrios, limpia parabrisas), teniendo como principales fallas los controles de mando.

Mantenimiento compresor	
Impacto al personal	0
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	0
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	3
Impacto Total	3
Frecuencia	2
Criticidad	6
Criticidad Media	

Los compresores y sistemas neumáticos son de vital importancia para el funcionamiento de la pala, principalmente en frenos, teniendo como mayor causa de fallas fugas de aire.

Mantenimiento escalas acceso pala	
Impacto al personal	3
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	0
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	2
Impacto Total	5
Frecuencia	2
Criticidad	10
Criticidad Media	

Como políticas de la compañía debe haber 2 de 3 escalas operativas o la Pala no puede funcionar, por lo que este componente no solo afecta directamente al personal sino que además a la producción, teniendo como mayores fallas golpes de rocas.

Frenos electro mecanicos	
Impacto al personal	3
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	3
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	3
Impacto Total	9
Frecuencia	2
Criticidad	18
Criticidad Alta	

Componentes críticos para el funcionamiento de las palas, seguridad del personal y de otros equipos cercanos. Tienen poca ocurrencia de falla pero estas suele ser de un gran impacto.

Mantenimiento lubricación	
Impacto al personal	0
Impacto medio ambiente	3
Daños a las instalaciones	0
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	3
Impacto Total	6
Frecuencia	4
Criticidad	24
Criticidad Alta	

La lubricación del equipo tiene una alta ocurrencia de falla, además éstas pueden generar importantes daños, produciéndose derrames de hidrocarburos al suelo.

Realizar aseo general pala	
Impacto al personal	1
Impacto medio ambiente	1
Daños a las instalaciones	0
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	1
Impacto Total	3
Frecuencia	5
Criticidad	15
Criticidad Media	

Al trabajar la Pala esta levanta una gran cantidad de material particulado por todo el ambiente, dejando una gran cantidad de éste en la Pala, lo que daña equipos eléctricos y mantiene un ambiente contaminado de trabajo.

Mantenición al sist. de fragmentación	
Impacto al personal	0
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	1
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	2
Impacto Total	3
Frecuencia	1
Criticidad	3
Criticidad Baja	

Sistema de fragmentación el que funciona por medio de cámaras, en las que el operador visualiza lugares desde distintos puntos el terreno de trabajo, como principales fallas se encuentra el desenfoque de las cámaras por motivo de la vibración a que está sometida la pala.

Mantenimiento tensado correas	
Impacto al personal	0
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	0
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	3
Impacto Total	3
Frecuencia	2
Criticidad	6
Criticidad Media	

Sistema de tensado de correas las cuales transmiten la potencia desde el motor de empuje al mango de la pala, correas que deben ser inspeccionadas y tensionadas periódicamente.

Revisión balde y sist abrir balde	
Impacto al personal	0
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	3
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	3
Impacto Total	9
Frecuencia	5
Criticidad	45
Criticidad Alta	

Balde con el que se carga el material, el cual es sometido a desgaste por la erosión del terreno. Las fallas de este componente suelen ser catastróficas en el chancador primario.

Revisión tornamesa	
Impacto al personal	0
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	0
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	3
Impacto Total	3
Frecuencia	1
Criticidad	3
Criticidad Baja	

Aunque tiene gran relevancia en la producción por su largo tiempo de reparación la frecuencia de falla es muy escasa teniendo sólo una falla en todos los años de operatividad.

Hermeticidad ventana sala lubricación	
Impacto al personal	0
Impacto medio ambiente	2
Daños a las instalaciones	0
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	1
Impacto Total	3
Frecuencia	1
Criticidad	3
Criticidad Baja	

La hermeticidad colabora a evitar que entre polución a la sala, además de servir en caso de incendio.

Motor Propel 1-2	
Impacto al personal	0
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	1
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	3
Impacto Total	4
Frecuencia	2
Criticidad	8
Criticidad Media	

Su Funcionalidad es de importantísima relevancia para el trabajo de la pala, además su falla demora en ser reparada.

Motor Crowd	
Impacto al personal	0
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	1
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	3
Impacto Total	4
Frecuencia	2
Criticidad	8
Criticidad Media	

Motor que permite el movimiento del balde, además sirve para frenar el mismo, su reparación de falla es de 3 días.

Motores Swing 1-2	
Impacto al personal	0
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	1
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	3
Impacto Total	4
Frecuencia	1
Criticidad	4
Criticidad Baja	

Motor de giro que además contribuye al frenado del movimiento, tiene una baja tasa de falla.

Motores Hoist 1-2	
Impacto al personal	0
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	1
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	3
Impacto Total	4
Frecuencia	4
Criticidad	16
Criticidad Alta	

Desarrolla la función principal de la Pala, al permitir levantar el material, por lo que están sometidos a gran trabajo.

Motor Abrir Balde	
Impacto al personal	0
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	0
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	3
Impacto Total	3
Frecuencia	1
Criticidad	3
Criticidad Baja	

Solo acciona el seguro del balde, no tiene mayor desgaste, es un componente fácil de mantener y reparar.

Iluminación	
Impacto al personal	1
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	1
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	1
Impacto Total	3
Frecuencia	5
Criticidad	15
Criticidad Media	

Las palas trabajan de manera continua, por lo que necesitan de iluminación.

