UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
VALPARAÍSO – CHILE

"DISEÑO Y APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA BASADA EN ESCALA DE MADUREZ PARA LA EVALUACIÓN Y EL MEJORAMIENTO DEL MANTENIMIENTO EN LA FLOTA DE CARGUÍO DE EMPRESA MINERA"

VICENTE JOSÉ PAZ CHINCHÓN

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESOR GUÍA: ING. RENÉ VALDENEGRO OYANEDER
PROFESOR CORREFERENTE: ING. LUIS GUZMÁN BONET

MAYO – 2017

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a mi familia, que me formó en valores y me dio la oportunidad de estudiar lejos del hogar en una institución tan prestigiosa como lo es la Universidad Técnica Federico Santa María. A mi madre quien con su amor y sabiduría me cobijó y orientó en todo momento, sobre todo cuando los tiempos eran difíciles; a mi padre quien confió en mis capacidades y me apoyó incondicionalmente durante los largos años de estudio; a mis hermanos, quienes fueron un modelo a seguir en mi proceso universitario.

Agradezco a mi profesor guía y profesor correferente quienes con su juicio y vasta experiencia en minería aportaron grandemente en el desarrollo de este trabajo. A la Universidad Técnica Federico Santa María que me entregó valiosas herramientas para enfrentar el mundo laboral y a Minera Centinela, que me permitió desarrollar este trabajo de título y donde conocí el valor de la excelencia.

A los compañeros de cada pensión o departamento donde viví, asimismo a mis amigos y familiares de Viña del Mar con quienes compartí gratos momentos logrando olvidar a ratos el estar lejos de casa. En especial agradezco a mis tíos quienes me alojaron cariñosamente en su hogar cuando lo necesité; y a mi polola a quien me dio apoyo fundamental para finalizar el proceso de título.

DEDICATORIA

A mis abuelos, Eulalia y Eladio.

RESUMEN

En el presente trabajo se presenta el diseño y aplicación de una metodología para evaluar y mejorar el mantenimiento del área de carguío de la empresa objetivo. La motivación fue dar respuesta a la problemática que atraviesa el mercado del cobre y la empresa en particular. Se identificó la organización y funcionamiento de las áreas de producción y mantenimiento, realizándose un análisis de criticidad del área de carguío, cuya prioridad son las palas eléctricas P&H 4100 XPC. Se diseñó una Auditoría basada en las directrices de la Norma ISO 19011:2011, para determinar la brecha entre el estado actual y el ideal del mantenimiento. Al aplicarse esta herramienta se identificaron opciones de mejora, las cuales dieron origen a una propuesta que se llevó a cabo en un trabajo multidisciplinario con diversos colaboradores, logrando establecer tiempos de detención, dotación de mantenedores y una secuencia optimizada para las Pautas de mantenimiento.

Con la adopción de la propuesta se prevén beneficios económicos de hasta 460.000 (USD/año), debido a la optimización de tiempos de detención de equipo y beneficios en los indicadores de desempeño de las palas eléctricas. Junto al aspecto técnico-económico, la Propuesta contempla la realización de una adecuada gestión del cambio para la implementación y anclaje de la propuesta en la cultura de la empresa.

Palabras clave: Auditoría de mantenimiento, Mejora del mantenimiento.

ABSTRACT

In the present work, an assessment and improvement methodology is reported, its development and implementation for the maintenance of the cargo area of the target company. The aim was to reach an approach for the challenging epoch the cuprum market is experiencing, as well as the company. The maintenance and production line areas organization and operation were scrutinized to analyze the cargo area, with P&H 4100 XPC electric shovel being a priority. A guideline ISO 19011:2011 based audit was then developed, to assess the gap between ideal and real stages of maintenance. Performing this auditing tool allowed the detection of improvement alternatives, resulting in a working proposal. The proposal was carried out in a multidisciplinary schema with different collaborators, setting standby times, equipment maintenance technician workforce, as well as an optimized maintenance pipeline to be applied as a template.

Because of the proposal embracement, an approximate economic benefit of 460,000 USD per year is expected, given the optimized standby equipment times, and electric shovel performance indices. Alongside the technical and economic dimension, the recommended proposal contains also a change management recommendation for the reliable implementation and rooting in the company culture.

Keywords: Maintenance audit, Maintenance improvement.

GLOSARIO

Budget: Presupuesto, en este trabajo hace referencia al nivel de disponibilidad comprometido con operaciones para cada equipo o flota.

Stand-by: En la configuración lógica-funcional de sistemas productivos, corresponde a una configuración del tipo redundante donde en un instante determinado sólo funciona uno de los elementos del sistema, mientras que los equipos restantes permanecen en reserva.

Benchmarking: Proceso de gestión que consiste en contrastar información de los mejores aspectos o prácticas de las empresas del mercado, para adaptarlos a la propia empresa y orientar mejoras.

Stakeholders: Partes interesadas, corresponde a quienes son afectados o pueden ser afectados por las actividades y decisiones de una empresa.

PCR: Planned Component Replacement – actividad del mantenimiento preventivo asociada al reemplazo de componentes una vez que han cumplido cierto nivel de operación.

ERP: Enterprise Resource Planning – sistemas informáticos destinados a la administración de recursos en una organización.

PMs: Pautas de mantenimiento preventivo.

EPP: Elemento de Protección Personal – elementos especialmente proyectados y fabricados para preservar el cuerpo humano, en todo o en parte, de riesgos específicos de accidentes del trabajo o enfermedades profesionales.

Target: En este trabajo hace referencia al nivel de madurez deseado por el área de gestión del mantenimiento.

CAEX: Camión de extracción.

Gets: Dientes de balde de los equipos de carguío.

Work-pack: Grupo de documentos de trabajo necesarios para la ejecución de las actividades de mantenimiento.

Time on tool: Tiempo estándar que toma ejecutar una actividad de mantenimiento particular.

Backlogs: Conjunto ordenado de trabajos pendientes en la ejecución de mantenimiento.

Índice

1 Introducción xiii

2 Identificación del Problema 1

2.1 Formulación del Problema 1

2.1.1 Delimitación del Problema 2

2.2 Justificación 2

3 Objetivos 4

4 Antecedentes Generales de la Empresa 5

4.1 Antofagasta Minerals 5

4.1.1 Historia 5

4.1.2 Resultados 5

4.1.3 Operaciones 7

4.2 Minera Centinela 7

4.2.1 Historia 7

4.2.2 Resultados 8

4.2.3 Valores Organizacionales 9

5 Marco Teórico 10

5.1 Mantenimiento 10

5.1.1 Funciones 10

5.1.2 Historia y Evolución 11

5.1.3 Planes de Mantenimiento 14

5.2 Gestión del Mantenimiento 18

5.2.1 Modelo de Gestión 18

5.2.2 Definición de las Estrategias 20

5.2.3 Niveles Organizativos 22
5.2.4 Indicadores de Desempeño 24
5.3 Mejora Continua del Mantenimiento 28
5.3.1 Ciclo PDCA 28
5.3.2 Auditorías de Mantenimiento 30
5.3.3 Gestión del Cambio 31
5.4 Optimización Integral del Mantenimiento – OIM 34
6 Organización y Funcionamiento de la Empresa 37
6.1 Proceso de Carguío 37
6.2 Mantenimiento de Equipos Mina 39
6.2.1 Modelo de Gestión del Mantenimiento 39
7 Auditoría de Mantenimiento 44
7.1 Enfoque de la Auditoría 45
7.1.1 Objetivos 50
7.1.2 Alcance 50
7.1.3 Criterios de Cumplimiento 50
7.2 Diseño de la Auditoría de Mantenimiento 51
7.2.1 Aspectos a Evaluar 51
7.2.2 Niveles de Madurez 57
7.2.3 Registro de Datos 73
7.3 Actividades de Realización de la Auditoría 76
7.4 Procesamiento de Datos 77
7.4.1 Análisis de Resultados 77
7.4.2 Detección de Hallazgos 80

8 Propuesta de Mejora ... 81

8.1 Identificación de las Opciones de Mejora ... 82

8.1.1 Elección ... 83

8.2 Diagnóstico ... 86

8.3 Objetivos de la Propuesta ... 94

8.4 Elaboración de la Propuesta ... 95

8.4.1 Estimación de las Consecuencias ... 100

8.4.2 Evaluación del Riesgo y Gestión del Cambio ... 103

8.5 Puesta en Marcha ... 106

8.6 Monitoreo de Resultados y Revisión ... 108

9 Conclusiones ... 109

10 Referencias ... 111

Anexos ... 115

Anexo A: Descripción de la pala P&H 4100 XPC ... 115

Anexo B: Tiempos de ejecución Pautas de Mantenimiento ... 120

Anexo C: Ciclo de Mantenimiento ... 127

Lista de Tablas

Tabla 4.1 Producción de Minera Centinela según producto durante 2015 (web Minera Centinela) 8

Tabla 5.1 Indicadores de Proceso (Muchiri. 2010, extracto) 25

Tabla 5.2 Indicadores de Resultado (Muchiri. 2010, extracto) 27

Tabla 6.1 Equipos de Carguío de Minera Centinela 38

Tabla 7.1 Factores del Análisis de Criticidad (Crespo. 2007) 47

Tabla 7.2 Descripción de los Aspectos a Evaluar relativos a Estrategia 52

Tabla 7.3 Descripción de los Aspectos a Evaluar relativos a Recursos Humanos [29] 53

Tabla 7.4 Descripción de los Aspectos a Evaluar relativos a Recursos Físicos 54

Tabla 7.5 Descripción de los Aspectos a Evaluar relativos a Procedimientos 55

Tabla 7.6 Descripción de los Aspectos a Evaluar relativos a Sistemas 56

Tabla 7.7 Descripción de los Niveles de Madurez relativos a Estrategia 59

Tabla 7.8 Descripción de los Niveles de Madurez relativos a Recursos Humanos 62

Tabla 7.9 Descripción de los Niveles de Madurez relativos a Recursos Físicos 65

Tabla 7.10 Descripción de los Niveles de Madurez relativos a Procedimientos 68

Tabla 7.11 Descripción de los Niveles de Madurez relativos a Sistemas 71

Tabla 8.1 Tipos de Pautas de Mantenimiento para palas eléctricas P&H de Minera Centinela 87

Tabla 8.2 Contenido de las Pautas de Mantenimiento: Pasos y Pauta de 250 (hrs) 88

Tabla 8.3 Contenido de la Pauta Diaria 88

Tabla 8.4 Dotaciones y Tiempos de ejecución para las pautas por especialidad – Pauta de 250 (hrs) 96

Tabla 8.5 Dotaciones y Tiempos de ejecución para las pautas por especialidad – Pasos 1 y 3 96

Tabla 8.6 Dotaciones y Tiempos de ejecución para las pautas por especialidad – Pasos 2 y 4 97

Tabla 8.7 Realización de Pasos en el tiempo 100

Tabla 8.8 Comparativo de dotaciones para la ejecución de Pautas de Mantenimiento..... 101

Tabla 8.9 Análisis de Riesgos frente a la Propuesta de mejora 104

Lista de Figuras

Figura 2.1 Precio Nominal del Cobre (US₵/lb) Evolución desde ene/2011 a dic/2016 (COCHILCO) 1

Figura 4.1 Resultados Anuales [MM-USD] (web AMSA)..... 6

Figura 4.2 Producción anual de Cu [miles-ton] (web AMSA) 6

Figura 5.1 Evolución del Mantenimiento (Díaz Navarro. 2007) 12

Figura 5.2 Tipos de Mantenimiento (Pistarelli. 2010) 14

Figura 5.3 Modelo de gestión de mantenimiento en base a la Norma ISO 9001:2000 (Crespo. 2008) 18

Figura 5.4 Modelo para la Definición de la Estrategia de Mantenimiento (Crespo. 2007) 21

Figura 5.5 Objetivos según jerarquía organizacional (Pablo Viveros et al. 2013)..... 22

Figura 5.6 Ciclo PDCA (Diego Galar y Uday Kumar. 2016)..... 29

Figura 5.7 Fundamentos para auditar el mantenimiento (Fernando Espinosa)..... 30

Figura 6.1 Producción por sub-flota de Carguío (Resumen del primer semestre 2016 - Minera Centinela)..... 38

Figura 6.2 Modelo de Gestión del Mantenimiento (Minera Centinela)..... 39

Figura 6.3 Organigrama Gerencia Mina 41

Figura 6.4 Organigrama Gerencia de Gestión del Mantenimiento 42

Figura 7.1 Calidad de la Data Recopilada para Respaldar la Toma de Decisiones (modificado de Parra y Márquez. 2015)..... 44

Figura 7.2 Flujograma de Criticidad (Crespo. 2007) 46

Figura 7.3 Indicadores de Resultado para las Palas eléctricas de 72 yd^3 (ENCARE) 49

Figura 7.4 Resultados tras evaluación del Aspecto n°1: Estrategias 77

Figura 7.5 Resultados tras evaluación del Aspecto n°2: Recursos Humanos 78

Figura 7.6 Resultados tras evaluación del Aspecto n°3: Recursos Físicos 78

Figura 7.7 Resultados tras evaluación del Aspecto n°4: Procedimientos 78

Figura 7.8 Resultados tras evaluación del Aspecto n°5: Sistemas 79

Figura 7.9 Gráfico Radar con el Resumen de la Evaluación de los 5 Aspectos Principales del OIM 79

Figura 8.1 Auditoría y Propuesta para el Mejoramiento del Mantenimiento (Francisco González. 2004) 81

Figura 8.2 Matriz de Beneficio - Dificultad de Implantación (González. 2004) 85

Figura 8.3 Secuencia de realización de Pautas de Mantenimiento 87

Figura 8.4 Tiempo programado para los Pasos 90

Figura 8.5 Dotación de Mantenedores para los Pasos 90

Figura 8.6 Tiempo programado para Pauta de 250 (hrs) 91

Figura 8.7 Dotación de Mantenedores para Pauta de 250 (hrs) 91

Figura 8.8 Esquema de Costos del Mantenimiento (SENA - FEDEMETAL. 1991)..... 101

Figura A.0.1 Principales Secciones de la Pala Eléctrica (Manual del Fabricante) 116

Figura A.0.2 Componentes de los Sistemas de Levante y Empuje (Manual del Fabricante) 117

Figura A.0.3 Chasis Inferior - Sistema de Propulsión (Manual del Fabricante) 118

Figura A.0.4 Fase de Excavación (Manual del Fabricante) 119

Figura A.0.5 CPM Resumen del Paso n°4 (previo a la optimización del Paso) 123

Figura A.0.6 CPM Resumen del Paso n°4 (posterior a la optimización del Paso) 126

Figura A.0.7 Proceso de Mantenimiento (P. Viveros et al. 2013) 129

1 Introducción

En los últimos decenios el mantenimiento en la industria moderna ha tenido múltiples cambios a consecuencia de la globalización y la creciente competitividad entre las empresas; estos hechos se manifiestan en diversos aspectos tales como el aumento de la complejidad de los sistemas productivos, el aumento en número y diversidad de activos que deben mantenerse y el surgimiento de nuevos enfoques acerca de la administración del mantenimiento.

Asimismo las exigencias a las que el mantenimiento debe dar respuesta han crecido y se han diversificado: La integración de la gestión del mantenimiento con las demás áreas de la gestión industrial, la relación entre la falla de un equipo con sus consecuencias en seguridad y medio ambiente, la influencia del mantenimiento en sus índices de calidad y rendimiento, el cumplimiento del Budget de disponibilidad comprometido con producción, y el control de costos, por mencionar algunos ejemplos de las nuevas exigencias [1].

Acorde a lo anterior, la administración del mantenimiento se ha tornado más compleja y ha aumentado sus costos. En virtud de ese escenario la norma ISO 55000:2014 recalca la importancia de evaluar la forma como se desarrolla el mantenimiento en las empresas, para luego establecer las medidas más adecuadas para su mejoramiento.

Resulta particularmente beneficioso desarrollar un método para evaluar objetivamente la gestión del mantenimiento, para lo cual se elabora una herramienta de auditoría de carácter integral, enfocada a los objetivos del área y que permita hacer un diagnóstico certero de la gestión, para fundamentar una consecuente propuesta de mejora.

El presente Trabajo de Título aborda el diseño y aplicación de una metodología para la evaluación y el mejoramiento del mantenimiento en flota de carguío de Minera Centinela, faena perteneciente al grupo Antofagasta Minerals.

2 Identificación del Problema

Se establece la situación problema y se presenta la justificación para la realización del trabajo.

2.1 Formulación del Problema

La situación problema surge como consecuencia de condicionantes externas a la organización que son difíciles de controlar y también a condicionantes internas donde sí existe margen de maniobra.

El principal problema que aqueja a la industria del cobre es la inestabilidad del mercado del cobre, el precio del mineral ha experimentado una baja significativa durante un periodo superior a 5 años (ver), acercándose cada vez más a los costos de producción y obligando a las empresas a desarrollar planes para la contención de costos.

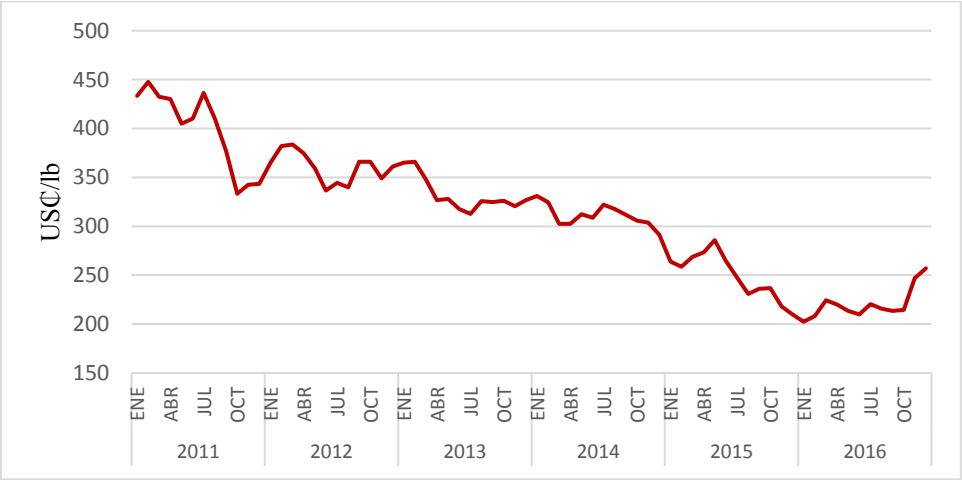


Figura 2.1 Precio Nominal del Cobre (US₵/lb) Evolución desde ene/2011 a dic/2016 (COCHILCO)

Por otra parte los problemas internos de Antofagasta Minerals dicen relación con: Pérdida de competitividad, situación que en el grupo ha significado una disminución de la competitividad del 38% desde 2010 a la fecha. Mayor complejidad de las operaciones, donde la baja en las leyes de mineral sumado al contexto social y económico imponen nuevas exigencias al desarrollo de la minería. Materialización de proyectos futuros, pues el grupo

está invirtiendo en el desarrollo de proyectos pese a la compleja situación que vive la industria.