Brazo Hidraulico	
Impacto al personal	0
Impacto medio ambiente	1
Daños a las instalaciones	0
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	1
Impacto Total	2
Frecuencia	1
Criticidad	2
Criticidad Baja	

Aunque es indispensable para mantener energizada la pala, es rápida su reparación.

Gabinete de Transferencia	
Impacto al personal	0
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	1
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	3
Impacto Total	4
Frecuencia	2
Criticidad	8
Criticidad Media	

Tiene un alto impacto en la pala, ya que por su alto voltaje puede ocasionar incendios.

Cabinas Auxiliares	
Impacto al personal	0
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	0
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	1
Impacto Total	1
Frecuencia	2
Criticidad	2
Criticidad Baja	

Tiene baja frecuencia de fallas debido a la poca utilización.

Cabinas Convertidores	
Impacto al personal	2
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	0
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	2
Impacto Total	4
Frecuencia	3
Criticidad	12
Criticidad Media	

Tiene importancia en el personal, ya que para las mantenciones, este mecanismo se mantiene electrificado.

Cabinas de Control	
Impacto al personal	0
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	1
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	3
Impacto Total	4
Frecuencia	4
Criticidad	16
Criticidad Alta	

Son componentes delicados que se dañan por la vibración y el polvo del ambiente. La falla requiere de equipo especializado para la reparación.

Cabinas Drive	
Impacto al personal	1
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	0
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	3
Impacto Total	4
Frecuencia	4
Criticidad	16
Criticidad Alta	

Alto índice de fallas y puede llegar a dañar los computadores de la pala.

Tablero 380 Volts	
Impacto al personal	1
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	0
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	2
Impacto Total	3
Frecuencia	2
Criticidad	6
Criticidad Baja	

Tablero de voltaje de 380volts, el cual es estandarizado, por lo que sus componentes son rápidos de cambiar.

Mantenimiento Ventiladores	
Impacto al personal	0
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	0
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	3
Impacto Total	3
Frecuencia	3
Criticidad	9
Criticidad Media	

Su falla puede llegar a ser catastrófica al dañar otros componentes de la pala, como los motores.

Sistema Contra Incendios	
Impacto al personal	2
Impacto medio ambiente	1
Daños a las instalaciones	0
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	3
Impacto Total	6
Frecuencia	1
Criticidad	6
Criticidad Baja	

De ser necesario su falla se considera catastrófica, aunque nunca ha fallado.

Mantener Limites	
Impacto al personal	0
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	2
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	1
Impacto Total	3
Frecuencia	3
Criticidad	9
Criticidad Media	

Límites de Movimiento lo que permite un adecuado movimiento, una des-calibración de estos puede ocasionar que la pala dañe otros equipos.

Rack de Comunicaciones	
Impacto al personal	0
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	0
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	1
Impacto Total	1
Frecuencia	3
Criticidad	4
Criticidad Baja	

Su falla afecta el envío de datos que permiten el análisis y monitoreo de la pala.

Sistema Tooth Metrics	
Impacto al personal	0
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	3
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	1
Impacto Total	4
Frecuencia	1
Criticidad	4
Criticidad Baja	

Mide el largo de los dientes de la pala, y al no alarmar que un diente está quebrado se puede dañar gravemente el chancador primario.

Sistema Mesh	
Impacto al personal	0
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	0
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	1
Impacto Total	1
Frecuencia	2
Criticidad	2
Criticidad Baja	

Permite medición de mineral, por lo que no genera mayores daños a la producción en caso de falla.

Radio Comercial	
Impacto al personal	0
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	0
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	1
Impacto Total	1
Frecuencia	2
Criticidad	2
Criticidad Baja	

Equipo fácil de cambiar en caso de falla, no requiere de mayor mantenimiento

Sistema Dispatch	
Impacto al personal	0
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	0
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	3
Impacto Total	3
Frecuencia	1
Criticidad	3
Criticidad Baja	

Sistema de monitoreo reciente, no registra fallas a la fecha.

Sistema Accuweigh	
Impacto al personal	0
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	0
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	1
Impacto Total	1
Frecuencia	1
Criticidad	1
Criticidad Baja	

Permite pesar el material extraído, no afecta mayormente la funcionalidad de la pala.

Rampa MEM	
Impacto al personal	0
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	0
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	2
Impacto Total	2
Frecuencia	4
Criticidad	8
Criticidad Media	

Sistema de comunicaciones, ha representado constantes fallas, ya que se está recién instalando y se encuentra en etapa de ajustes.

Pluma	
Impacto al personal	3
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	2
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	3
Impacto Total	8
Frecuencia	2
Criticidad	16
Criticidad Alta	

Genera una falla catastrófica que además puede generar daños graves a otros equipos y el personal.

Emplanchado Sala de Maquinas	
Impacto al personal	0
Impacto medio ambiente	1
Daños a las instalaciones	0
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	1
Impacto Total	2
Frecuencia	3
Criticidad	6
Criticidad Baja	

Afecta al cuidado de otras piezas más que una funcionalidad directa, por lo que si se produce una falla no afecta directamente una funcionalidad de la pala.

Mango	
Impacto al personal	0
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	0
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	3
Impacto Total	3
Frecuencia	1
Criticidad	3
Criticidad Media	

Genera una falla catastrófica, aunque sus fallas tienen una larga evolución, por lo que inspecciones periódicas evitan consecuencias mayores

Bastidores	
Impacto al personal	1
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	0
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	3
Impacto Total	4
Frecuencia	1
Criticidad	4
Criticidad Baja	

Tiene bajos índices de falla y su reparación no toma mucho tiempo, ya que se puede reemplazar por otros modelos.

Gantry	
Impacto al personal	0
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	0
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	3
Impacto Total	3
Frecuencia	2
Criticidad	6
Criticidad Baja	

Las fallas tienen una lenta evolución por lo que se les puede realizar seguimiento predictivo.

Carbody	
Impacto al personal	0
Impacto medio ambiente	0
Daños a las instalaciones	0
Impacto a la población	0
Impacto a la producción	3
Impacto Total	3
Frecuencia	1
Criticidad	3
Criticidad Baja	

Aunque tiene una baja tasa de falla estas son catastróficas, por lo que es importante un buen trabajo de inspección

Resultados Cuantitativos obtenidos en la elaboración de matrices de criticidad donde se aprecia la reducción de componentes de criticidad alta y media y el aumento de componentes a criticidad baja

Nivel de Criticidad	Cantidad de componentes actuales	Cantidad de componentes propuestos
Criticidad Alta	11	9
Criticidad Media	15	14
Criticidad Baja	16	19
total componentes	42	42

Anexo N°3: modificaciones de documento de mantención

En el extracto que se encuentra más abajo se muestran fallas clásicas de los documentos de mantenimiento, donde primero se tiene que el proceso completo está duplicado, además de errores como se destaca en amarillo nombrándose mal un componente, ya que se quiso decir “frenos de levante”, palabra proveniente de los motores de levante, además encontramos un error que daña la operatividad del equipo, debido a que en el Manual de fábrica queda expresado claramente que la presión necesaria debe ser de 100psi exactos, no como se muestra en color rojo más abajo que, permite calibrar los frenos hasta a 90psi. Además se encuentran códigos y números que no son reconocidos por ningún miembro del equipo de mantenimiento.

Pag 5

SISTEMA FRENOS ~~MAQUINA~~ M422
 TIEMPO BUENO MALO REP.
 Revise estado de ambos frenos máquina 3
 pernos y lainas
 Revise V/V despiche rápido ambos Freno 3
~~maquina~~
 Revise mangueras aire alimentación, 3
 frenos ~~maquina~~, fugas y roces.
 Revise panel de control frenos ~~maq y~~ 3
 Regular aire entre ~~90~~
 100 psi.
 Revise anclaje ambos lados ~~frenos maq.~~ 3
 Revise descarga automática de aire del
 compresor. 3
 Revisar goteo lubricación aire frenos
 Debe revisarse con Pala funcionando 3

Pag 71

SISTEMA FRENOS MAQUINA M422
 TIEMPO BUENO MALO REP.
 Revise estado de ambos frenos maquina 3
 pernos y lainas
 Revise anclaje F/maquina ambos lados 3
 Revise mangueras aire alimentacion, 3
 frenos maquina, fugas y roces.
 Revise panel de control frenos maq.y 3
 Regular aire entre 90 -
 100 psi.
 Revise V/V despiche rapido ambos Freno 3
 maquina

El extracto de a continuación muestra errores parecidos al anterior como duplicidades en tres páginas, nombres mal puestos e información errónea, pero además incluye información que no se entiende desde el punto de vista de los operadores.

Inspección general, pag 5
Mantenimiento frenos, pag 70

Mantenimiento frenos, pag 73

SISTEMA FRENSOS VIRAR M415		M415 Freno Virar 15R14-D1 o 0
TIEMPO BUENO MALO REP.		Tiempo 30 Min.
Revise estado de ambos frenos virar pernos y laines	3	1.-Revisar Freno sus suplemento en base 10 B.090 M.125 _____ 2.-Revisión de recorrido embolo 8 B.125 M.080 _____ 3.-Menos de 0,125in.(3,175mm.) revisar 30 B.125 M.080 _____ 4.-Mas de 0,250 in.(6.35mm.) dar vuelta 30 B.125 M.250 _____ discos C?
Revise V/V despiche rapido armbos Freno virar	3	5.-Las balatas menos de .090 disparejos 10 B.125 M.085 _____ dar vuelta el disco 6.-Carrera del embolo mas de 0,330 in (7,87mm.) cambiar F. 90 B.125 M.350 _____ 7.-Verificar espacio libre de carrera de 5 B.030 M.014 _____ los platos
Revise mangueras aire alimentacion, frenos virar, fugas y roces.	3	8.-Verificar torques de los frenos en 10 B 75 M 60 _____ Lb-Ft Esparragos 8.-Verificar torques de los frenos en 10 B 55 M 40 _____ Lb-Ft Allen
Revise panel de control frenos virar y Regular aire entro 30 00 psi.	3	9.-Verificar presión Neumatica 90 100 5 B 90 M 101 _____ psi. (6.90bar)
Revise anclaje F/Virar ambos lados	3	10.- Verificar modelos de frenos que sean 5 B M _____ iguales
		11.-Verificar distancia A-C reduce, C? 10 B.030 M.014 _____ colocar suple
		12.-Verificar distancia B-D aumenta C? 10 B.030 M.040 _____

A continuación, se muestra la mejora realizada en el documento, donde se eliminaron duplicidades, palabras mal escritas y procedimientos mal descritos. Agregándose procedimientos extras y más específicos donde el mantenedor tiene parámetros objetivos para mantener, con el fin de estandarizar el proceso completo, además de aumentar la eficiencia de éste.