Dentro de los costos industriales, los asociados a mantenimiento poseen un peso relativo considerable, especialmente en el sector minero donde el peso relativo de costos directos de mantenimiento sobre costos totales de producción oscila entre un 20 y 50% (Campbell. 2016). Más allá de ser catalogado como un mero centro de costos, es importante resaltar el aporte del mantenimiento en el aseguramiento del desempeño, la durabilidad y disponibilidad de los activos permitiendo la consecución de las metas de producción, erigiéndose así como un factor clave para la rentabilidad de la empresa.

Por lo tanto es imprescindible la optimización y mejora continua de la gestión del mantenimiento, teniendo como punto de partida la evaluación fidedigna y certera de su situación actual.

2.1.1 Delimitación del Problema

El área de carguío de Minera Centinela no dispone de una metodología para evaluar el mantenimiento en sus equipos, la cual permita orientar y fundamentar el diseño de propuestas dirigidas al mejoramiento de la gestión.

2.2 Justificación

Es fundamental mencionar que el desarrollo del presente trabajo tiene su origen y justificación en el Programa de Competitividad y Costos, programa que busca lograr una mayor productividad, lograr mayores eficiencias y reducir costos en cada una de las faenas del grupo minero y que surge como respuesta al escenario desfavorable descrito en el apartado anterior.

El Programa de Competitividad y Costos se basa en cuatro ejes:

- Gestión del presupuesto operacional y mantenimiento.
- Productividad de servicios.
- Eficiencia energética.
- Gestión del presupuesto del Centro Corporativo y efectividad organizacional.

El presente trabajo tiene relación con el primer eje, el cual detalla entre sus propósitos: Potenciar el mantenimiento del tipo proactivo-planificado, mejorar índices de desempeño en equipos y procesos críticos, y respetar los presupuestos anuales de mantenimiento.

El Dr. Hernández Sampieri (2010) indica que cada metodología de investigación tiene un propósito definido que justifica su realización. Es necesario determinar los beneficios asociados a su realización, pudiendo ser: Conveniencia económica, implicaciones prácticas, valor teórico, utilidad metodológica, o una combinación de las anteriores. [2]

3 Objetivos

El Objetivo General del trabajo de título es:

- Diseñar y aplicar una metodología para la evaluación y el mejoramiento del mantenimiento de flotas de equipos mineros.

Objetivos Específicos:

- Identificar la organización y el funcionamiento de la empresa, en sus áreas de Producción y de Mantenimiento.
- Diseñar una herramienta de Auditoría alineada con los objetivos de mantenimiento mina, cuyos resultados sirvan de respaldo para la toma de decisiones.
- Auditar el área de Carguío para determinar su nivel de madurez y detectar los aspectos a mejorar.
- Realizar una Propuesta de Mejora del mantenimiento basada en la evaluación.

4 Antecedentes Generales de la Empresa

4.1 Antofagasta Minerals

El Grupo Antofagasta plc abarca a empresas del rubro de la minería y transporte; siendo Antofagasta Minerals (AMSA) el segmento minero de este Grupo.

AMSA es el mayor grupo minero privado de Chile y uno de los 10 mayores productores de cobre del mundo. Está dedicado a la producción y venta de productos minerales, principalmente concentrado y cátodos de cobre y concentrado de molibdeno; también realiza exploraciones mineras en Chile y en el extranjero.

4.1.1 Historia

Antofagasta plc tiene su origen en 1979 cuando su fundador Andrónico Luksic Abaroa adquirió la empresa Ferrocarril Antofagasta Bolivia (FCAB), compañía que había iniciado sus operaciones en 1888 y cuyas acciones se transaban en la Bolsa de Valores de Londres.

Antofagasta plc progresivamente se diversificó sumando áreas como telecomunicaciones, agua potable y minería, esto condujo a una reestructuración organizacional de la cual AMSA se erige como la compañía encargada del negocio minero.

Los acontecimientos más relevantes en la historia de AMSA son: En 1993 se constituye Minera Michilla en la Región de Antofagasta; en 1997 se inicia la construcción de Minera Los Pelambres en la Región de Coquimbo; en 2006 se adquiere Equatorial Mining para consolidar el control sobre el Distrito Minera Centinela; en 2010 se logra acuerdo con Duluth Metals Ltd. para adquirir el 40% del proyecto Twin Metals Minnesota (EE.UU); en 2013 se inicia la construcción del proyecto minero Antucoya; en 2014 se fusionan Minera Esperanza y Minera El Tesoro dando inicio a Minera Centinela y finalmente el año 2015 se adquiere el 50% de Minera Zaldívar a Barrick Gold Corp. [3]

4.1.2 Resultados

Dado el escenario de bajos precios del cobre, AMSA ha mantenido un riguroso enfoque hacia el control de costos. La disciplina organizacional y la competitividad son la clave para

afrontar el escenario adverso actual y se espera que cuando el ciclo del cobre comience a recuperarse, AMSA disfrute de un crecimiento de margen ventajoso.

Resultados Financieros

En 2015 los ingresos cayeron un 34% respecto al año anterior, debido principalmente a menores precios del cobre, menores volúmenes de ventas y menores ingresos por las ventas de oro.

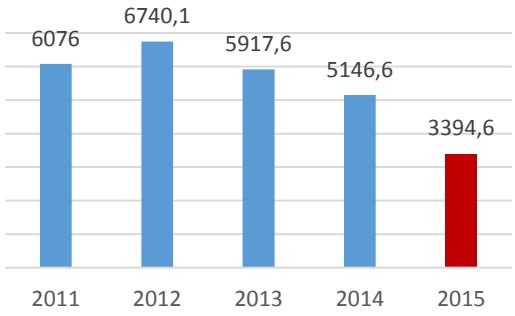


Figura 4.1 Resultados Anuales [MM-USD] (web AMSA)

Resultados de Producción

En 2015 la producción de cobre cayó 10,6% respecto al año anterior, debido principalmente a una menor producción en Los Pelambres y Centinela. En diciembre de 2015 con una tendencia a la baja, se inicia nueva etapa con el aporte de Minera Zaldívar.

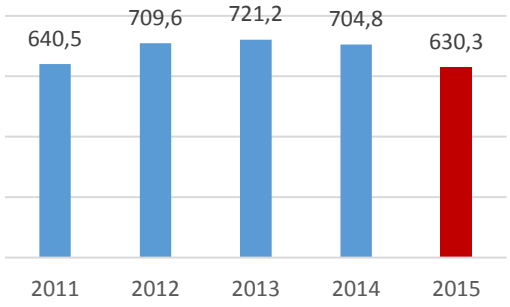


Figura 4.2 Producción anual de Cu [miles-ton] (web AMSA)

4.1.3 Operaciones

El Grupo opera cuatro minas de cobre a rajo abierto ubicadas en Chile, dos de las cuales producen además subproductos: molibdeno y oro.

Minera Centinela, Minera Antucoya y Minera Zaldívar están localizadas en la región de Antofagasta. Minera Los Pelambres se encuentra en la región de Coquimbo.

4.2 Minera Centinela

Es una empresa de Antofagasta Minerals, ubicada en la región de Antofagasta, en la comuna de Sierra Gorda. Produce cátodos y concentrados de cobre, además de oro en menor medida.

Minera Centinela nace en julio de 2014 a partir de la integración de las operaciones de minera El Tesoro y minera Esperanza. Su estructura societaria está compuesta en un 70% de propiedad de Antofagasta Minerals y un 30% de Marubeni Corporation.

4.2.1 Historia

Minera Centinela tiene su origen a partir de Minera el Tesoro, faena de óxidos que opera desde 2001 produciendo cátodos de cobre, y de Minera Esperanza, faena de sulfuros que opera desde 2011 produciendo concentrado de cobre.

En junio de 2014 estas mineras se integran con la intención de capturar las sinergias de ambas operaciones, aprovechando las condiciones geográficas, técnicas y logísticas que hacen posible una planificación y operación minera integrada, con mayores economías de escala, para lograr una posición más competitiva en la industria.

Para 2017 Minera Centinela prevé la puesta en marcha de dos proyectos.

- Proyecto de expansión: “Óxidos Encuentro (OXE)” que busca hacer frente al agotamiento de los recursos de óxidos, asimismo mantener la capacidad de procesamiento de la línea de óxidos durante los 8 años de vida útil de OXE.
- Proyecto de diversificación: “Planta de Molibdeno” que tendrá una capacidad nominal de diseño de 2.640 [ton/día] de concentrado incorporando así un nuevo producto para Minera Centinela. [4]

4.2.2 Resultados

Minera Centinela se posiciona como la segunda operación de mayor envergadura de AMSA, aportando un 35% de la producción total de cobre del holding.

Resultados Financieros

Para 2015 Minera Centinela registró una operativa de 131,0 [MM-USD], comparado con el beneficio de 464,4 [MM-USD] de 2014. Lo anterior es reflejo de mayores costos netos de caja y menores precios de cobre realizados, en efecto los costos netos de caja para 2015 fueron de 1,85 [USD/lb] en comparación con 1,63 [USD/lb] en 2014. [5]

Resultados de Producción

La producción de cobre de 2015 fue de 221,1 [miles-ton] significando una disminución de 17,1% en comparación a 2014, el descenso se registró tanto en concentrados como cátodos.

La producción disminuyó debido a la caída de la ley de Centinela de 0,65% a 0,58%, menores recuperaciones y en menor medida, debido a un rendimiento más bajo de la operación.

La producción de oro fue de 2015 descendió un 20,5% en comparación con 2014, situación relacionada por una menor ley del mineral y rendimiento operacional más bajo, sumado a recuperaciones ligeramente menores al año anterior.

Tabla 4.1 Producción de Minera Centinela según producto durante 2015 (web Minera Centinela)

Concentrado de Cobre	Cátodos de Cobre	Oro
145,2 [miles-ton]	75,9 [miles-ton]	162,5 [miles-onzas]

4.2.3 Valores Organizacionales

El equipo de trabajo de Centinela guía sus decisiones y acciones, basándose en sus valores corporativos:

1. Respeto a los demás
2. Responsabilidad por la seguridad y la salud
3. Compromiso con la sustentabilidad
4. Excelencia en el desempeño diario
5. Innovación como práctica permanente
6. Ser visionarios

5 Marco Teórico

El presente Marco Teórico se sustenta en las normativas de organismos internacionales: Comité Europeo de Normalización – CEN; y la Organización Internacional de Estandarización – ISO.

La temática aborda en primer lugar el Mantenimiento, con todos los tópicos que permiten configurar la estrategia de mantenimiento y cuyo éxito depende de una adecuada Gestión del Mantenimiento. Luego se presenta la Mejora Continua del mantenimiento y el enfoque de la Optimización Integral del Mantenimiento (OIM), que en conjunto son los pilares para el desarrollo de la metodología de este trabajo.

5.1 Mantenimiento

La norma UNE EN 13306:2011 define mantenimiento como la "Combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y gerenciales durante el ciclo de vida de un ítem con el fin de conservarlo o restaurarlo a un estado en el cual pueda desempeñar la función requerida". [6]

5.1.1 Funciones

La principal función del mantenimiento es garantizar el correcto funcionamiento de los equipos e instalaciones industriales, si esta función es llevada a cabo de manera deficiente, la tarea de producir bienes o servicios podría verse perjudicada afectando así la fuente de beneficios de la empresa.

La operación normal de los sistemas productivos trae consigo su desgaste, situación que comienza desde la puesta de marcha del sistema y que con el tiempo puede derivar en fallas funcionales. También pueden ocurrir fallas cuando los equipos son llevados más allá de sus límites de diseño o debido a errores operacionales motivando detenciones de equipo, problemas de calidad, pérdidas de velocidad, riesgos en seguridad y medioambiente. [7]

El rol del mantenimiento en las empresas debe estar completamente integrado con producción y las estrategias de mercado, de tal manera que la operatividad de la empresa permita cumplir con las metas productivas y satisfacer la demanda del mercado. [8]

En efecto, la industria productiva suele asignar un alto grado de importancia al índice de Disponibilidad, buscando que los equipos e instalaciones estén en servicio durante el mayor tiempo posible. Cada organización fija sus metas de producción (anual, trimestral, etc.) y para garantizar su consecución se establecen los niveles de servicio requeridos por los activos, donde el área de mantenimiento debe cumplir un “budget” de disponibilidad.

Pero la disponibilidad por sí sola no es suficiente, para asegurar la correcta operatividad de los sistemas productivos es necesario considerar la Confiabilidad y que la operación sea continua durante el tiempo esperado, bajo los desempeños requeridos, en las condiciones técnicas y tecnológicas exigidas.

Otra función importante es la Mantenibilidad entendida como la capacidad de devolver a un equipo, que ha sufrido cierto nivel de desgaste o pérdida de funcionalidad, el estado en el cual pueda desarrollar su función específica utilizando para ello procedimientos y recursos preestablecidos. [6]

Finalmente las funciones del mantenimiento se sintetizan en una Estrategia de Mantenimiento con objetivos claros, con planes de mantenimiento cuidadosamente seleccionados y con recursos asignados. Procurar el menor costo posible para optimizar la rentabilidad del negocio y el cumplimiento de la Estrategia dependerá de una correcta Gestión del Mantenimiento (ver 5.2).

5.1.2 Historia y Evolución

El término "mantenimiento" se empezó a utilizar en la industria hacia 1950 en EE.UU. En Francia se fue imponiendo progresivamente el término "conservación".

El concepto ha ido evolucionando desde la simple función de arreglar y reparar los equipos para asegurar la producción (CONSERVACIÓN) hasta la concepción actual del MANTENIMIENTO con funciones de prevenir, corregir y revisar los equipos a fin de optimizar el costo global.

Se pueden distinguir cuatro generaciones en la evolución del concepto de mantenimiento: [9] y [10]

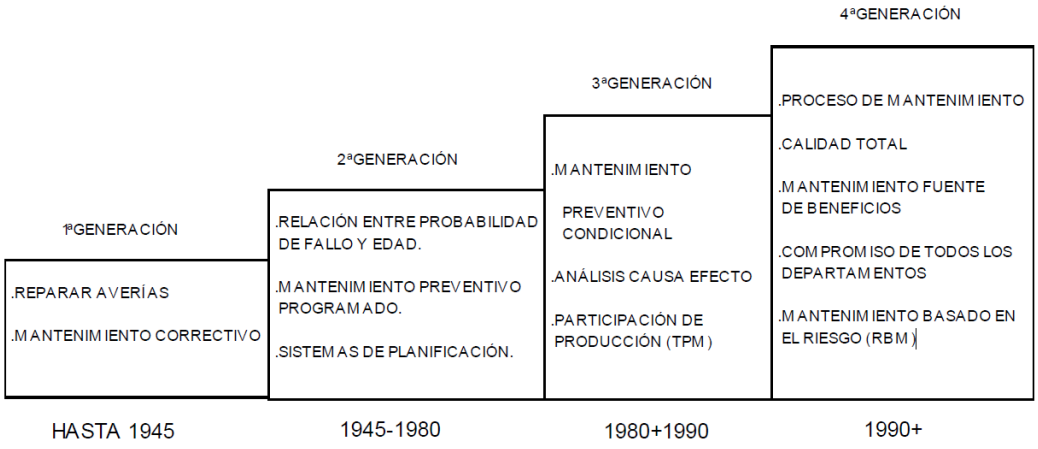


Figura 5.1 Evolución del Mantenimiento (Díaz Navarro. 2007)

1ª Generación

La más larga, desde la revolución industrial hasta después de la II Guerra Mundial, aunque todavía impera en muchas industrias. En los inicios de la revolución industrial, los propios operarios se encargaban de las reparaciones de los equipos. Cuando las máquinas se fueron haciendo más complejas y la dedicación a tareas de reparación aumentaba, empezaron a crearse los primeros departamentos de mantenimiento, con una actividad diferenciada de los operarios de producción. El mantenimiento era netamente correctivo, abocado a solucionar las averías que se producían en los equipos.

2ª Generación

Durante la II Guerra Mundial se vio la necesidad de implantar técnicas para prevenir fallas de los equipos en combate y disminuir los costos en reparación, tomando así importancia el concepto de disponibilidad y vida útil de la maquinaria.

En la industria de la época crece la importancia por los niveles de producción, motivando el aumento en cantidad y complejidad de los equipos y buscando llevar al mínimo los tiempos de detención, situación que se extendió hasta mediados de los años 70.

Se descubre la relación entre edad de los equipos y probabilidad de fallo. En consecuencia se comienzan a hacer sustituciones preventivas, nacen los sistemas de planificación y control del mantenimiento, dando origen al Mantenimiento Preventivo.

3ª Generación

Surge a principios de los años 80. Se empiezan a realizar estudios CAUSA-EFECTO para averiguar el origen de los problemas y disminuir los costos de reparación en base a los postulados de máxima calidad, seguridad y protección del medio ambiente. Surge el Mantenimiento Predictivo ó detección precoz de síntomas incipientes para actuar antes de que las consecuencias sean inadmisibles.

A su vez, el concepto de confiabilidad da origen a la filosofía del RCM - mantenimiento centrado en confiabilidad. El RCM se basa en el estudio de los equipos, en el análisis de los modos de falla y en la aplicación de técnicas estadísticas y tecnología de detección. Es necesario ahora contar con nuevo personal cuya función sea estudiar y determinar las tareas de mantenimiento necesarias para evitar las fallas, aumenta el personal y con él los costos de mantenimiento. Pero ello permite aumentar y garantizar los niveles de producción, evitando las pérdidas por averías y sus costos asociados.

Podría decirse que el RCM es una filosofía de mantenimiento básicamente tecnológica.