FRENOS GIRAR (SWING)

- Rev. Y o reparar estado de ambos frenos pernos y laines
- Rev. v/v quick ambos freno giro
- Rev. Mangueras aire alimentación, frenos giro, fugas y roces.
- Rev. Panel de control frenos giro y regular aire a 100 psi.
- Rev. anclaje f/giro ambos frenos y o reparar
- limpiar frenos, de polvo, lubricantes, etc.
- Rev. recorrido embolo;
 - Menos de 0,125in.(3,175mm.) agregar laina,
 - Más de 0,250 in.(6.35mm.) sacar laina
 - Anotar medida de embolo.....
- Rev. estado de la balatas, buscar desgastes o señales de temperatura
- Rev. Y o reparar, conexiones neumáticas, buscando fugas
- verificar torques de los frenos en los espárragos
- Rev. Y o reparar fugas de aire en el freno
- Verificar presión neumática a 100 psi. (6,90bar)

Anexo N°4: modificaciones de Formato

A continuación, se representa un proceso como fue descrito donde no existen especificaciones para mantener, quedando condicionada la mantención a la experiencia del operador, haciendo poco exacto el proceso.

Antiguo formato de mantención.

TORNAMESA

- Mantener tornamesa

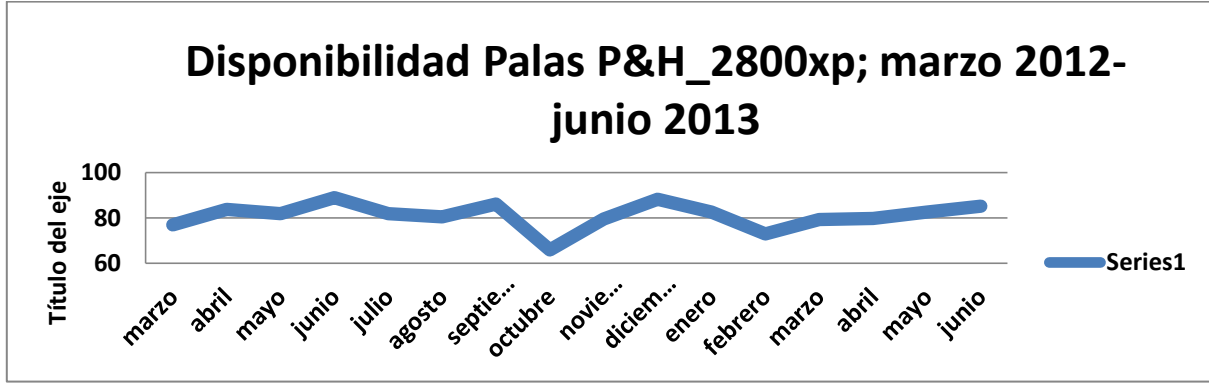
Nuevo formato de mantención.

TORNAMESA

- Rev. Pernos corona tornamesa, torque y estado de los pernos.
- Rev. Corona, dientes quebrados, desgaste
- Rev. Desgaste del círculo de polines (rodillos) dentro de la parte trasera de la corona de giro.
- Rev. Clip de rieles superiores e inferiores.
- Rev. Gap entre polines superiores y polines.
- Rev. Filtraciones de grasa desde pernos, lo cual significa que el perno esta suelto o en mal estado.

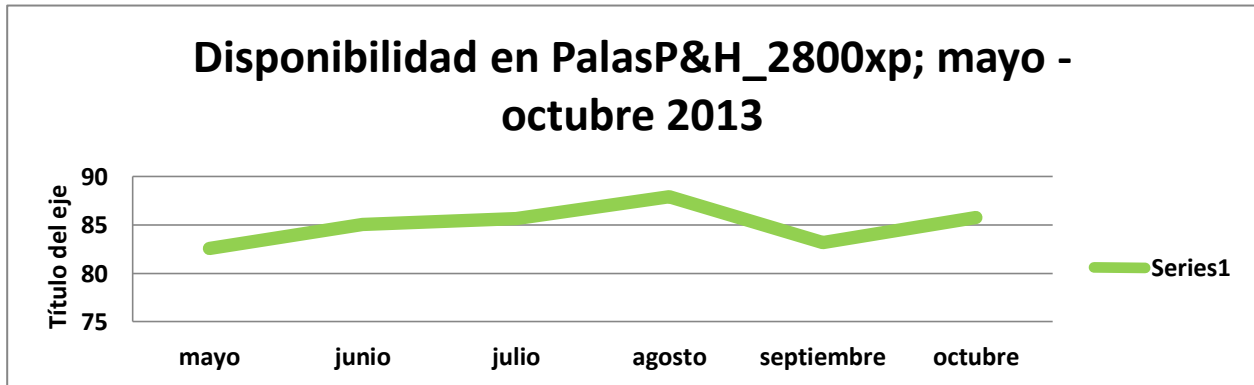
Anexo: N°5 Disponibilidad

Grafico de disponibilidad de la flota de palas



	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
2012	77,01	83,80	81,91	88,85	82,00	80,44	86,10	65,95	79,59	88,11
2013	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio				
	82,53	73,00	79,21	79,73	82,58	85,05				
Media=	80,99									
Desviación=	5,67									