Paralelamente desarrolla la filosofía del TPM - Mantenimiento Productivo Total. El TPM retoma la idea de que los operarios de producción se ocupen del mantenimiento de los equipos, mediante la realización de tareas menores de conservación normalmente realizadas por el personal de mantenimiento.

Con ello se pretende que el operario de producción se implique más en el cuidado de la máquina, siendo el objetivo último de TPM conseguir cero averías. Colmo filosofía de mantenimiento, TPM se basa en la formación, motivación e implicación del equipo humano, en lugar de la tecnología. [11]

4ª Generación

Aparece en los primeros años 90 y se extiende al día de hoy. El Mantenimiento se contempla como una parte del concepto de Calidad Total, mediante una adecuada gestión del mantenimiento es posible aumentar la disponibilidad al tiempo que se reducen los costos. Se concibe el mantenimiento como un proceso de la empresa al que contribuyen también otros departamentos y la competitividad se instala como factor de sobrevivencia de las

organizaciones, en ese sentido el mantenimiento es una fuente de beneficios, frente al antiguo concepto de mantenimiento como "mal necesario". La posibilidad de que una máquina falle y las consecuencias asociadas para la empresa es un riesgo que hay que gestionar, teniendo como objetivo la disponibilidad necesaria en cada caso al mínimo costo.

Aparecen normas para la gestión de activos como la PAS 55 y las ISO 55000 aportando los estándares internacionales de clase mundial hacia donde las organizaciones encaminan su gestión. Se han desarrollado multitud de metodologías de mantenimiento que las empresas deben analizar y determinar si su implantación supondría una mejora en los resultados de la empresa. La más destacada es la Gestión de Riesgo e Incertidumbre (RBI), seguida de metodologías como la Optimización del Mantenimiento Planificado (PMO), Optimización Costo-Riesgo-Beneficio (CRBO), Análisis del Costo de Ciclo de Vida (LCCA) y la Optimización Integral del Mantenimiento (OIM).

5.1.3 Planes de Mantenimiento

En la bibliografía asociada es posible encontrar distintos tipos de denominación y clasificación para los planes de mantenimiento, en ciertas circunstancias resulta difícil establecer el límite entre cada uno dado que, a excepción del mantenimiento correctivo, la finalidad de todos es la misma sólo que parten de perspectivas diferentes. [12]

La siguiente clasificación obedece al carácter la tarea de mantenimiento desarrollada: Acciones Reactivas y Acciones Proactivas (Pistarelli, 2010).

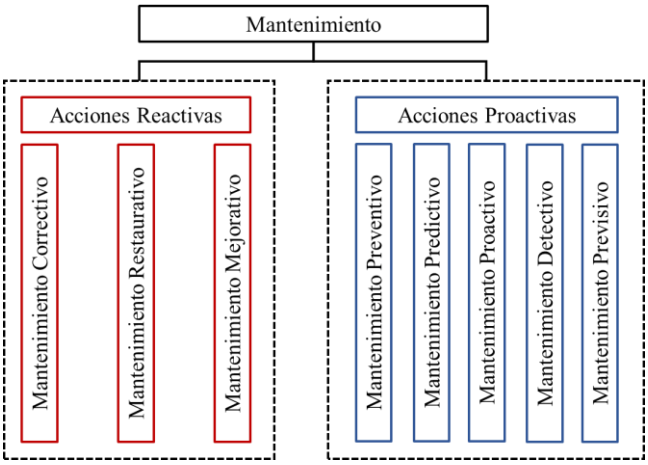


Figura 5.2 Tipos de Mantenimiento (Pistarelli. 2010)

5.1.3.1 Acciones Reactivas

Son aquellas desarrolladas para restablecer las funciones originales del equipo y que se afectaron como consecuencia de un evento inesperado: falla funcional imprevista. Dependiendo de la gravedad del defecto es si se podrá o no programar la actividad, de lo contrario deberá ser tratado como emergencia para restablecer la operación.

Mantenimiento Correctivo

Consiste en la reparación de fallos funcionales a medida que van apareciendo, el personal que identifica los defectos es habitualmente el operador del equipo y avisa al personal de mantenimiento para que realice la reparación. En ciertas oportunidades, el propio operador repara algunas fallas menores.

Bajo un esquema de mantenimiento del tipo correctivo la planificación es escasa y se requieren muchos mantenedores. Las fallas tienden a volverse crónicas empujando a la incorporación de equipos en "stand-by" lo que provoca altos niveles de capital inmovilizado. Las averías tienen efectos desfavorables en la operación, generando detenciones junto a grandes pérdidas en cantidad y calidad.

Mantenimiento Restaurativo

Como consecuencia de las rutinas de mantenimiento proactivas, pueden detectarse parámetros fuera de los rangos óptimos aún sin haberse producido la falla funcional. Tal situación requiere de la intervención de personal especializado para restaurar la funcionalidad del equipo luego de una adecuada programación de la actividad.

Mantenimiento Mejorativo

Consiste en un rediseño que busca optimizar el proceso productivo, eliminar fallos crónicos, aumentar la confiabilidad o mantenibilidad de los activos. El rediseño puede ser de índole física u operativa; el primero es una modificación del activo, mientras que el rediseño operativo se enfoca en procedimientos de operación, procedimientos de mantenimiento o hasta el grado de capacitación del personal.

5.1.3.2 Acciones Proactivas

Los planes de mantenimiento clasificados como del tipo proactivo, tienen como objetivo impedir que se manifiesten modos de falla, que no ocurran tan a menudo o minimizar sus consecuencias.

Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento del tipo preventivo permite disminuir la frecuencia de las paradas no programadas, beneficiando así la producción y permitiendo además preparar herramientas, repuestos, insumos y el personal indicado para la ejecución de las tareas.

Se realiza de manera sistemática en base a tiempo de operación acumulado por el equipo o en base a espacios de tiempo calendario transcurrido. Normalmente se ejecuta con el equipo detenido y sustituyendo o reparando cíclicamente componentes previamente definidos según una pauta de mantenimiento.

Mantenimiento Predictivo

Este tipo de mantenimiento se vale de herramientas tecnológicas para la identificación de síntomas prematuros de desperfectos o desajustes en los equipos que podrían significar una falla funcional.

A partir de la detección de la falla incipiente, es posible estimar el tiempo de operación hasta la falla y en consecuencia, destinar el tiempo suficiente para programar la actividad a realizar sobre el equipo.

Normalmente se realizan con el equipo en operación. Algunas técnicas utilizadas por el mantenimiento predictivo son: análisis de vibraciones, termografía, análisis de partículas de desgaste, análisis de amperaje, ultrasonido, emisión acústica, verificación de metales y aleaciones, etc.

Mantenimiento Proactivo

Posee en común con el mantenimiento predictivo el hecho de que ambos monitorean las propiedades de ciertos parámetros en los componentes antes de decidir una intervención. Con

la diferencia de que el mantenimiento proactivo se vale de la data recabada para determinar la causa raíz de las fallas con el fin de desviar una tendencia indeseable.

El mantenimiento proactivo brinda la oportunidad de realizar un mantenimiento restaurativo que evite llegar a la falla sintomática irreversible. Algunos ejemplos son: Monitoreo de contaminantes de un lubricante, conteo de partículas, alineación y balanceo, monitoreo de viscosidad y acidez de lubricantes.

Mantenimiento Detectivo

Es el mantenimiento que pone de manifiesto fallos ocultos que se dan básicamente en equipos redundantes o de protección. Su identificación aumenta la disponibilidad del dispositivo de seguridad que, de sufrir una falla funcional significaría inmediatamente estar frente a una falla simultánea.

No darles un tratamiento particular lleva a más mantenimiento preventivo, no siendo esto último siempre lo más beneficioso.

Mantenimiento Previsivo

Es llevado a cabo por personal especializado de mantenimiento que, mediante técnicas de simulación, representan posibles fallos de la instalación durante la etapa de diseño y minimizan la posibilidad de ocurrencia haciendo los ajustes o modificaciones convenientes.

Se agrupan aquí herramientas como el FMEA (Análisis de modos de falla y sus efectos) o el RCD (Diseño centrado en confiabilidad), y de acuerdo a la naturaleza de la operación, se pueden enfocar hacia la optimización de la mantenibilidad, confiabilidad o minimizar las consecuencias de los fallos.

5.2 Gestión del Mantenimiento

La Norma UNE EN-13306, define Gestión de Mantenimiento como: “Todas las actividades de la gestión que determinan los objetivos, las estrategias y las responsabilidades del mantenimiento y la implantación de dichas actividades por medios tales como la planificación del mantenimiento, el control del mismo y la mejora de las actividades de mantenimiento y económicas. [6]

5.2.1 Modelo de Gestión

En la actualidad, dada la competitividad y los niveles de productividad que se encuentran a nivel industrial, se ha convertido en un tema de investigación y discusión fundamental el desarrollar e implementar modelos efectivos y factibles para alcanzar un buen desempeño de la gestión del mantenimiento.

Los modelos de gestión integran la función mantenimiento al sistema de gestión de la empresa; la tendencia de los últimos años ha consistido en crear modelos de gestión enfocados en procesos y en la calidad, de ciclo cerrado y donde se establecen las estructuras para su administración.

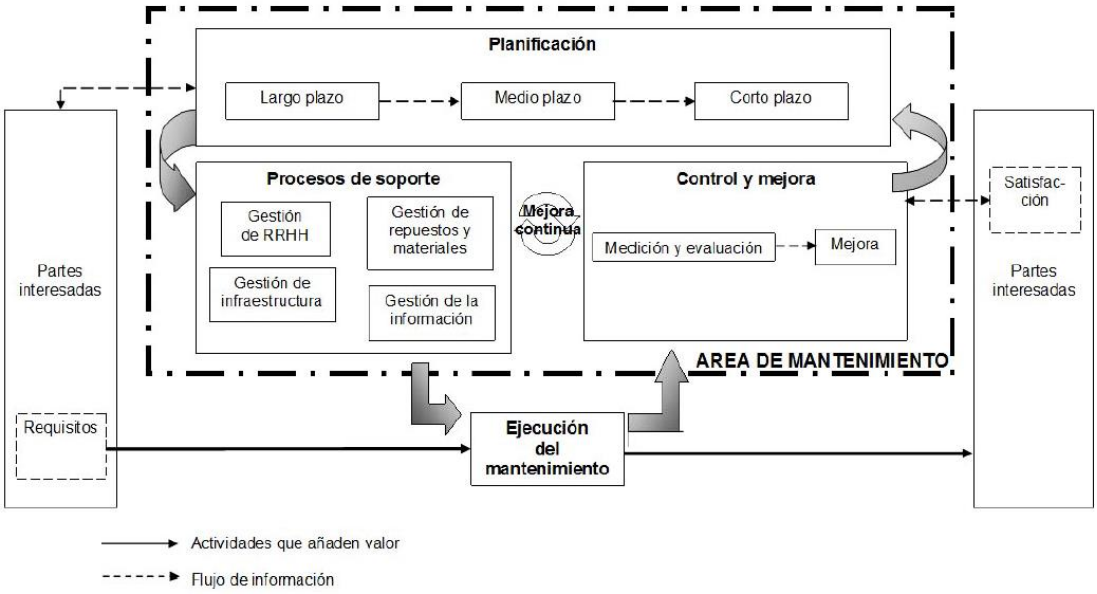


Figura 5.3 Modelo de gestión de mantenimiento en base a la Norma ISO 9001:2000 (Crespo. 2008)

El presente modelo ordena la gestión dentro de las categorías de: Planificación, Procesos de soporte, Ejecución del mantenimiento y Control y mejora. Estas categorías han sido enmarcadas en el modelo propuesto por la norma ISO 9001:2000 para la gestión de la calidad con el propósito de conferir un sentido a la agrupación de los términos. De esta manera se tiene un modelo que incluye las herramientas a utilizar para dar cumplimiento a cada una de sus etapas. [13]

La norma ISO 9001:2000 es el referente internacional para cualquier sistema de gestión de calidad, y se alza como una guía genérica para la operación de procesos en los que se deba demostrar cumplimiento con requisitos, tal es el caso de la función de mantenimiento.

Este modelo inicia y termina con los requisitos y la satisfacción de las partes interesadas en la gestión del mantenimiento, a través de un sistema abierto de entrada-salida que representa el vínculo entre la función de mantenimiento y las demás funciones organizacionales.

El modelo además está diseñado para utilizarse efectivamente en todos los niveles organizativos (estratégico, táctico y operacional): En la planificación se especifican los requisitos y responsabilidades a cumplir por la alta dirección de un sistema de gestión del mantenimiento.

Los Procesos de soporte, ejercidos por la administración intermedia, especifican las tareas a realizar para gestionar adecuadamente los recursos materiales, humanos y de infraestructura requeridos para el adecuado funcionamiento y mejora de los procesos de mantenimiento, así como para aumentar la satisfacción del cliente.

En la Ejecución del mantenimiento, realizada por el nivel operativo, se declaran las acciones necesarias para demostrar que la organización realiza la prestación del servicio de mantenimiento con calidad suficiente.

Y el módulo de Control y mejora considera las acciones necesarias para demostrar la conformidad del servicio de mantenimiento; y asegurar la conformidad del sistema de gestión de calidad, así como mejorar continuamente su eficacia en aumento a la satisfacción del cliente (o partes interesadas).

Cada etapa de este proceso debe seguir un orden y sentido establecido de modo de potenciar al máximo la efectividad de éste. Por ello es necesario conocer no tan solo el orden y la forma del ciclo, sino que también, cada etapa individual de modo de lograr una mejor comprensión y aplicación del modelo.

El modelo presenta como principales características: Es de tipo cíclico y abierto hacia las demás funciones organizacionales; distingue claramente la ejecución de las acciones estratégicas y operativas apareciendo vinculadas; estandariza la evaluación, el control y la mejora de la eficacia y eficiencia del mantenimiento dentro y entre sus categorías; está enfocado en procesos y en resumen está orientado al cumplimiento de un sistema de gestión de calidad siguiendo la Norma ISO 9001:2000.

5.2.2 Definición de las Estrategias

Las Estrategias de Mantenimiento declaran hacia donde debe dirigirse la gestión del mantenimiento y qué debe hacerse para llegar allí, dictando los lineamientos generales y un plan flexible sobre el cual se despliegan los planes tácticos de mantenimiento. Dichos planes corresponden a las actividades propias del ciclo de mantenimiento junto a la administración de las personas, procesos y activos que conforman el negocio. [8]

Con la creciente dependencia de las empresas hacia los activos físicos para ofrecer valor, el proceso de definición de la estrategia de mantenimiento debe alinearse con los objetivos generales de mantenimiento y estos a su vez alinearse con de la estrategia corporativa. Esta coherencia en el diseño de las estrategias de mantenimiento es un aspecto clave y condiciona la consecución de los objetivos del área de mantenimiento y en última instancia la consecución de los objetivos del plan de negocio de la organización.

También es crítico asegurar que la estrategia de mantenimiento sea comunicada y aceptada en toda el área, de lo contrario no se avizora una implementación exitosa.

Se presenta el proceso de definición de una estrategia de mantenimiento (ver Figura 5.4) [14]:

- Reconocimiento de los objetivos corporativos del negocio, de los objetivos y políticas de mantenimiento del más alto nivel, y del entorno industrial para el establecimiento de los objetivos estratégicos. Estos objetivos pueden incluir valores

estimados y realistas para las siguientes variables: Disponibilidad de equipos, fiabilidad, seguridad, riesgo, presupuesto e mantenimiento, etc.

- Determinación del desempeño o rendimiento actual de la instalaciones productivas para dilucidar el camino a seguir en el área de mantenimiento;
- Determinación de los medidores claves a considerar para la evaluación del rendimiento de las instalaciones (Key Performance Indicators —KPIs). Las mejoras a perseguir se basaran en esta serie de medidores aceptados por la dirección de operaciones y de mantenimiento;
- Establecimiento de una serie de principios que conducirán la implementación de la estrategia, y que condicionarán la posterior planificación, ejecución, evaluación, control y análisis para la mejora continua de las actividades de mantenimiento.

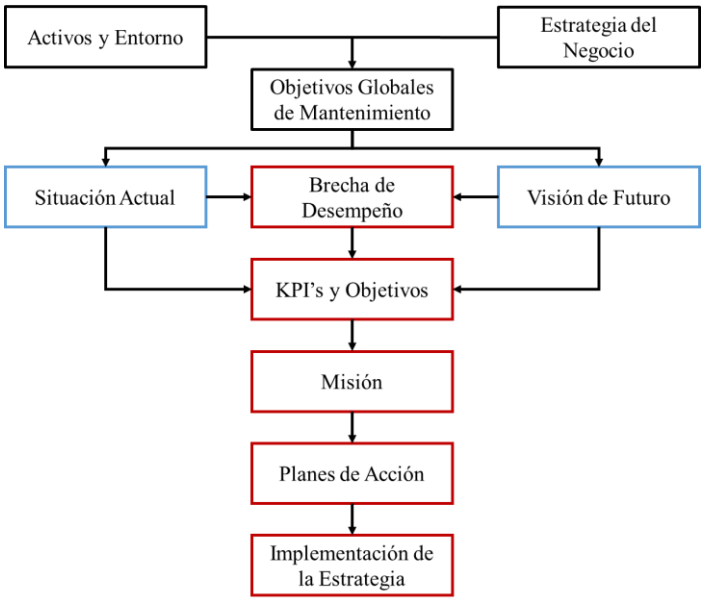


Figura 5.4 Modelo para la Definición de la Estrategia de Mantenimiento (Crespo. 2007)

Las estrategias de mantenimiento, al igual que la estrategia de corporativa, deben ser flexibles para responder a los requisitos cambiantes del entorno. En minería, los cambios a la estrategia de mantenimiento son motivados por factores como la vida de la mina, crecimiento, operación, y cierre de la faena.

5.2.3 Niveles Organizativos

La determinación de niveles organizativos es clave al momento de establecer responsabilidades dentro de la función mantenimiento, otorgando la posibilidad de un control efectivo donde cada nivel reporta a su superior facilitando así las labores de dirección.