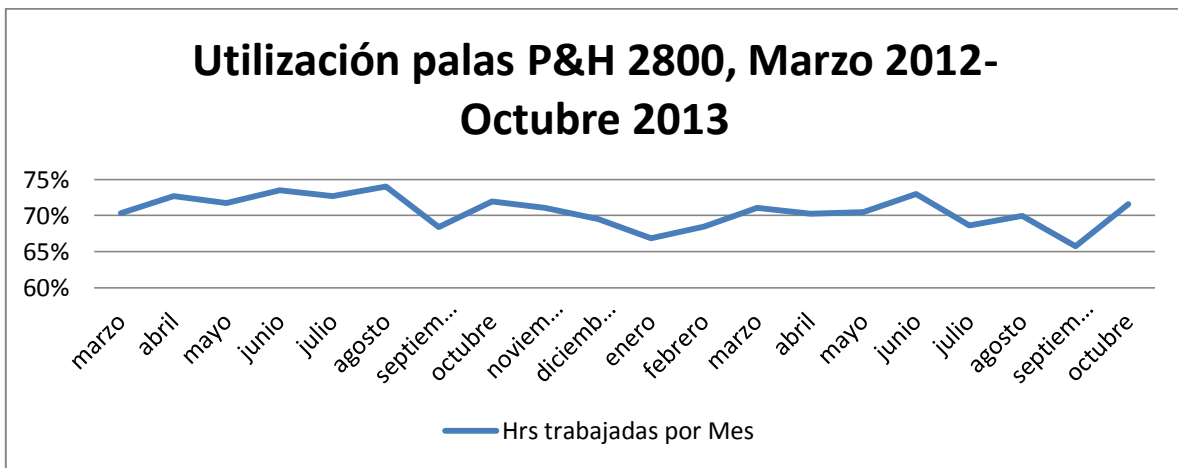
Disponibilidad de las palas desde que la empresa aumento los esfuerzos para



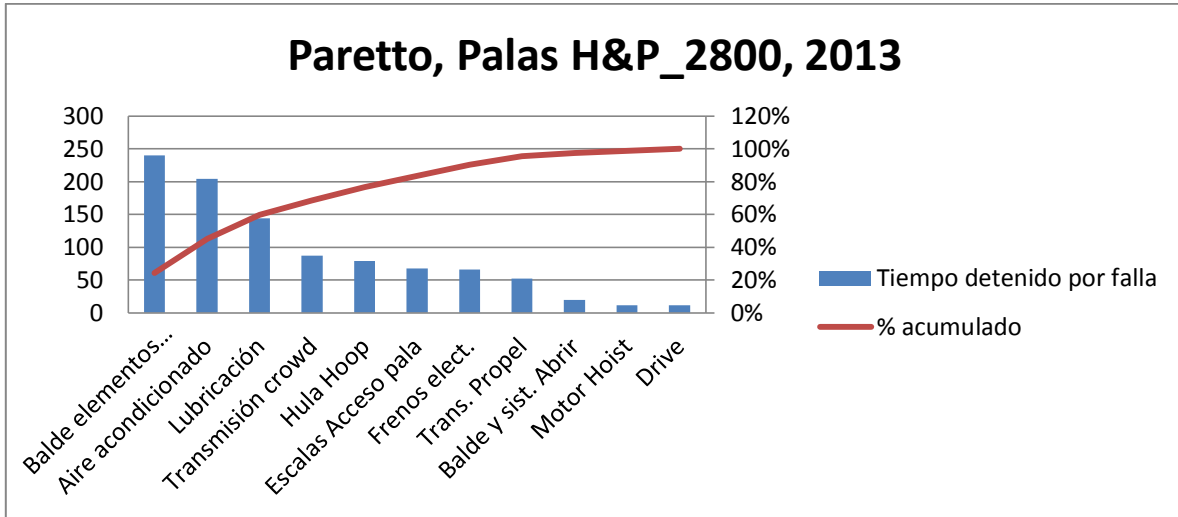
aumentar la disponibilidad, en especial el cambio de turnos de trabajo.

	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	Octubre
2013	82,58	85,05	85,64	87,88	83,17	85,77
Media=	85,01					
Desviación=	1,92					

El gráfico a continuación expresa la utilización real de la flota de palas P&H_2800xp, en Minera Candelaria desde marzo del 2012 a octubre del 2013, dando un promedio del 70% de utilización mensual.