El proceso de toma de decisiones para el cumplimiento de metas y objetivos sigue el formato "de arriba abajo" o en cascada, es decir, se inicia desde el nivel superior hasta el nivel operativo y de ejecución. Siguiendo ese formato, se configuran los indicadores de desempeño financieros y no-financieros alineados con la estrategia corporativa. Por otra parte, el flujo de información que fundamenta las decisiones comienza desde las bases, dando soporte empírico a la toma de decisiones. [15]

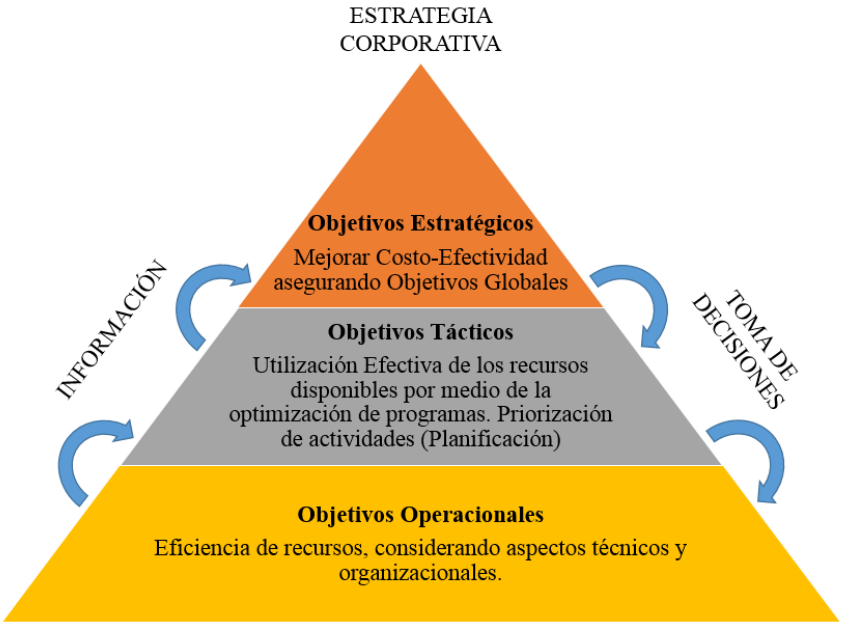


Figura 5.5 Objetivos según jerarquía organizacional (Pablo Viveros et al. 2013)

A continuación se describen los niveles jerárquicos de la estructura organizacional: [16]

Nivel Estratégico

Es nivel correspondiente a la Alta Dirección encargada del desarrollo de la estrategia de mantenimiento, en esta se dictan los objetivos a alcanzar y los medios destinados para ello. A

su vez, la estrategia de mantenimiento nace desde la estrategia corporativa y contempla los requerimientos de producción.

El nivel estratégico evalúa el grado de éxito alcanzado con las tácticas desarrolladas y establece indicadores que permiten medir el desempeño de la empresa respecto a sí misma o respecto de diferentes industrias locales, nacionales o internacionales: “benchmarking”.

Adicionalmente, el nivel estratégico del mantenimiento es considerado ante eventuales expansiones de la capacidad productiva de la empresa, en el diseño y selección de maquinarias, etc. donde se reconoce su experiencia y su aporte mediante metodologías como el LCCA (Análisis del Costo de Ciclo de Vida), el CMD (Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad), los costos, la terotecnología, etcétera.

Nivel Táctico

En el nivel táctico se realizan las decisiones para la formulación de políticas relativas a la utilización eficaz y eficiente de los recursos. Conduciendo a la priorización del mantenimiento en función de la urgencia y de la influencia que tiene la función de producción sobre la programación de las acciones de mantenimiento.

Estas decisiones incluyen el seguimiento de diferentes normativas establecidas y la adopción de metodologías de mantenimiento. En este nivel aparecen el TPM, el RCM, el TPM y el RCM combinados, PMO, reactiva, proactiva, clase mundial, RCM Scorecard, entre otros.

Nivel Operacional

El nivel operacional es el encargado de la ejecución efectiva y eficiente de los trabajos. Comprende todas las acciones por realizar en el mantenimiento de equipos e instalaciones, a partir de las necesidades y los deseos de los demandantes abarcando acciones correctivas y proactivas (ver 5.1.3).

Las decisiones se abocan a determinar el instante en que se debe mantener, dirimir la forma en que se realizarán las actividades, determinar el recurso humano para las tareas. Los resultados se reflejan en indicadores de desempeño que apoyan las decisiones de este nivel y de los niveles superiores.

5.2.4 Indicadores de Desempeño

Los indicadores de desempeño son herramientas de monitoreo que permiten medir y evaluar una actividad empresarial o programa especial. Pueden servir como referencia para la representación de objetivos hacia los cuales los procesos deben enfocarse o bien para establecer límites (máximos o mínimos) que los procesos no deben exceder.

Las organizaciones requieren alinear su medición de desempeño con las estrategias corporativas, estableciendo objetivos e indicadores de desempeño en cada nivel (Kutucuoglu et al. 2001). Junto a las estrategias corporativas, la función mantenimiento debe reconocer la interacción e importancia de la estrategia de manufactura y en consecuencia implementar los indicadores de desempeño que permitan medir el cumplimiento de los objetivos propios del mantenimiento y con ello permitir el logro de las metas productivas.

Indicadores correctamente implementados pueden ayudar a la detección de brechas entre el desempeño real y el deseado por la gestión, aportando información para las acciones dirigidas a la disminución de esas brechas. Adicionalmente, los indicadores constituyen un nexo entre las estrategias y las tareas administrativas, por lo tanto respaldan la implementación y ejecución de iniciativas de mejora. [7]

Existen diversos criterios para clasificar los tipos de indicadores, se presenta la propuesta de Muchiri (2010) que los agrupa en Indicadores de Proceso e Indicadores de Resultado.

5.2.4.1 Indicadores de Proceso

Los Indicadores de Proceso miden el desempeño del Ciclo de mantenimiento.

Aquellos asociados al proceso de identificación permiten distinguir el carácter del mantenimiento según su clasificación, y dan a conocer la diligencia con que da tratamiento a una orden de trabajo.

Respecto del proceso de planificación se puede saber qué porción del trabajo tuvo una planificación previa; y establecer la capacidad de respuesta del área de planificación a partir de trabajos solicitados planificados de manera oportuna.

Para el proceso de programación se han desarrollado índices de intensidad y calidad, que respectivamente buscan medir el aprovechamiento de la mano de obra disponible y la correcta asignación de recursos para los trabajos.

Entre los indicadores para el proceso de ejecución destacan el cumplimiento de las actividades del programa, la mantenibilidad mediante el tiempo promedio de reparación (MTTR) y la calidad en la ejecución del mantenimiento a partir del porcentaje de re-trabajos.

Tabla 5.1 Indicadores de Proceso (Muchiri. 2010, extracto)

Proceso Medido	Indicador	Descripción
Identificación	% de trabajos proactivos	HH usadas en acciones proactivas/HH totales disponibles
	% de mantenimiento correctivo	HH usadas en mantenimiento correctivo/HH totales disponibles
	Tasa de respuesta a la solicitud de trabajo	Trabajo que permanecen en estado de “solicitud” por <5 días/trabajos solicitados totales
Planificación	Intensidad de planificación	Trabajos planificados/total de trabajos realizados
	Capacidad de respuesta de planificación	Órdenes de trabajo en estado de planificación por <5 días/total de órdenes de trabajo
Programación	Intensidad de programación	HH programadas/HH totales disponibles
	Calidad de la programación	% de órdenes de trabajo retrasadas en su ejecución debido a recursos físicos o mano de obra
Ejecución	Cumplimiento del programa	% de órdenes de trabajo completadas en el plazo programado
	Tiempo medio de reparación (MTTR)	Tiempo total de detención/n° de fallas
	Retrabajos	% de trabajos de mantenimiento que requieren repetirse por deficiencias en la ejecución

5.2.4.2 Indicadores de Resultado

Se utilizan para medir los resultados del mantenimiento en términos del desempeño de los equipos y de costos de mantenimiento.

Indicadores de Desempeño de los Equipos

Como su nombre lo dice, dan cuenta del desempeño de los equipos e instalaciones industriales. Son el producto del despliegue de la estrategia de mantenimiento en todos los niveles y de todos los procesos del ciclo de mantenimiento.

La combinación de Indicadores de Desempeño de los Equipos junto a factores operacionales, deriva en el OEE (Overall Equipment Effectiveness). La métrica OEE otorga una perspectiva más amplia y más detallada de las pérdidas de producción experimentadas por los equipos permitiendo hallar la fuente de ineficiencias.

$$OEE = Disponibilidad * rendimiento * tasa\ de\ calidad * utilización$$

Costos de Mantenimiento

Los costos de mantenimiento en muchos casos son reflejo de la eficacia y eficiencia con que se lleva a cabo el mantenimiento.

La eficacia se demuestra en la acertada identificación y ejecución de trabajos de mantenimiento; eliminando posibles daños secundarios, consecuencias en seguridad y medioambiente. Mientras que la eficiencia se refleja en una planificación y programación con asignación de recursos y mano de obra ajustada a lo estrictamente necesario.

Tabla 5.2 Indicadores de Resultado (Muchiri. 2010, extracto)

Categoría	Indicador	Descripción
Rendimiento de los Equipos	Número de fallas	Cantidad de fallas clasificadas por su origen: operacional, no-operacional.
	Frecuencia de falla	Número de fallas/unidad de tiempo
	MTBF	Tiempo operativo/cantidad de fallas
	Disponibilidad	MTBF/(MTBF + MTTR)
Costos de Mantenimiento	Costos directos de mantenimiento	Costos totales de mantenimiento (acciones reactivas y proactivas)
	Costo de ineficiencia	Costo asociado a un rendimiento del equipo inferior al esperado
	% de costos de mtto sobre costos de manufactura	Costos de mantenimiento/costos de manufactura
	Rotación de stock de mantenimiento	Costo de materiales usados del stock dentro de un periodo de tiempo
	% de costo del personal	Costo del personal/ Costos totales de mantenimiento

5.3 Mejora Continua del Mantenimiento

La Norma ISO 55000:2014 define mejora continua como una “Actividad recurrente para mejorar el desempeño”. Dejando en claro que es una actividad que debe ser sostenida en el tiempo y cuyos resultados afectan positivamente los parámetros clave de la gestión. [17]

La Norma ISO 55001:2014 señala como requisito que “Las organizaciones deben mejorar continuamente su idoneidad, adecuación y efectividad en su Gestión de Activos”. Pues dado el entorno industrial actual caracterizado por ser exigente, cambiante y competitivo; la mejora continua se alza (más que como una característica diferenciadora) como una actividad necesaria para la supervivencia de las organizaciones. [18]

La Norma ISO 55002:2014 dictamina que “La mejora continua debería ser considerada como una actividad continua iterativa, con el objetivo último de lograr los objetivos organizacionales”. En ese sentido, una clara determinación de los objetivos corporativos orienta la gestión y justifica la mejora del desempeño de los activos, de la gestión de activos o del sistema de gestión de activos. [19]

Toda acción de mejora precisa de una retroalimentación, para determinar las correcciones pertinentes, y así comenzar el ciclo nuevamente.

5.3.1 Ciclo PDCA

La Mejora Continua es un camino hacia la excelencia, que asegura la supervivencia de las empresas y el cumplimiento ulterior de los objetivos corporativos. Para racionalizar y sistematizar las actividades de mejoramiento existe el ciclo “Planificar, Hacer, Verificar, Ajustar” o simplemente PDCA, por sus siglas en inglés.

El ciclo se vale de indicadores de desempeño para medir las mejoras en eficacia y eficiencia del departamento aportando a la supervisión del ciclo. Se habla de ciclo pues aplica a procesos de mejora interminables, es decir, una vez que se planifique la acción, se realiza, se comprueban los resultados y se actúa sobre los resultados para reiniciar el proceso.

Las etapas del ciclo crean una relación dinámica entre personas y procesos, que se estructura en base a la definición de las especificaciones del proyecto, las especificaciones técnicas del proceso y los procedimientos operativos. [20]

Se explican brevemente las etapas del ciclo:

Plan – Planificar: Se define la meta buscada por la mejora, junto a los métodos y los recursos necesarios para lograrla.

Do – Hacer: Previo entrenamiento del equipo de acción, se ejecutan las tareas especificadas y se hace la recopilación de información clave.

Check – Verificar: Se evalúan los resultados de la tarea ejecutada, se identifican los problemas resultantes del incumplimiento de las tareas y se observan desviaciones en los indicadores.

Act – Ajustar: Sobre la base de la evaluación, se toman medidas para lograr el cumplimiento de las metas y ajustar los indicadores a valores normales.

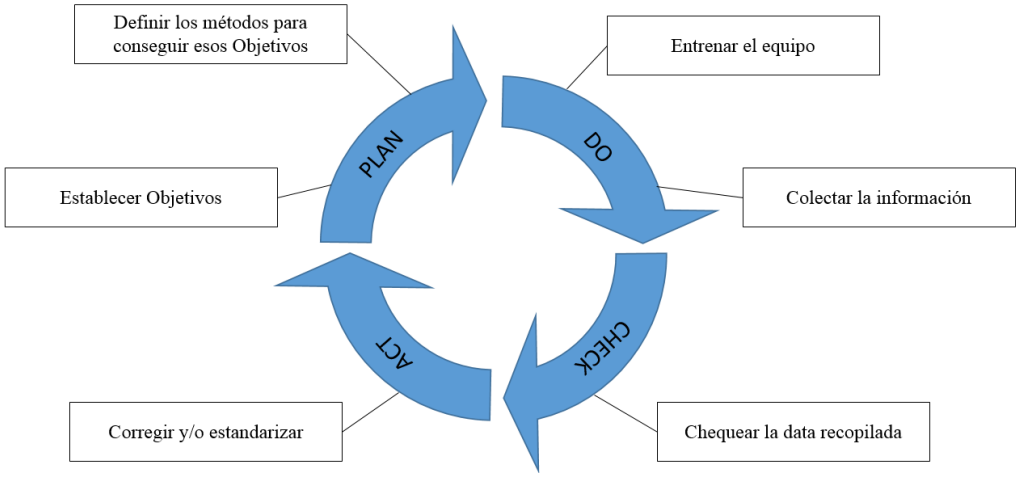


Figura 5.6 Ciclo PDCA (Diego Galar y Uday Kumar. 2016)

5.3.2 Auditorías de Mantenimiento

La Norma ISO 19011:2011 define auditoría de gestión como un proceso sistemático, independiente y documentado para obtener las evidencias y evaluarlas de manera objetiva con el fin de determinar la extensión en que se cumplen los criterios.

El propósito de la auditoría es evaluar los distintos aspectos que componen la gestión de mantenimiento, determinar cuáles aspectos están bien implementados a fin de fortalecerlos y determinar cuáles aspectos presentan deficiencias a fin de ser mejorados. [1]

Es preciso diferenciar entre auditorías técnicas y auditorías de gestión. Las de tipo técnico tratan de determinar el estado de una instalación industrial o una flota, y las de gestión tratan de determinar el grado de excelencia de un departamento de mantenimiento y de su forma de gestionar. [10]

Los fundamentos para realizar una auditoría responden a necesidades provenientes del contexto interno y externo de la organización:

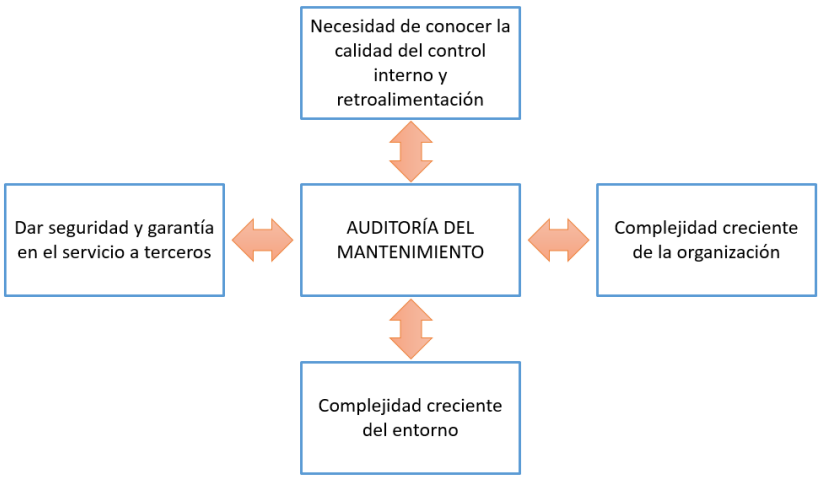


Figura 5.7 Fundamentos para auditar el mantenimiento (Fernando Espinosa)

La norma ISO 55000:2014 indica que las organizaciones deberían evaluar el desempeño de sus activos, la gestión de sus activos y su sistema de gestión activos; frente a esta necesidad las auditorías se alzan como una herramienta valiosa para mejorar la rentabilidad del sistema de producción y para fundamentar adecuadamente los procesos de toma de decisiones.

Al momento de la evaluación, es preciso basarse en evidencias pues las determinaciones del proceso evaluativo constituirán un respaldo en sí mismas. Los diagnósticos deben medirse matemáticamente, de modo que el diferencial existente entre el nivel actual versus el que se alcanzará después de una eventual acción correctiva será el indicador que justificará la implementación de mejoras, esta es además la herramienta de cálculo de beneficios y venta. [21]

Es oportuno que el cierre de la auditoría contemple una propuesta de tipo preliminar con los planes de acción necesarios para la mejora, indicando plazos y responsables para su desarrollo.

5.3.3 Gestión del Cambio

Se entenderá por "cambio" una transformación significativa de estrategias, modelos de negocio, sistemas, procedimientos y/o prácticas de trabajo, cuyo propósito es mejorar la agregación de valor. Los cambios afectan de manera relevante a un número importante de personas y/o grupos de interés al interior o en el entorno de una o más organizaciones, por lo tanto se requiere de una adecuada Gestión del Cambio para tener el compromiso y la participación consciente del personal para la consecución de los resultados esperados. [22]

El cambio genera resistencias, sobre todo cuando es impuesto. Las organizaciones exitosas dirigen sus cursos de una manera organizada hacia una meta o una visión predeterminada, sorteando muchas restricciones desafiantes. Ante ello es fundamental que los empleados puedan entender, aceptar y lo más importante, internalizar la necesidad del cambio.