Utilización en flota de palas P&H 2800 XP, Marzo del 2012 - Octubre del 2013										
	Marzo	Abril	Mayo	Juni	Julio	Agost	Septiembr	Octubr	Noviembr	Diciembr
2012	70%	73%	72%	73%	73%	74%	68%	72%	71%	70%
	Enero	Febrer	Marz	Abril	May	Junio	Julio	Agosto	Septiembr	Octubre
201300	67%	68%	71%	70%	71%	73%	69%	70%	66%	72%
	Promedio	70,61%								
	Desviació	n	0,022							



Pareto, Horas detenidas por flota de Palas P&H_2800XP				
	Componente	Hrs detenidas	Hrs acumuladas	% acumulado
1	Balde elementos desgaste	240	240	24%
2	Aire acondicionado	204	444	45%
3	Lubricación	144	588	60%
4	Transmisión crowd	87	675	69%
5	Hula Hoop	79	754	77%
6	Escalas Acceso pala	68	822	84%
7	Frenos elect.	66	888	90%
8	Trans. Propel	52	940	96%
9	Balde y sist. Abrir	20	960	98%
10	Motor Hoist	12	972	99%
11	Drive	12	984	100%
	total=	984		

AnexoN°6 Reglamento de Seguridad Minera

Decreto Supremo N° 132

Ministerio de Minería

Publicado en el diario oficial el 07 de febrero de 2004

Extractos del Decreto donde queda estipulado que es obligatorio que todo manual, o procedimiento realizado en la minería debe estar en idioma español.

Artículo 30

“Todos los equipos, maquinarias, materiales, instalaciones e insumos, deberán tener sus especificaciones técnicas y de funcionamiento en idioma español”.
(Minería, 07 de febrero de 2004)

Artículo 31

“La Empresa minera debe adoptar las medidas necesarias para garantizar la vida e integridad de los trabajadores propios y de terceros, como así mismo de los equipos, maquinarias, e instalaciones, estén o no indicada en este Reglamento. Dichas medidas se deberán dar a conocer al personal a través de conductos o medios de comunicación que garanticen su plena difusión y comprensión .Tanto el acceso de visitas, como personal ajeno a las operaciones mineras de la faena, deberá estar regulado mediante un procedimiento que cautele debidamente su seguridad.” (Minería, 07 de febrero de 2004).

Artículo 258

“La cabina o habitáculo de los vehículos y/o equipos que operan en una mina a rajo abierto, deben ofrecer como condiciones mínimas a sus operadores; seguridad, confort, y otras tales como:

- a) Aislamiento acústico, que garantice niveles de ruido conforme a las normas establecidas.
- b) Buenas condiciones de sellado para evitar filtraciones de polvo y gases. Si es preciso se deberán considerar sistemas de presurización y acondicionamiento de aire.
- c) Asientos con diseño ergonómico.
- d) Climatización de acuerdo a las condiciones del lugar de trabajo.
- e) Instrumental y mandos de operación de acuerdo a diseños ergonómicos y con instrucciones en idioma español.
- f) Buena visibilidad (alcance visual).

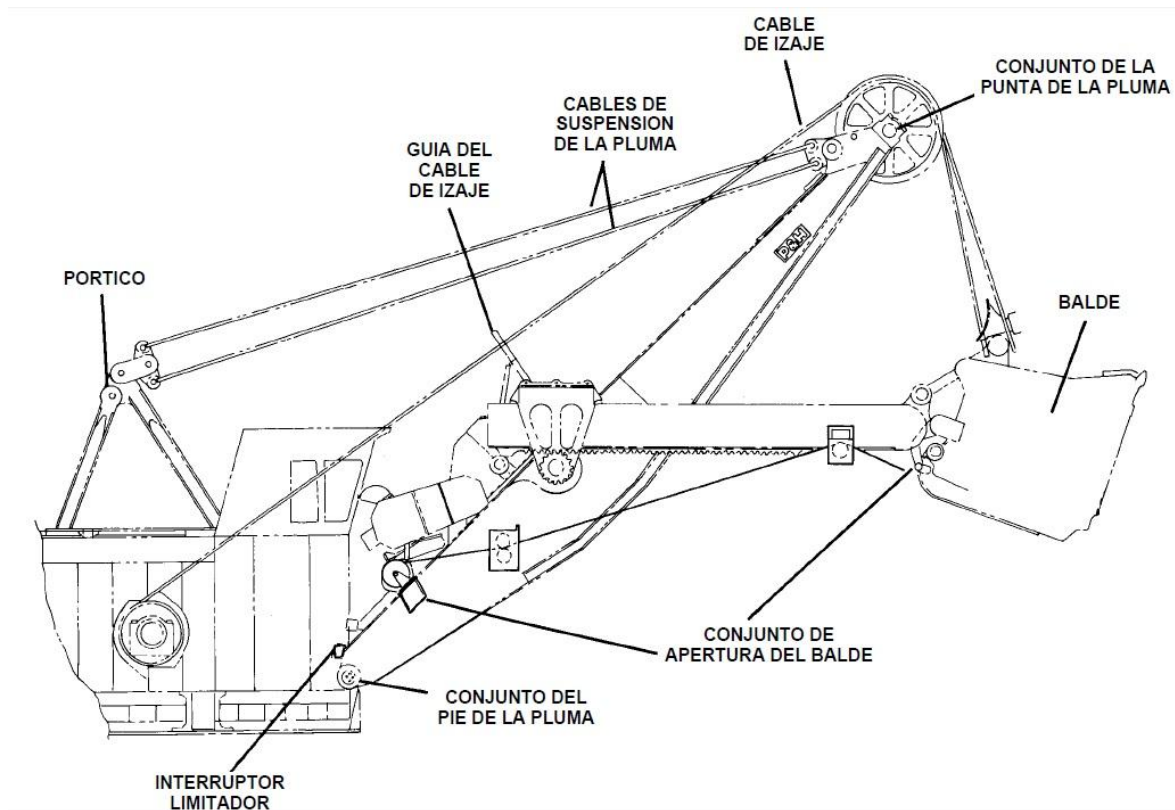
La cabina de los camiones debe ser construida de acero y con resistencia suficiente para proteger efectivamente al chofer de eventuales lesiones causadas por la pala o por rocas que se proyectan durante la operación de carguío. En el llenado de los neumáticos debe considerarse la recomendación del fabricante de ellos, en cuanto al uso de nitrógeno (N) comprimido u otro gas comprimido”. (Minería, 07 de febrero de 2004).