Los cambios en ingeniería y mantenimiento son prioritariamente de orientación técnica y suelen pasan por alto el elemento humano. Cabe destacar que los cambios efectivamente son llevados a la práctica por personas; quienes tienen creencias, juicios, emociones y percepciones particulares. Ante esa realidad, la gestión del cambio debe ser considerada a la par del aspecto técnico. [8]

John Kotter propone tratar la Gestión del Cambio a partir de 8 pasos [23]:

1. **Crear el sentido de urgencia**

Para que el cambio sea efectivo se requiere que toda la empresa realmente lo desee. Esto se logra estableciendo un diálogo honesto que, primeramente permita identificar las amenazas que podrían afectar negativamente a la empresa en el futuro y luego examinar las oportunidades que son viables de ser explotadas.

2. **Formar una poderosa coalición**

Lograr el convencimiento del personal requiere a menudo el apoyo y liderazgo de personas clave dentro de la organización. Se debe formar un sólido equipo con integrantes de distintos departamentos y distintos niveles de la empresa, personas que sean influyentes ya sea por su cargo, status, experiencia, importancia política, etc.

3. **Crear una visión para el cambio**

Alrededor del cambio suelen haber muchas y muy grandes ideas, vincularlas y resumirlas en una visión general permite que el personal pueda asimilar el propósito del cambio. Cuando las personas reconocen aquello que están tratando de lograr, las directrices recibidas cobran más sentido.

4. **Comunicar la visión**

Es preciso comunicar repetidamente el mensaje contenido en la visión los medios y actividades pertinentes. También es importante responder abiertamente las preocupaciones que puedan surgir en el camino y convencer aquello que se predica con el ejemplo.

5. **Eliminar los obstáculos**

Hasta este punto ya existe una visión clara difundida, con adherentes en todos los niveles de la organización y recursos destinados para el cambio. Sin embargo, aún puede haber personas reticentes al cambio aun cuando este ya se haya iniciado, ante ello es necesario conocer lo que necesitan y cerciorarse de la concordancia entre el desarrollo del proceso y la visión.

6. **Asegurar triunfos a corto plazo**

Es importante fijar metas tempranas dentro del proceso de cambio, que sean relativamente sencillas de alcanzar pero cuyo cumplimiento motive y empuje al personal. Se debe hacer un correcto reconocimiento de las personas involucradas en el logro de esas metas.

7. **Construir sobre el cambio**

Las victorias tempranas son sólo el comienzo de aquello que se necesita para lograr cambios profundos a largo plazo. La obtención progresiva victorias da la oportunidad de construir sobre lo que salió bien y determinar qué se puede mejorar, implementando así el concepto de Mejora Continua. Es necesario mantener el entusiasmo y sumar más agentes líderes del cambio.

8. **Anclar el cambio en la cultura de la empresa**

Para lograr que cualquier cambio quede arraigado, éste debe formar parte del núcleo de la organización. Realizar esfuerzos continuos para garantizar que el cambio se vea en todos los niveles y áreas de la organización. El apoyo de los líderes debe ser sostenido en el tiempo, esto incluye el personal existente y los nuevos líderes que se vayan sumando.

5.4 Optimización Integral del Mantenimiento – OIM

El OIM es una metodología que propone una optimización integral de la función mantenimiento basándose en la orientación a los negocios (BCM – Business Centered Maintenance) y la orientación a los resultados (ROM – Results Oriented Maintenance). Para lo cual propone enlazar los conceptos de competitividad y confiabilidad.

Para conseguir el éxito del negocio la empresa debe ser competitiva; la competitividad cuenta con factores clave como son la calidad, la productividad, el respeto por la seguridad y el medio ambiente. La consecución de dichos factores de competitividad no es instantánea, sino que requiere de un trabajo consciente que debe perdurar en el tiempo para asegurar resultados sostenibles, ello se consigue con el aporte constante de la confiabilidad.

La Optimización Integral del Mantenimiento propone, en función de la orientación a los objetivos y el plan estratégico, desplegar la función del mantenimiento en un marco conceptual global, integral y estructurado, con la división del mantenimiento en los siguientes aspectos:

- Estrategias
- Procedimientos
- Recursos humanos
- Recursos físicos
- Sistemas

A continuación se presenta en detalle los 5 aspectos principales según el enfoque de la metodología OIM: [24] y [25]

Estrategias

La metodología del OIM reconoce como punto de partida a la estrategia global de la empresa, la cual servirá de referencia para la definición de los procesos de decisión particulares de cada nivel y área de la empresa. En dicha estrategia se contemplan los objetivos estratégicos que direccionan la gestión del mantenimiento, con indicadores que permitirán monitorear la gestión.

El OIM destaca la importancia de contar con un levantamiento completo de equipos para priorizarlos en base a criticidad. Ello permitirá realizar los análisis funcionales y establecer sus consecuencias en producción, en función de lo anterior se determinarán las estrategias de mantenimiento más adecuadas al contexto de la empresa.

Recursos Humanos

El personal se enmarca dentro de una estructura organizativa, con una dotación definida por área y con una definición de los perfiles necesarios para cada cargo. El personal de la empresa es el encargado de la gestión de la estrategia de mantenimiento; así como de la toma de decisiones a nivel operativo, lo cual necesariamente incide en el cumplimiento de los objetivos estratégicos.

Es posible trabajar con personal propio o tercerizado. Para el primer caso, es importante establecer los sistemas de evaluación y desarrollo de personal, mientras que para el segundo es preciso definir el qué, cómo y cuándo contratar un servicio externo.

Recursos Físicos

Cada empresa debe contar con las instalaciones industriales y equipos apropiados para poder dar respuesta a sus planes productivos. En efecto, para asegurar la funcionalidad de los mismos es que se desarrolla la estrategia de mantenimiento y se conforman las estructuras organizativas del departamento.

Las políticas de gestión de stocks (repuestos e insumos) y los modos de relacionamiento con proveedores, deben establecerse de manera tal que puedan responder a los requerimientos surgidos tanto de la estrategia de mantenimiento, como de las nuevas necesidades de la operación.

Adicionalmente es preciso contar con un sistema para la administración de herramientas y equipos de apoyo más adecuados en especificidad, cantidad y calidad, para la ejecución de las actividades de mantenimiento.

Procedimientos

En las empresas confluyen diversos técnicos y profesionales quienes poseen sus formas particulares de entender y de ejecutar el trabajo. Los procedimientos establecen la correcta forma de cómo se deben ejecutar las actividades de mantenimiento, estandarizando las actividades para que sean desarrolladas con la menor variabilidad posible, mejorando los resultados a mediano y largo plazo.

Un sistema de administración de procedimientos tiene como propósito:

- Ordenar las operaciones industriales desde la perspectiva del proceso,
- Alinear los requerimientos del cliente con los objetivos del mantenimiento,
- Monitorear y mejorar el desempeño de las actividades.

Sistemas

Un sistema de información alberga todos los procesos, procedimientos y recursos involucrados para mantener una organización en funcionamiento. Los sistemas reciben retroalimentación a través de información interna y de información externa a estos, ejerciendo el control sobre los parámetros vitales de la misma.

Un sistema de información de mantenimiento se hace necesario para: El rastreo de reparaciones y servicios, necesidad de desarrollar informes, control de costos por todo concepto, evaluación integral de la gestión, desarrollo de indicadores de proceso y de resultado, evaluación del modelo preventivo – correctivo, entre otros.

6 Organización y Funcionamiento de la Empresa

Para tener un acercamiento al área de la empresa donde se desarrolla la metodología, se hace una sencilla identificación de la organización y el funcionamiento de la empresa en sus áreas de Producción y de Mantenimiento.

6.1 Proceso de Carguío

Este proceso consiste en la carga de material mineralizado del yacimiento para conducirlo a los posibles destinos, ya sea el chancado, stock de mineral o botaderos de estéril.

Es uno de los procesos de mayor costo, debido a la alta cantidad de equipos involucrados por flotas, alto grado de mecanización y menor rendimiento productivo por equipo. Constituye un proceso de operación prácticamente continuo y lento.

La secuencia de trabajo es la siguiente:

- Preparación de la zona de trabajo mediante equipos de apoyo,
- Posicionamiento de equipos de carguío,
- Retirar el material volado desde la frente de trabajo (Carguío),
- Traspaso del material al equipo de transporte dispuesto para el traslado,

Para conformar las flotas de carguío existen diversos equipos y para cada equipo existen diferentes fabricantes, la selección estará directamente relacionada con las características de la mina y será fundamentada con criterios del tipo estratégico donde confluyen aspectos técnicos y económicos.

En el proceso de carguío inciden una serie de funciones que aseguran que el proceso se lleve a cabo con normalidad y eficiencia: Planificación de la mina, Operación de la mina, Topografía y Equipos de Apoyo. [26]

Composición de la Flota de Carguío

Se presenta el listado de equipos de carguío pertenecientes a Minera Centinela y operados por personal propio en las minas a rajo abierto de óxidos y de sulfuros.

Tabla 6.1 Equipos de Carguío de Minera Centinela

Equipo	Marca	Modelo	Cantidad
Pala eléctrica	P&H	4100 XPC	4
Pala eléctrica	P&H	4100 A	1
Pala hidráulica	Komatsu	PC 8000	2
Pala hidráulica	Komatsu	PC 5500	1
Cargador frontal	LeTourneau	L 1350	1
Cargador frontal	LeTourneau	L 2350	2

Producción según Sub-Flota de Carguío

La producción de las distintas sub-flotas de carguío depende de varias variables: Capacidad de carga, rendimiento de los equipos, cantidad de equipos, disponibilidad y utilización (parámetros del indicador OEE). Al observar la Figura 6.1 se evidencia que la mayor producción es la correspondiente a la flota de palas eléctricas P&H 4100 XPC representando el 67% del total, según el resumen de Minera Centinela para 2016, posicionándola como la flota más determinante en la consecución delas metas productivas.

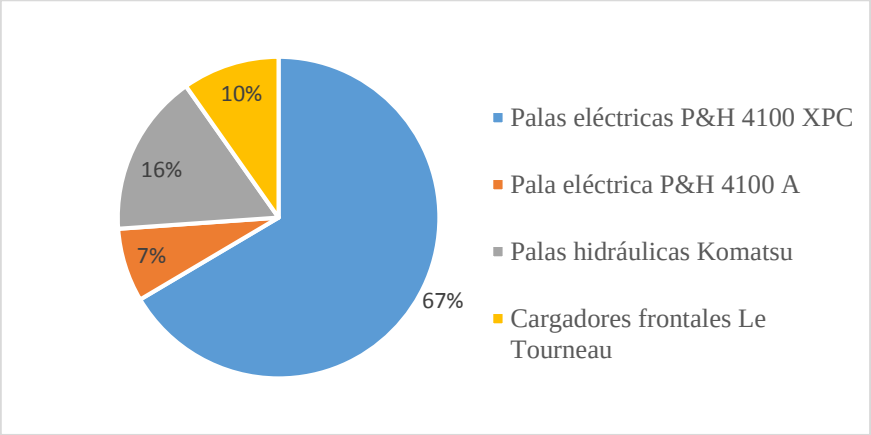


Figura 6.1 Producción por sub-flota de Carguío (Resumen del primer semestre 2016 - Minera Centinela)

6.2 Mantenimiento de Equipos Mina

A partir de la fusión de las operaciones de Tesoro y Esperanza, se crea Minera Centinela contando entre los principales objetivos de la fusión, el maximizar el beneficio del negocio mediante la generación de sinergias y la integración de valor. En ese sentido la gestión de activos físicos juega un rol fundamental para obtener dichos beneficios.

Con base en los valores y objetivos corporativos, se desarrolla la Política de Gestión de Activos que orienta la Gestión de Activos de todas las áreas de la empresa.

El área de Mantenimiento mina atiende a las flotas de: Perforación, Carguío, Transporte y Equipos de Apoyo (EE.AA.).

6.2.1 Modelo de Gestión del Mantenimiento

El Modelo de Gestión del Mantenimiento busca maximizar el beneficio y minimizar el riesgo del negocio mediante la obtención de resultados sustentables y operando a capacidades de diseño durante todo el ciclo de vida de los activos. El Modelo (ver Figura 6.2) reconoce como base fundamental los Valores y Objetivos de la empresa, luego se erigen los 4 pilares estratégicos del área de mantenimiento: Personas, Activos, Procesos y Sistemas, los cuales contienen los objetivos particulares del área. Por su parte, el Sistema de Gobernabilidad establece la estructura organizativa, y coordina las actividades para el desarrollo del ciclo de mantenimiento (ver Anexo C: Ciclo de Mantenimiento). [27]

Figura 6.2 Modelo de Gestión del Mantenimiento (Minera Centinela)

Los Valores y Objetivos organizacionales buscan el desarrollo de un negocio sustentable en el tiempo, integrando aspectos económicos, sociales y medioambientales, respetando los intereses de los accionistas y stakeholders. En ese sentido, el Grupo cuenta con una Carta de Valores que guía el comportamiento de la empresa en sus operaciones, proyectos y negocios; y un Código de Ética que enfatiza el compromiso por emprender negocios de manera responsable y transparente.

Los 4 pilares estratégicos del mantenimiento contienen los objetivos propios del área. El pilar de Personas reconoce la importancia de estandarizar roles y responsabilidades en cada cargo, señalando que serán desempeñados por personas calificadas y con planes de desarrollo definidos. Asimismo remarca la importancia de contar con liderazgos efectivos para movilizar al área en los procesos de cambio fortaleciendo la cultura de la seguridad y sustentabilidad, ello mediante una gestión basada en el mejoramiento continuo y la disciplina organizacional.

El pilar de Activos señala que la empresa debe administrar costos, planes matrices y herramientas de confiabilidad bajo el concepto de mejora continua. Para lo cual ordenala realización de planes de 52 semanas que respondan a los lineamientos del modelo de gestión de riesgos. Siendo fundamental para el área fortalecer el mantenimiento del tipo preventivo-proactivo, y manejar los repuestos en base a su nivel de criticidad.

El pilar de Procesos tiene como lema que “la administración del trabajo debe depender del proceso y no de personas específicas”. En ese sentido se estandarizan procesos de trabajo, los que son correctamente comunicados y aplicados en el área. Se busca una planificación que responda a los requerimientos del plan matriz y a los hallazgos de inspecciones, asimismo se busca la calidad en la ejecución del mantenimiento, optimizando los recursos y disminuyendo los tiempos de las intervenciones.

Finalmente, el pilar de Sistemas señala que todo trabajo de mantenimiento debe estar asociado a una orden de trabajo con información de calidad en el sistema ERP, las estrategias y procesos de mantenimiento deben estar capturadas en el sistema. Se establecen KPIs para la gestión y control del mantenimiento, para que a través de un análisis periódico de reportes se pueda respaldar la toma de decisiones.

Estructura organizativa

El mantenimiento de los equipos mina está dividido en dos Superintendencias que reportan a gerencias distintas. Tomando como referencia el Ciclo de mantenimiento (ver Anexo C: Ciclo de Mantenimiento), los procesos de Planificación, Programación y Análisis son cubiertos por la Superintendencia de Gestión del Mantenimiento Mina, de la Gerencia de Gestión del Mantenimiento; mientras que los procesos de Asignación y Ejecución son cubiertos por la Superintendencia de Mantenimiento Mina, de Gerencia Mina.

A nivel estratégico se crea el Comité de Mantenimiento, compuesto por el Gerente de Gestión de Mantenimiento y los Superintendentes de Gestión y de Ejecución, que se reúne mensualmente con la finalidad de revisar lineamientos y estándares generales, revisar y hacer seguimiento de implementación de propuestas y planes de acción.

A continuación se presentan los organigramas correspondientes, se ha hecho foco en las secciones del área de carguío y en las áreas vinculadas con el desarrollo del Trabajo. Además se ha señalado entre paréntesis aquellos cargos que son ejercidos por más de un turno (x2 cuando se trata de dos turnos; y x4 cuando se trata de cuatro).

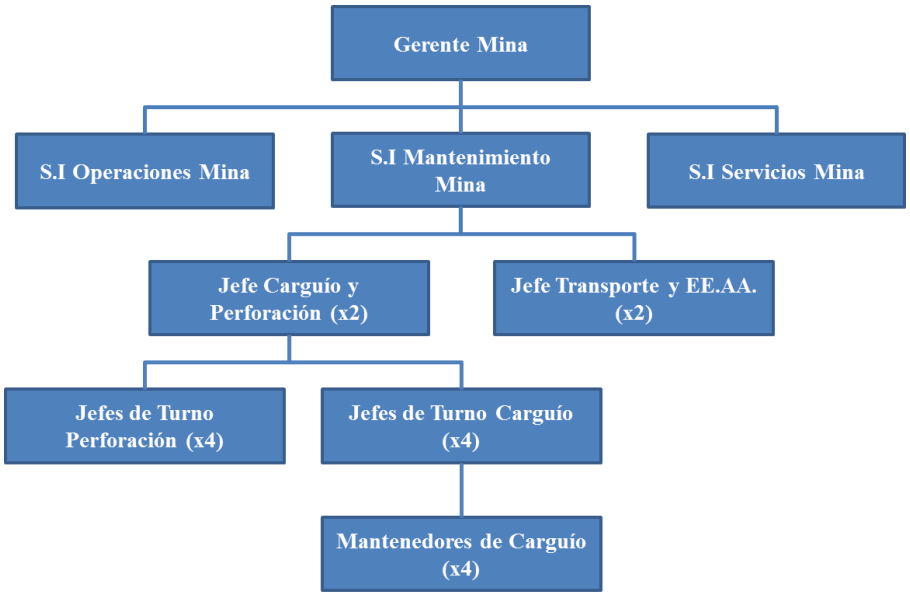


Figura 6.3 Organigrama Gerencia Mina

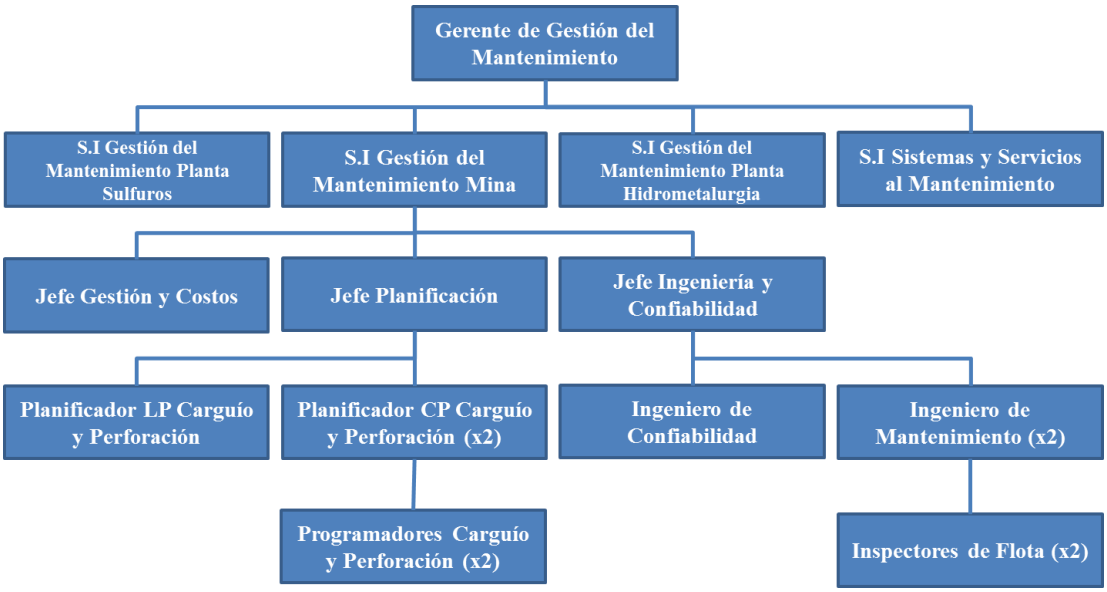


Figura 6.4 Organigrama Gerencia de Gestión del Mantenimiento

Contrato de mantenimiento

El mantenimiento de los equipos pertenecientes a la flota de carguío está internalizado.

Planes de mantenimiento

El mantenimiento de los equipos mina contempla la realización de actividades de mantenimiento del tipo correctivo para la reparación de averías; mantenimiento preventivo mediante de la ejecución de pautas de mantenimiento en base a horómetro; mantenimiento predictivo mediante análisis de MONCON; y actividades de PCR "Planned Component Replacement" para el reemplazo de componentes mayores.

Sistema de trabajo

La operación de la mina sigue un régimen de trabajo continuo de 24 (horas/día). Acorde a las necesidades de operaciones se han configurado 4 turnos de mantenedores, de tal manera que mientras 2 turnos están en faena los otros 2 turnos están en descanso logrando un trabajo continuo de 24 (horas/día), realizando jornadas laborales de 12 (horas).

Dotación de mantenedores

Cada turno se compone de una dotación estándar de 12 mantenedores divididos en: 8 mecánicos, 2 eléctricos y 2 lubricadores. No obstante de lo anterior, la dotación está sujeta a variaciones debido a vacaciones, licencias, asistencia a capacitaciones, etc.

Monitoreo de gestión

El monitoreo de la gestión de mantenimiento se realiza mediante el registro de indicadores de proceso e indicadores de resultado. Se realizan reuniones semanales para verificar desviaciones en la ejecución del programa, y reuniones mensuales donde se hace revisión de investigaciones y planes de acción del área. Además se establece la realización de auditoría anual por algún organismo certificador externo de reconocido prestigio.

ERP

Se utiliza el ERP SAP.

7 Auditoría de Mantenimiento

El desarrollo de la metodología de evaluación y mejoramiento del mantenimiento, sigue una serie de etapas con un orden lógico específico presentado a continuación: [14]

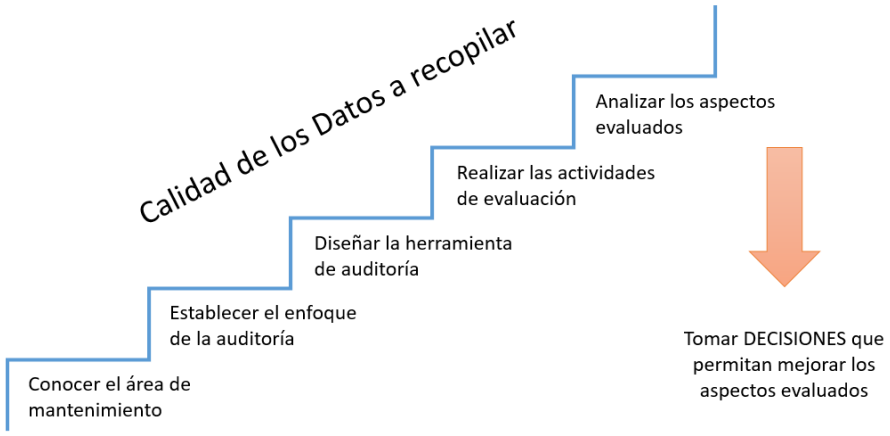


Figura 7.1 Calidad de la Data Recopilada para Respaldar la Toma de Decisiones (modificado de Parra y Márquez. 2015)

La metodología se inicia con la identificación y caracterización de la empresa tanto en sus áreas de producción como de mantenimiento (ver 6); para luego conocer la/las intenciones de la empresa para la realización de la auditoría de gestión, de tal forma que la auditoría apunte específicamente a los requerimientos solicitados.

La Norma ISO 19011:2011 define como Plan de auditoría a la "descripción de actividades y detalles acordados de una auditoría". El Plan de auditoría consiste en:

- El Enfoque (ver 7.1) de auditoría determinado por los objetivos, alcance y criterios de evaluación; estableciendo un marco de referencia para la elaboración de la herramienta de auditoría y de las actividades subsecuentes de auditoría.
- El Diseño de la auditoría (ver 7.2) consistente en el listado de puntos a evaluar, la escala de evaluación y la matriz de registros de la evaluación; instrumentos que en su conjunto permiten una evaluación objetiva e integral.
- Las Actividades de realización de auditoría (ver 7.3) donde se indican los métodos mediante los cuales se accede a la información para la evaluación de los aspectos.

Tras el Plan de auditoría, se realiza el Procesamiento de información (ver 7.4) que incluye la generación un set de gráficos y la recopilación de hallazgos detectados durante el proceso de evaluación junto a las evidencias de las no conformidades.

Finalmente el cierre del proceso da paso a la Propuesta de Mejora en la gestión del mantenimiento.

Es preciso señalar que a través de una auditoría de gestión no se busca juzgar a los responsables del departamento ni cuestionar su forma de trabajo, sino que se busca saber en qué situación se encuentra un departamento de mantenimiento en un momento determinado, identificar puntos de mejora y determinar qué acciones son necesarias para mejorar los resultados. [28]

7.1 Enfoque de la Auditoría

La gestión del mantenimiento se compone de una serie de actividades complejas donde los aspectos a evaluar son múltiples y diversos, por lo tanto, establecer el enfoque de la auditoría permite acotar la evaluación. La Norma ISO 19011:2011 indica que el enfoque de la auditoría queda determinado por los: Objetivos, Alcance, y Criterios de Cumplimiento.

Con el fin de dilucidar sobre cuál de las sub-flotas de carguío se desarrollará la metodología de evaluación y mejoramiento se realiza un Análisis de Criticidad. Una vez definida la flota objetivo, se presentan los resultados de un estudio de benchmarking que servirá de precedente para establecer el enfoque de la auditoría de mantenimiento.

Análisis de Criticidad

Las técnicas de Análisis de Criticidad son herramientas que permiten identificar y jerarquizar los activos según su nivel de relevancia para el negocio y, en consecuencia, orientar la asignación de recursos (humanos, económicos y tecnológicos) para iniciar cualquier proceso de optimización.

Específicamente, el proceso de análisis de criticidad ayuda a determinar la importancia y las consecuencias de los eventos potenciales de fallos de los sistemas de producción dentro del contexto operacional en el cual se desempeñan (Woodhouse. 1994).

El método usado es el “Flujograma de Criticidad”.

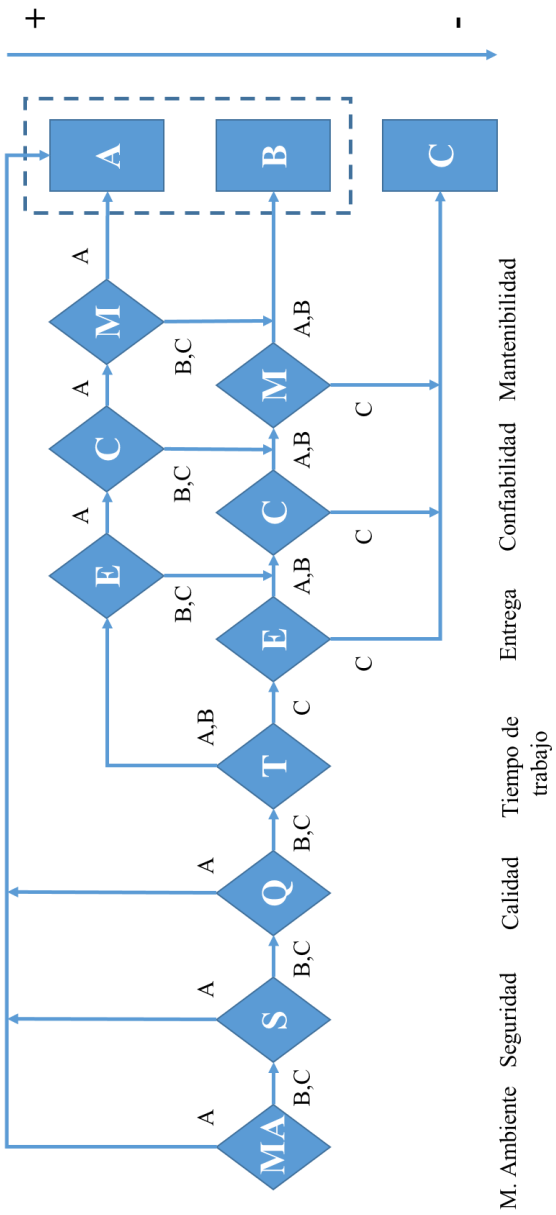


Figura 7.2 Flujograma de Criticidad (Crespo. 2007)

Como se puede observar en la Figura 7.2, el resultado del análisis es el encasillamiento de los equipos según 3 categorías: A, B o C, siendo los equipos tipo A los de mayor criticidad. El método es del tipo cualitativo, el personal involucrado evalúa los factores representados por los rombos secuencialmente de izquierda a derecha y donde las flechas develarán el resultado del análisis.

Tabla 7.1 Factores del Análisis de Criticidad (Crespo. 2007)

A	B	C
Medio Ambiente		
Un fallo de estos equipos podría hacer que la empresa deba dar aviso a las autoridades por problemas que pudiesen afectar la salud de las personas o el medio ambiente.	Un fallo de estos equipos podría causar una contaminación o afección que pudiera gestionarse en el interior de la empresa.	Un fallo de estos equipos no produciría ningún tipo de contaminación medioambiental.
Seguridad		
Un fallo de estos equipos puede producir un accidente que provoque absentismo temporal o permanente en el lugar de trabajo.	Un fallo de estos equipos puede producir un accidente que provoque absentismo temporal.	Un fallo de estos equipos no puede crear consecuencias relacionadas con la seguridad de las personas.
Calidad		
Un fallo en la calidad puede producir un importante impacto externo, o una imagen muy negativa de la compañía en el mercado, al detectarse el fallo después de llegar el producto al cliente final.	Un fallo en la calidad produce sólo una consecuencia interna.	Un fallo en la calidad no ocasiona ningún impacto.
Tiempo de Trabajo		
Equipos que trabajan las 24 horas del día.	Equipos que trabajan 16 horas al día.	Equipos que trabajan 8 horas al día.
Entrega		
Un fallo de estos equipos detiene más del 40% de la producción.	Un fallo de estos equipos detiene más del 25% de la producción.	Un fallo de estos equipos no produce una interrupción significativa de la producción.
Confiabilidad		
Si los equipos no se mantienen correctamente, tendrían una frecuencia de fallo menor a 5 horas.	Si los equipos no se mantienen correctamente, tendrían una frecuencia de fallo entre 5 y 10 horas.	Si los equipos no se mantienen correctamente, tendrían una frecuencia de fallo menor a 10 horas.
Mantenibilidad		
Equipos que requieren 90 minutos o más como tiempo medio de reparación.	Equipos que requieren entre 45 y 90 minutos como tiempo medio de reparación.	Equipos que requieren menos de 45 minutos como tiempo medio de reparación.

Los equipos de la flota de carguío son sometidos a este análisis. Resultando que el máximo nivel de criticidad “A” es logrado por la sub-flota de palas eléctricas P&H 4100 XPC; luego en el nivel de criticidad intermedio “B” están las sub-flotas de palas hidráulicas Komatsu junto a la pala eléctrica P&H 4100 A; finalmente en el nivel de baja criticidad “C” está la sub-flota de cargadores frontales LeTourneau.

La empresa solicita desarrollar la metodología en el mantenimiento de la flota de palas eléctricas P&H 4100 XPC debido a que resulta ser un equipo crítico para Minera Centinela. Para mayores detalles del equipo objetivo ver Anexo A: Descripción de la pala P&H 4100 XPC.

Análisis de Benchmarking

Proceso de gestión que consiste en contrastar información de los mejores aspectos o prácticas de las empresas del mercado, para adaptarlos a la propia empresa para así definir líneas de trabajo y orientar mejoras.

Las empresas establecen indicadores de desempeño (KPI por sus siglas en inglés) que proporcionan información útil al sistema de control de gestión, de modo que las variaciones en los indicadores tengan sentido para quien las analiza. De esta manera se posibilita el análisis de la gestión interna del área y la comparación con organizaciones externas. [20]

El benchmarking basa su comparación en empresas pertenecientes a sectores similares y requiere de indicadores predefinidos para poder contrastar información coherente. Los indicadores de mantenimiento más extensamente utilizados en el bechmarking son: MTBF, MTTF, MTTR, disponibilidad, costo de mantenimiento por detención, y costo de repuestos para el mantenimiento.

Encare, es una empresa dedicada a la elaboración de estudios de benchmarking e indicadores de gestión para la industria minera. Encare ha desarrollado un análisis de benchmarking con los resultados del año 2016 de las mineras nacionales, donde se incluye a las Palas eléctricas de 73 (yd^3), las Palas eléctricas P&H 4100 XPC pertenecen a esta categoría.

En la Figura 7.3 se presentan un gráfico resumen con los Indicadores de Resultado MTBF, MTTR y Disponibilidad de las palas eléctricas de 73 (yd^3).

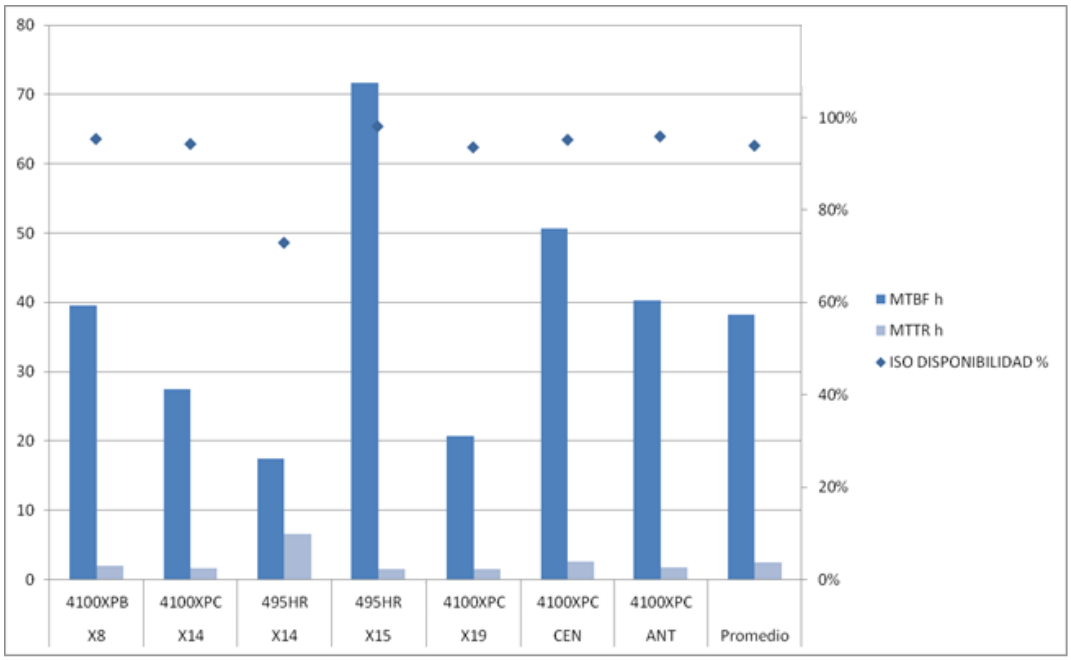


Figura 7.3 Indicadores de Resultado para las Palas eléctricas de 73 yd^3 (ENCARE)

El indicador de MTBF de Minera Centinela para palas de 73 (yd^3) se encuentra por sobre la media, lo cual indica que los equipos de la empresa operan de manera confiable durante un tiempo superior a la competencia. Sin embargo los indicadores de disponibilidad y mantenibilidad (MTTR) están en una posición ligeramente desfavorable respecto de la media, constituyendo un aspecto a mejorar.

El indicador de Disponibilidad de Minera Centinela es cercano al 95%. Un análisis temprano resuelve que, dada la alta confiabilidad de la flota la disponibilidad se haya impactada básicamente por actividades programadas. Por lo tanto, una oportunidad de mejora a los indicadores de resultado de la flota objetivo debiese ser dirigida al indicador de mantenibilidad de los equipos.

7.1.1 Objetivos

Una vez que se ha determinado la flota a atender, y siguiendo los lineamientos del Programa de Competitividad y Costos, la empresa solicita hacer foco en el mantenimiento preventivo el cual busca: Recuperar de forma rápida y eficiente la tolerabilidad de los sistemas una vez que se ha producido la interrupción de su funcionamiento, mejorando así la mantenibilidad (Woodhouse, 1996). El objetivo de la auditoría es evaluar la mantenibilidad de la sub-flota de palas eléctricas P&H 4100 XPC.

7.1.2 Alcance

El alcance de la auditoría se realiza en las áreas donde se desarrolla la gestión y ejecución del mantenimiento: Superintendencia de Mantenimiento Mina y Superintendencia de Gestión del Mantenimiento Mina.

7.1.3 Criterios de Cumplimiento

Corresponde a los criterios que orientan la elección de los aspectos a evaluar en la auditoría, a la vez que facilitan la elaboración de la escala de cumplimiento de cada aspecto. Contra ellos se contrasta la gestión del área logrando establecer su nivel de madurez. Los criterios de cumplimiento son tomados de dos fuentes coherentes entre sí: el Modelo de Gestión del Mantenimiento de la empresa y la metodología OIM - Optimización Integral del Mantenimiento.