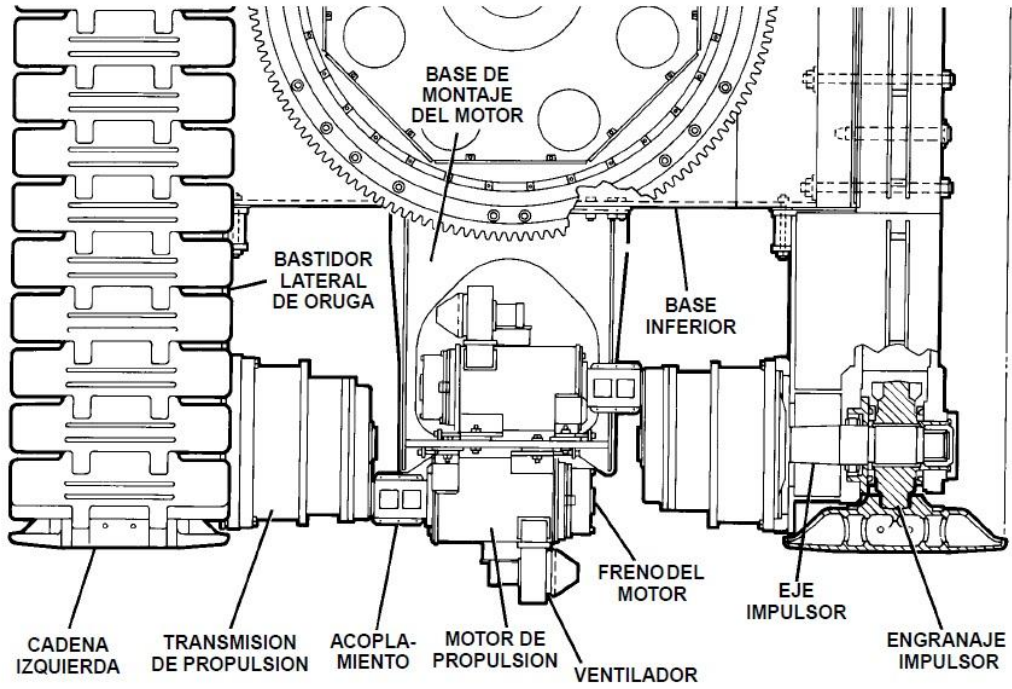
Artículo 371

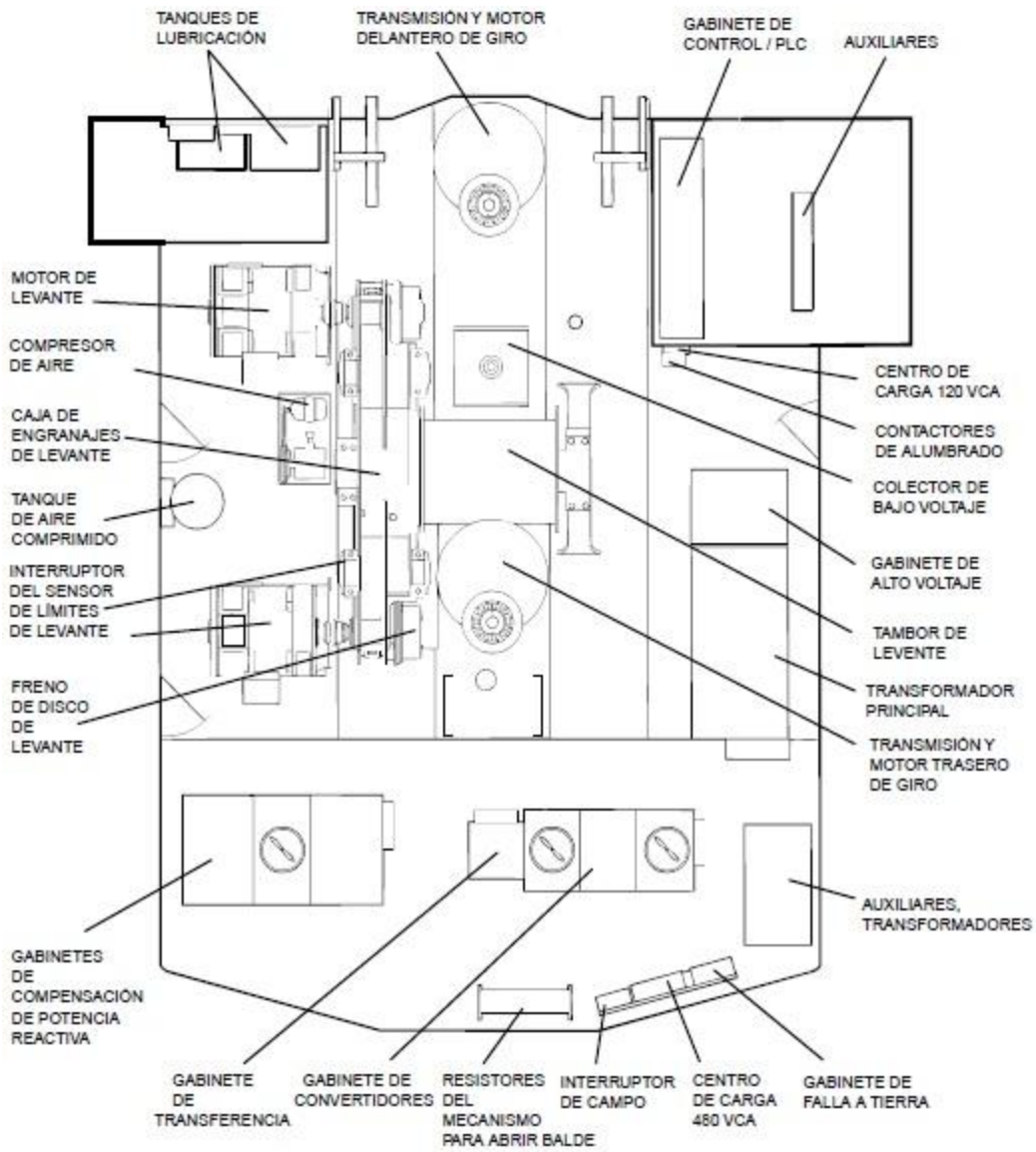
“En los montacargas, palas mecánicas, retroexcavadoras, dragas y en cualquier tipo de unidad móvil industrial será obligatorio señalar las limitaciones operativas de precaución y de carga del equipo, las que deben estar impresas en instructivos y/o placas, en sistema métrico