7.2 Diseño de la Auditoría de Mantenimiento

La herramienta de Auditoría se compone de tres documentos de trabajo que en su conjunto son necesarios para la realización de la evaluación. Estos permiten:

- Identificar los puntos a evaluar.
- Identificar el grado de madurez de cada punto a evaluar.
- Registrar la evaluación recibida por cada punto.

7.2.1 Aspectos a Evaluar

La auditoría contempla un listado de 30 puntos a evaluar. Los puntos fueron seleccionados a partir de los objetivos del Modelo de Gestión de Mantenimiento de Minera Centinela, que a su vez es coherente con la metodología del OIM – Optimización Integral del Mantenimiento. Además se añaden solicitudes específicas de los ingenieros de mantenimiento pertenecientes a la plana estratégica de la empresa, el formato de la herramienta de evaluación elaborada sigue el formato presentado en diversas auditorías de la bibliografía relacionada,

Para cada punto a evaluar se establece un descriptor que señala de manera clara y precisa aquello que se pretende evaluar, incluyendo además parámetros y métricas pertinentes a la evaluación para minimizar la subjetividad en la evaluación.

Tabla 7.2 Descripción de los Aspectos a Evaluar relativos a Estrategia

1	Estrategia	Descripción
1.1	Estrategia de mantenimiento alineada con producción	La estrategia agrupa los planes de mantenimiento, debe plasmarse en un documento formal y difundido en las S.I de Gestión y Mantenimiento Mina. La estrategia debe estar alineada con la misión/visión de la organización. Sus objetivos deben permitir el cumplimiento de las metas de producción, además deben ser medibles para monitorear su efectividad en el tiempo.
1.2	Status del mantenimiento	Estado organizacional, tecnológico y cultural de la empresa para enfrentar el mantenimiento, tomando como referencia los enfoques del mantenimiento.
1.3	Análisis funcional	Uso de técnicas que utilizan los conceptos de confiabilidad y productividad de los equipos para el diseño de configuraciones lógicas funcionales que permitan cumplir con las solicitaciones de operaciones.
1.4	Análisis de criticidad de los equipos	Uso de técnica(s) para determinar la importancia y las consecuencias de los eventos potenciales de falla en los sistemas de producción. A fin de jerarquizar los equipos, facilitando la toma de decisiones y la asignación de recursos.
1.5	Gestión de riesgos	La alta administración ha establecido políticas de seguridad a nivel corporativo y cuenta con un modelo para la gestión de riesgos. Su alcance incluye a todos los niveles del personal. En mantenimiento Mina se profundiza en los riesgos críticos relativos a las labores ejecutadas.
1.6	Coordinación con operaciones para ejecución de PM	La entrega oportuna de equipos por parte de operaciones a mantenimiento: Aumenta las posibilidades de cumplir con el programa, facilita la adecuada preparación de recursos del mantenimiento.

Tabla 7.3 Descripción de los Aspectos a Evaluar relativos a Recursos Humanos [29]

2	Recursos humanos	Descripción
2.1	Organigrama y estructura funcional	Organigrama con jerarquías identificables y alineadas con la estructura funcional de mantenimiento Mina. Se debe tener una clara definición de las funciones específicas y responsabilidades asociadas a cada cargo. Existiendo coherencia entre roles y cargos.
2.2	Política de desarrollo del personal y capacitación	Plan de desarrollo del personal que permita optar a mejores condiciones laborales mediante la capacitación. La política de desarrollo personal y capacitación debe considerar los perfiles de cargo y las funciones a desarrollar para que el aporte del trabajador sea valioso.
2.3	Gestión del cambio	Los procesos de cambio deben ser tratados de manera responsable por sus gestores. Con el fin de lograr el convencimiento y el compromiso del personal (en todos los niveles) involucrado en la obtención los objetivos trazados por la mejora.
2.4	Dotación de mantenedores para PM	Es necesario conocer la dotación (número total de mantenedores y sus especialidades) para una correcta asignación de la fuerza de trabajo. La dotación debe ser tal que permita el correcto cumplimiento de las actividades en el tiempo y la calidad esperada.
2.5	Calidad en la ejecución de PM	Para que los trabajos de mtto de las pautas surtan los efectos deseados en la performance y durabilidad de los equipos, es primordial que las tareas dispuestas sean realizadas de manera responsable siguiendo los parámetros dictados por las pautas.
2.6	Homogeneidad de los turnos	Estandarización en la dotación de mantenedores por turnos para una correcta asignación de la fuerza de trabajo. Existencia de herramientas de medición del desempeño, y desarrollo de planes de acción en búsqueda de un trabajo parejo entre turnos.
2.7	Administración del desempeño	Proceso que permite evaluar y monitorear la idoneidad del talento humano durante el desarrollo y consecución de los objetivos propuestos; con el fin de garantizar la generación de valor y establecer acciones de ajuste de manera proactiva.

Tabla 7.4 Descripción de los Aspectos a Evaluar relativos a Recursos Físicos

3	Recursos físicos	Descripción
3.1	Política de inventario	Enfoque documentado para administrar el inventario, desarrollado por mantenimiento Mina responsable de los niveles adecuados de stock y servicios para diferentes repuestos, de acuerdo a los Planes de Mantenimiento de Equipos.
3.2	Gestión de herramientas	Correcta identificación de las herramientas necesarias para la ejecución de los trabajos de mtto. Se requiere que las herramientas proporcionadas cumplan con ciertas especificaciones técnicas, además de cumplir estándares de calidad y de cantidad.
3.3	Equipos de Apoyo al mantenimiento	La finalidad de los equipos de servicio es apoyar los trabajos de mantenimiento, permitiendo un trabajo efectivo y seguro. Una correcta gestión debe garantizar la confiabilidad y disponibilidad de éstos, y aplicar el concepto del JIT en la ejecución de las actividades de mantenimiento.
3.4	Suministro y uso de EPPs	La empresa debe proporcionar los EPP´s de uso individual e intransferible que protegen al mantenedor frente a riesgos que puedan afectar su integridad en el trabajo en conformidad a la Ley 16.744, Articulo Nº68.
3.5	Instalaciones de soporte	OO.CC, servicios básicos y TIC'S correctamente implementados, mantenidos y mejorados con el fin de soportar las actividades de mantenimiento en todos sus niveles.
3.6	Estandarización de recursos físicos para PM	La asignación de recursos debe estar estandarizada para facilitar la preparación de éstos previo a la ejecución de la PM. Además de aportar en la entrega de un tratamiento parejo a la flota de equipos en beneficio de su desempeño y durabilidad.

Tabla 7.5 Descripción de los Aspectos a Evaluar relativos a Procedimientos

4	Procedimientos	Descripción
4.1	Proceso de mantenimiento	Serie de etapas secuenciales cuyo cumplimiento corresponde al proceso óptimo en el desarrollo de los trabajos de mantenimiento. La secuencia del trabajo es: Identificación, planificación, programación, asignación, ejecución, y análisis.
4.2	Confiabilidad en el diseño de PM	Elaboración de las pautas de mantenimiento a partir de información técnica recopilada desde diversas fuentes, y combinación de diversas herramientas estadísticas, de confiablidad y económicas para su optimización.
4.3	Control de riesgos críticos	Capacidad para identificar y controlar riesgos propios del área mediante el correcto uso de las herramientas de control de riesgos por parte del personal.
4.4	Administración del tiempo de detención de equipo	Existencia de un estándar en los tiempos de detención de los equipos para la realización de las actividades de mantenimiento preventivo, permitiendo la devolución del equipo a operaciones en condiciones operativas y en el momento establecido.
4.5	Proceso de cambio de turno	El cambio de turno debe seguir un proceso formal. Se deben disponer los recursos necesarios para la comunicación de información clave de manera clara, precisa y concisa.
4.6	Manejo de energía almacenada y bloqueo	Existencia de procedimientos actualizados para administrar energía almacenada mediante dispositivos de bloqueo. Los procedimientos deben indicar el paso a paso de su aplicación, deben estar actualizados, detallar el alcance y claros responsables en los protocolos.

Tabla 7.6 Descripción de los Aspectos a Evaluar relativos a Sistemas

5	Sistemas	Descripción
5.1	Órdenes de Trabajo	Instrucción detallada y escrita que ordena el trabajo a realizar por la organización de Mantenimiento. En esta se deben detallar las actividades a realizar: Aportar información sobre el método más adecuado, seleccionar de la mano de obra calificada, y minimizar el costo mediante una asignación eficiente de los recursos.
5.2	KPI's de resultado	Implementación y seguimiento de los indicadores que permiten medir los resultados del mantenimiento en términos del desempeño de los equipos y los costos del mantenimiento.
5.3	KPI's de proceso	Implementación y seguimiento de los indicadores que permiten medir el desempeño con que se desarrollan las etapas del proceso de mantenimiento: Identificación del trabajo, planificación, programación, y ejecución del mantenimiento.
5.4	Manejo de bibliotecas técnicas	Los documentos deben fácilmente hallarse en ERP, como es una orden de trabajo, equipo, pieza en el catálogo y otro tipo de elementos. Además las bibliotecas físicas y digitales con información de los equipos e instalaciones deben ser ordenadas, funcionales y de fácil acceso.
5.5	Auditoría de Gestión del mantenimiento	Herramientas de auditoría que aplicadas en forma sistemática permiten comprobar el correcto desarrollo de la gestión y proponer los correspondientes planes de mejora para la consecución de los objetivos estratégicos.

7.2.2 Niveles de Madurez

Los niveles de madurez corresponden a una escala para efectuar la evaluación de la gestión del mantenimiento. La evaluación se basa en evidencias que pueden ser de tipo cuantitativa o cualitativa pero que en ambos casos debe ser verificable, así se consigue que el establecimiento de los niveles de madurez sea objetivo y preciso.

Determinar el grado de madurez es determinar el nivel de desarrollo logrado por cada uno de los 30 puntos en evaluación. Los parámetros y consideraciones de la escala de evaluación son los denominados "criterios de auditoría", contra ellos se contrasta la gestión del departamento de mantenimiento determinando así el grado de conformidad (nivel de madurez alcanzado).

Los criterios pueden incluir indicadores, políticas, procedimientos, normas, requisitos legales, requisitos del sistema de gestión, requisitos contractuales, códigos de conducta de sector y otros arreglos aplicables. [30]

Se presentan los niveles de madurez desde inocencia a excelencia: [31]

- Inocencia: Caracteriza una condición caótica, en donde se introducen mejoras al mantenimiento de forma esporádica evidenciando desconocimiento de lo que implican las características y criterios de las mejores prácticas. No existe una comprensión coherente de una gestión de mantenimiento integrada a las demás áreas de la empresa.
- Conocimiento: Caracterizado por el conocimiento de la importancia que tiene el mantenimiento como proveedor de servicios internos y su contribución al valor de la empresa y al rendimiento operativo. El desarrollo de mejores prácticas tiende a ser iniciado y llevado a cabo por empleados individuales.
- Entendimiento: En este nivel las medidas adoptadas para mejorar el mantenimiento se documentan, evalúan, estandarizan y se establecen en forma de instructivos. Se entienden los criterios característicos de las mejores prácticas del mantenimiento, logrando obtener algunos beneficios.
- Competencia: Los procesos de mantenimiento están adecuadamente implementados logrando beneficios tangibles. Existe un énfasis en la mejora continua donde las

mejoras adicionales sólo pueden ocurrir en pequeños pasos, exigiendo grandes aportaciones de esfuerzo. Se tiene un buen dominio de las mejores prácticas.

- Excelencia: Este nivel denota una gestión de mantenimiento integrada en la actividad empresarial desempeñándose con alta eficiencia y eficacia. El mantenimiento se ha organizado mediante pasos coordinados obteniendo altos beneficios. Todos los empleados, incluidos los prestadores de servicios externos, han adoptado los objetivos y reglamentos del área y están dispuestos a aceptarlos y mejorarlos continuamente. La gestión del mantenimiento es comparable con las empresas de clase mundial.

Una vez establecido el nivel de madurez del departamento de mantenimiento, queda en evidencia la brecha que separa el nivel actual respecto de los niveles de madurez superiores permitiendo conocer los puntos que se deben abordar para una mejora de la gestión.

Tabla 7.7 Descripción de los Niveles de Madurez relativos a Estrategia

Inocencia	Conocimiento	Entendimiento	Competencia	Excelencia
1.1 Estrategia de mantenimiento alineada con producción				
Estrategia de mantenimiento no ha sido redactada de manera formal. No hay evidencia de objetivos de Administración de activos.	Estrategia escrita de manera formal, pero no actualizada. Los objetivos específicos de administración de activos fueron planteados en forma independiente de los objetivos de producción.	Estrategia correctamente actualizada, su aplicación rige el mantenimiento de los equipos. Existe una serie formal de objetivos estratégicos de administración de activos. Estos objetivos están alineados con los objetivos de producción y dan una dirección clara para las tareas de mantenimiento.	Estrategia publicada y ampliamente conocida por el personal de Mantenimiento mina. Los objetivos de administración de activos son comunicados de manera visible y comprendidos. Se ha desarrollado un plan para la Administración de Activos y se implementan acciones para alcanzar los objetivos.	Estrategia de mantenimiento y objetivos de administración de activos son revisados anualmente por todos los involucrados. Objetivos alineados con la Optimización del Negocio de Activos.
1.2 Status del mantenimiento				
Se tratan los equipos una vez que presentan falla de forma imprevista, evidenciando un enfoque REACTIVO de mantenimiento.	Se mantiene un enfoque reactivo, pero se tiene buena disponibilidad de repuestos cuando fallan. Y se realizan mantenimientos mayores asociados a PCR.	Se aplican rutinas de mantenimiento PREVENTIVO como inspecciones, lubricación, ajustes y servicios menores para aumentar tiempo entre fallas de los equipos.	Se incorporan métodos del tipo PREDICTIVO como análisis de vibraciones, termografía, ultrasonido, etc. Para monitorear la condición de los equipos. Se hacen análisis de fallas repetitivas.	Se determinan actividades de mantenimiento preventivo y predictivo en función de las consecuencias de fallas, se desarrollan modelos de decisión basados en riesgo. Inclusión del operario en el cuidado del equipo con actividades de mantenimiento menores, enfoque PROACTIVO del mantenimiento.

1.3 Análisis funcional				
Los análisis funcionales quedan limitadas al criterio de los directivos. Configuraciones funcionales tienden a ser rígidas.	Mantenimiento Mina conoce ampliamente el flowsheet (actualizado) de los sistemas de producción mina. Pero sólo se enfoca en el cumplimiento de los budget de disponibilidad y demás KPI's de mantenimiento.	Se han desarrollado configuraciones funcionales flexibles que permiten la continuidad operacional de los sistemas productivos. Mantenimiento Mina integra los intereses de operaciones, trabajando de forma mancomunada en el cumplimiento de las metas productivas.	Se suma el uso de técnicas de confiabilidad sistémica RBD (Reliability Block Diagram). Se registra la confiabilidad de la flota de carguío en el tiempo y respecto a su evaluación se desarrollan planes de acción.	El análisis funcional tiene lugar en la toma de decisiones estratégicas de largo plazo, tanto de operaciones como de mantenimiento (tal como lo sería la adquisición de equipos o los efectos en los planes de desarrollo de la mina).
1.4 Análisis de criticidad de los equipos				
La priorización de activos obedece a sensaciones personales de los directivos.	La priorización de activos se basa en criterios que recogen la mirada del mantenimiento. Como los costos de mantenimiento, disponibilidad de recursos físicos, disponibilidad de recursos humanos, etc.	La priorización de activos en el mantenimiento integra los criterios de operaciones. Tal como cumplimiento de las metas productivas, flexibilidad operacional, efecto en la capacidad de producción, etc.	Se ha establecido el análisis de criticidad basada en riesgo. Mediante técnicas de carácter cualitativo, adicionalmente a los criterios de mantenimiento y operaciones, se integran los criterios de seguridad, calidad, higiene y medio ambiente.	Se ha establecido el análisis de criticidad basada en riesgo. Mediante técnicas de carácter cuantitativo, tal como el AHP (Analytic Hierarchy Process).
1.5 Gestión de riesgos				
La gestión del riesgo recibe poca atención desde la alta administración.	La gestión del riesgo es abordada por la alta administración, existe un alto compromiso por parte de las jefaturas y supervisores de mantenimiento Mina. Se hace amplia difusión de temas de seguridad en diversas plataformas.	La gestión de riesgos establece claras responsabilidades, asignación de recursos físicos y humanos a todas las áreas de Mantenimiento. Se hacen reuniones ampliadas para tratar temas de seguridad. Los controles críticos están en directa relación con las tareas ejecutadas.	Se ha implementado un proceso para medir y controlar el compromiso del personal interno y contratista con respecto al Plan de Seguridad. Tras haber sucedido accidentes/incidentes se realizan talleres para asegurar el aprendizaje de lecciones.	Los contratistas han adoptado el Programa de Seguridad de Minera Centinela. Existe una cultura de "cuidarse y cuidar a los demás" evidenciando proactividad y compromiso de los mantenedores en todos los niveles. Reportabilidad ampliamente instaurada.

1.6 Coordinación con operaciones para ejecución de PM				
No existe una coordinación que comprometa la entrega de equipo en un momento estipulado.	Existe una coordinación que compromete la entrega de equipo en un día estipulado y hora estipulado. Es usual que la entrega de equipo no se haga en el día estipulado	Es usual que la entrega de equipo no se haga en la hora estipulada. Generando descoordinación en el área de ejecución, en ocasiones provocando desplazamiento innecesario de recursos y personal.	Operaciones hace entrega del equipo con un retraso mínimo o nulo, no se generan descoordinaciones al área de ejecución.	Operaciones hace un cumplimiento irrestricto y puntual en la entrega del equipo.