decimal y en idioma español”. (Minería, 07 de febrero de 2004)

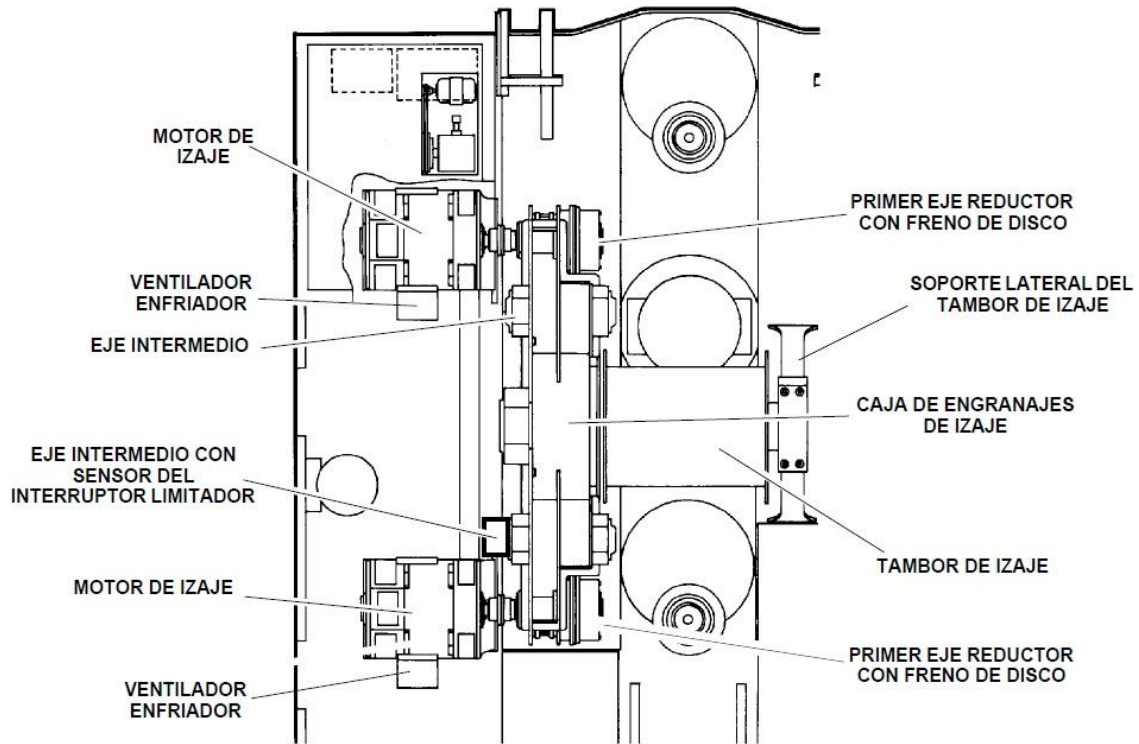
Anexo N°7 Diagrama de partes de la Pala P&H_2800XP

Diagrama extraídos de los manuales de fábrica, puestos anexados con el propósito de aclarar el concepto general de las palas y permitir la localización de componentes mencionados en la memoria.









F3925