Tabla 7.8 Descripción de los Niveles de Madurez relativos a Recursos Humanos

Inocencia	Conocimiento	Entendimiento	Competencia	Excelencia
2.1 Organigrama y estructura funcional				
No existe organigrama ni definición de las funciones.	Organigrama de mantenimiento Mina con esquema poco entendible, debido a jerarquías pobremente definidas. Existe definición de funciones, pero con imprecisiones respecto al alcance de los cargos.	Existe un Organigrama de mantenimiento Mina con jerarquías claramente establecidas, pero no es ampliamente conocido y/o difundido. Se establecen las funciones, responsabilidades y alcance de los cargos. Organigrama está alineado con las funciones estructurales.	Existe un Organigrama ampliamente conocido por parte del personal, se hace difusión del mismo en diversas plataformas. Se cuenta con la presencia de jefatura cada vez que se le requiere. Existe coherencia entre roles y cargos.	Existe un Organigrama y es revisado anualmente tanto en su esquema jerárquico como en la definición las funciones y responsabilidades asociadas a cada cargo.
2.2 Política de desarrollo del personal y capacitación				
No existe un plan formal de desarrollo de personal. En mantenimiento mina, la capacitación es esporádica y sin estructura.	Existen opciones de desarrollar carrera en la empresa en función de antigüedad en la empresa y/o experiencia. En mantenimiento mina se hace capacitación general, con enfoque en la ejecución del mantenimiento.	Hay planes de desarrollo para empleados y supervisores, considerando los requerimientos del cargo, aptitudes y capacitación. Existe un plan de capacitación para enfrentar los diversos procesos de mantenimiento. Se contempla capacitación en ERP.	Se ha implementado un proceso que registra el avance de cada persona de acuerdo con el plan de desarrollo funcional. Se ofrecen las facilidades para estudiar y especializarse.	El plan de desarrollo general (por individuo y posición) es actualizado anualmente. La capacitación también es actualizada anualmente para responder a los adelantos en los procesos.

2.3 Gestión del cambio				
La empresa hace un bajo reconocimiento de la importancia del cambio, procesos de cambio son gestionados en sentido vertical por parte de los directivos. Los procesos no se fundamentan en datos duros. Existe resistencia al cambio generalizada en todos los niveles del personal.	Existe una buena comunicación de la visión y objetivos perseguidos por los procesos de cambio. Los procesos de cambio sí se fundamentan en datos duros. La resistencia al cambio reside principalmente en el nivel operativo y en menor medida en el nivel táctico.	En los procesos de cambio se considera la participación de equipos naturales de trabajo de distintos niveles. Se hace difusión sistemática de los logros del personal involucrado en dichos procesos. La resistencia al cambio reside fundamentalmente en el nivel operativo.	Se hace acompañamiento al personal antes, durante y después de los procesos de cambio. Durante el proceso se recogen y evalúan las apreciaciones del personal. Se logra un convencimiento del personal en todos sus niveles mediante la comunicación de resultados y beneficios logrados tras el cambio.	Se hace un aprovechamiento de los liderazgos naturales para apalancar el cambio. El cambio está anclado en la cultura de la organización.
2.4 Dotación de mantenedores para PM				
No se ha estandarizado la dotación de mantenedores necesarios para enfrentar cada PM.	Se ha establecido la cantidad de mantenedores para cada PM como un lineamiento de ingeniería, pero no se ajusta a la realidad.	Se ha establecido la cantidad de mantenedores y sus especialidades para cada PM y se respeta en la práctica.	Se ha especificado incluso la dotación de mantenedores para la ejecución de las actividades de cada una de las pautas por especialidad que componen cada PM.	Ante eventualidades que requieran alterar la fuerza de trabajo asignada para la ejecución de la PM, se ha definido la priorización de las actividades a realizar.
2.5 Calidad en la ejecución de PM				
Se habitúa tickear tareas que no fueron realizadas (incluso cuando se trata del reemplazo de partes). No se efectúa un aseguramiento formal de la calidad del trabajo.	Se registran las posibles actividades inconclusas de PM. Existen incumplimientos a las especificaciones técnicas de aceptación de las instrucciones de PM.	Se cumplen las especificaciones técnicas de aceptación de PM, pero hay deficiencias en el registro de observaciones detectadas durante el mantenimiento. La calidad del trabajo se realiza mediante un programa de re-inspección de avance secuencial de PM y mediante una verificación funcional previa devolución del equipo a Operaciones.	Cumplimiento a cabalidad de las especificaciones técnicas de aceptación y del registro de observaciones. La calidad del trabajo se verifica con auto-inspecciones de acuerdo con las instrucciones de tareas. Se implementan acciones reactivas donde se requiere y son monitoreadas con ERP.	El aseguramiento de la calidad se basa en el desempeño de los equipos de mantenedores y reinspecciones de colegas. Los defectos en los trabajos son registrados y monitoreados estableciendo tendencias analizadas en el área.

2.6 Homogeneidad de los turnos				
Directivos reconocen la importancia de la homogeneidad entre turnos, pero no se ha materializado en acciones concretas para lograr aquello. Supervisores detectan disparidad en el desempeño de los turnos.	Se reconoce la importancia de este punto y se han configurado turnos con dotación estándar de mantenedores tanto en cantidad total como en número de especialistas.	La configuración de los turnos además busca la homogeneidad en cuanto a habilidades técnicas y experiencia de los mantenedores. La programación de actividades es independiente del personal mantenedor que esté de turno.	Existen KPI's que permiten medir la respuesta homogénea entre turnos y se hacen revisiones sistemáticas del desempeño homogéneo entre turnos, KPI's evidencian una respuesta homogénea.	Además de tener una respuesta homogénea en la ejecución del mantenimiento, existe un nivel de compromiso entre turnos hacia la mejora del desempeño.
2.7 Administración del desempeño				
La medición del desempeño queda a criterio personal de los jefes de área. No existe una estandarización en los métodos de medición.	Se han establecido y estandarizado los métodos de medición del desempeño con base en competencias.	La medición del desempeño busca garantizar la efectividad en los procesos productivos y la calidad del servicio. Se tienen registros históricos del desempeño.	Se desarrollan planes concretos de mejoramiento del desempeño, con monitoreo según frecuencias establecidas en cada plan.	La medición del desempeño considera las iniciativas y aportes para la innovación en los procesos.

Tabla 7.9 Descripción de los Niveles de Madurez relativos a Recursos Físicos

Inocencia	Conocimiento	Entendimiento	Competencia	Excelencia
3.1 Política de inventario				
No existe una política al respecto. El inventario se maneja sólo por sensaciones personales y experiencia de los supervisores.	Existe una Política informal de Inventario. Se han creado algunos códigos y se catalogan los repuestos a medida que van fallando.	Existe una Política formal de Inventario. Se catalogan repuestos y componentes, principalmente como consecuencia de un análisis de repuestos realizado por el área de Gestión del mtto que define niveles de inventarios mínimos y máximos a mantener.	La Política es conocida y aplicada ampliamente por los involucrados en el control de inventario. Las catalogaciones obedecen a los análisis de criticidad de los equipos. Análisis de repuestos y componentes críticos, junto a los análisis de confiabilidad realizados por el área de Gestión del mtto.	La Política de Inventario es revisada una vez al año y se aplica Mejoramiento Continuo de los Inventarios manejados en mantenimiento Mina.
3.2 Gestión de herramientas				
No se usa un sistema formal para administrar las herramientas, ni existe un sistema para su mantenimiento efectivo. Se cumple sólo con 1 de los 3 requisitos: especificaciones técnicas, estándares de calidad, o estándar de cantidad.	La planificación y ejecución del mantenimiento de herramientas se hace en base a sensaciones personales. Las herramientas son almacenadas en ambiente adecuado para su preservación. Se cumple con 2 de los 3 requisitos: especificaciones técnicas, estándares de calidad, o estándar de cantidad.	Las herramientas son administradas de manera centralizada manual o por medio de un sistema electrónico. Se realizan inspecciones regulares para asegurar el estado y disponibilidad de las herramientas. Se cumple con los 3 requisitos: especificaciones técnicas, estándares de calidad, y estándar de cantidad.	Las herramientas son administradas electrónicamente. La reserva, entrega y devolución de herramientas es controlado formalmente. Se adapta a casos fuera de horario. Se tiene un sistema estándar para las tareas de mantenimiento y calibración de herramientas.	Los costos por el uso de herramientas son cargados en las órdenes de trabajo. El cumplimiento de la mantenimiento y la condición de las herramientas es monitoreado e informado en los informes mensuales. Requerimientos de Entrenamiento y Licencias son claramente definidas.

3.3 Equipos de Apoyo al mantenimiento				
Existe escasez de EE.AA, perjudicando la ejecución de las actividades de mantenimiento. Gestión deficiente para contar con el apoyo de los equipos de servicio en el momento y lugar adecuado.	No existe escasez de EE.AA, pero sí deficiencias en cuanto a confiabilidad y disponibilidad de éstos.	Correcta disponibilidad de equipos y operarios calificados para su uso. La gestión y coordinación con operaciones permite contar con los EE.AA en el momento y lugar adecuado.	EE.AA de última tecnología cuyas prestaciones otorgan valor agregado a la ejecución del mantenimiento.	Existen medidas de seguridad específicas para el uso de los equipos de servicio.
3.4 Suministro y uso de EPPs				
Los mantenedores no cuentan con todos los EPPs necesarios para el ingreso a mina. Mala disposición del personal frrente al uso de los EPPs, exigencia deficiente por parte de los supervisores.	Se cuentan con todos los EPPs básicos requeridos para el ingreso a mina. Los supervisores dan el ejemplo usando los EPPs y exigiendo su uso.	La calidad de los EPP proporcionados por la empresa, tienen una buena durabilidad. El suministro y reposición de EPPs es sencillo, rápido y sin trabas. Los mantenedores entienden la importancia de los EPPs y los usan.	Los EPPs resultan ser cómodos y no limitan la movilidad de los mantenedores en la ejecución de los trabajos.	Se hace capacitación acerca del correcto uso de los EPPs y los riesgos mitigados.
3.5 Instalaciones de soporte				
Infraestructura deficiente, subdimensionada o mal mantenida. Los servicios básicos y TIC's implementados presentan deficiencias en su calidad o regularidad.	Implementación de todas las instalaciones de soporte necesarias; sin embargo se detectan problemas en su mantenimiento y adecuación a cambios en el contexto laboral (p. ej aumentos de dotación de mantenedores).	Correcta implementación, mantenimiento y mejoramiento de todas las instalaciones soporte fundamentales para el mantenimiento. Instalaciones con integración de los lineamientos de las áreas de Medio ambiente, Seguridad y Salud ocupacional.	Junto a lo anterior, se añade el concepto de comodidad en las instalaciones de soporte (en todos los niveles), influyendo positivamente en el clima laboral y la valoración que siente el personal por parte de la empresa.	Revisión permanente de los requerimientos y percepciones del personal en cuanto a la calidad de las instalaciones de soporte. Constante implementación de nuevas tecnologías como cualidad diferenciadora que aporta valor a las actividades de mantenimiento desarrolladas.

3.6 Estandarización de recursos físicos para PM				
No existe registro formal de los recursos físicos necesarios para la ejecución de la PM. Preparación deficiente de los recursos físicos previo a las actividades de mantenimiento. Repuestos en stock están vinculados parcialmente a APL - BOM en ERP.	En cada pauta se especifican los repuestos a utilizar, además los repuestos en stock están totalmente vinculados a APL - BOM en ERP. Coordinación eficiente con personal de bodegas para la preparación y verificación de los listados de repuestos.	Además se tiene registro formal de los EE.AA necesarios para la ejecución de la PM. Se hace una coordinación eficiente con operaciones para contar con los EE.AA en el momento y lugar adecuados.	A lo anterior se añade el listado de EPP's, herramientas e insumos necesarios para cada PM, existe coordinación con el pañol en la preparación previa. En este nivel se puede indicar que la preparación de todos los recursos físicos es eficiente y efectiva previo a las actividades de mantenimiento.	Se hacen revisiones anuales a los listados de recursos asignados conforme a las sugerencias provenientes del personal o conforme varíen de los recursos disponibles adquisición de EE.AA, herramientas, variaciones en las actividades de PM, etc). Se registran desviaciones del no cumplimiento en la preparación previa de recursos y se toman acciones correctivas al respecto.

Tabla 7.10 Descripción de los Niveles de Madurez relativos a Procedimientos

Inocencia	Conocimiento	Entendimiento	Competencia	Excelencia
4.1 Proceso de mantenimiento				
Predominancia de los trabajos de emergencia, es decir, que se saltan las etapas de planificación y programación de los trabajos. Etapa de análisis es deficiente o inexistente.	Coexistencia de trabajos de emergencia, y trabajos cuyo desarrollo se sigue la secuencia hasta presentar problemas en la etapa de ejecución haciendo necesaria la re-planificación (debido a deficiencias en cualquiera de las etapas hasta allí desarrolladas).	Coexistencia de los dos casos del punto anterior con trabajos que siguen todas las etapas del proceso óptimo de mantenimiento.	Clara predominancia de trabajos que siguen todas las etapas del proceso óptimo de mantenimiento.	El proceso de mantenimiento otorga alto nivel de importancia a la etapa de análisis, de donde derivan planes mejoramiento continuo del proceso.
4.2 Confiabilidad en el diseño de PM				
Las pautas de mantenimiento se limitan a las recomendaciones del fabricante y OEM.	Junto a lo anterior, se suma la complementación con pautas de mantenimiento usadas por otras empresas del área. Aplicación incipiente de herramientas estadísticas tales como análisis de Pareto y Jack-Knife.	Se incluye el aprovechamiento del capital intelectual mediante sistemas formales de sugerencias y el desarrollo de reuniones técnicas coordinadas para la optimización de las pautas. Aplicación de herramientas de confiabilidad como el RCA y FMEA.	Se complementa la optimización de las pautas mediante modelaciones estadísticas, el tratamiento que reciben los sub sistemas del equipo se comprueba con la tasa de falla en el tiempo (distribución de Weibull).	Junto a los criterios anteriores, se añade el análisis de minimización del costo global en función del tiempo para determinar las frecuencias de mantenimiento.

4.3 Control de riesgos críticos				
La rigurosidad con que se aplican los controles de riesgos críticos queda a criterio de los supervisores de la ejecución del mantenimiento. El enfoque de los procedimientos es para evitar juicios legales o evitar dañar los activos. Los controles son considerados como limitantes del trabajo del personal.	La mayoría de los procedimientos nacen de manera reactiva. Su objetivo es evitar que se repitan incidentes personales. Por lo general, se consideran como un obstáculo a la productividad en la ejecución del mantenimiento.	Los procedimientos de seguridad sirven como barreras para evitar cualquier tipo incidente. Son contemplados en los requisitos de capacitación y competencia. Personal mantenedor comprometido con el correcto uso de los controles críticos.	Se ha completado un análisis de seguridad y una evaluación de riesgos para identificar las tareas que necesitan procedimientos estándares. Se realizan esfuerzos por mejorar procedimientos que son difíciles de implementar y respetar, involucrando al personal que completa las tareas.	Los procedimientos de seguridad son considerados y respetados como mejores prácticas por todos los niveles del personal en mantenimiento Mina. El incumplimiento de los procedimientos de seguridad es monitoreado a través de canales claramente definidos. Los procedimientos son refinados en cuanto a su eficiencia continuamente.
4.4 Administración del tiempo de detención de equipo				
La programación del tiempo total de detención de equipo es arbitraria, pues no considera el time on tool de cada PM.	La programación del tiempo total de detención de equipo se hace tomando como referencia el time on tool estimado de cada PM.	Junto al time on tool de las pautas por especialidad de cada PM, se considera un delta de tiempo para las actividades no productivas como colación o tronaduras.	Se sabe con certeza las actividades no productivas que acaecerán (cambio de turno, colación, tronadura, etc). Se coordinan los trabajos en conocimiento de aquello.	Se revisa el estándar de tiempo de detención con frecuencia semestral, o cada vez que acontezcan cambios en el diseño de las pautas de mantenimiento o cambios en la dotación asignada para cada PM.
4.5 Proceso de cambio de turno				
No se tiene un manejo del tiempo destinado al cambio de turno. Se utiliza el tiempo para diferentes actividades. Tiempo destinado es excesivo y utilizado de forma poco eficiente.	No existe un estándar establecido para el proceso de cambio de turno. El tiempo sí es usado en el cambio de turno, pero es excesivo y poco eficiente.	No existe un estándar establecido para el proceso de cambio de turno. Pero sí un cuidado por no abusar del tiempo usado en cambio de turno.	Existe un estándar establecido para el proceso de cambio de turno. El cual no es aplicado de manera uniforme. Pero sí existe un cuidado por el tiempo usado para el proceso de cambio de turno.	El proceso de cambio de turno sigue un estándar, el cual es respetado a cabalidad. Se usa el tiempo para aquello que está destinado.

4.6 Manejo de energía almacenada y bloqueo				
No existe un procedimiento de Bloqueo.	Existe un Procedimiento Formal de Bloqueo, sin embargo no ha sido comunicado a todo el personal de mantenimiento Mina.	Existe un Procedimiento Formal de Bloqueo, ha sido comunicado formalmente a todo el personal de mantenimiento Mina, pero se detecta un gran número de incumplimientos a éste, lo que indica que el personal no lo ha internalizado aún.	El Procedimiento de Bloqueo es conocido y bien administrado por todo el personal de mantenimiento Mina. No se detectan incumplimientos a éste.	El Procedimiento de Bloqueo es conocido además por todos los trabajadores contratistas y es bien administrado por ellos. El Procedimiento reside en ERP y se entrega con cada OT programada.

Tabla 7.11 Descripción de los Niveles de Madurez relativos a Sistemas

Inocencia	Conocimiento	Entendimiento	Competencia	Excelencia
5.1 Órdenes de Trabajo				
Coexisten órdenes de trabajo manuales y trabajos de mantenimiento no documentados.	OT's soportadas en sistema informático. OT's listan las actividades a realizar con certeras aportaciones en base a experiencia de quienes las confeccionan. Deficiencias en la asignación de recursos.	Junto a la detallada descripción de actividades, se hace una adecuada selección de la mano de obra (cantidad total de mantenedores y sus especialidades) para la ejecución de los trabajos.	Se incluye asignación de recursos físicos tales como materiales, EE.AA, herramientas e insumos.	El uso de esta facilidad ha logrado mejorar la planeación, la programación y ejecución del mantenimiento en el tiempo
5.2 KPI's de resultado				
Existe registro básico de indicadores como contadores del número y tipo de fallas en el tiempo, control de costos con respecto al presupuesto.	Se han implementado los Indicadores RAMS (Reliability, Availability, Maintainability and Safety). Por su parte, se han implementado KPI's de costos directos de mantenimiento.	El proceso de evaluación de los registros ha sido definido. KPI's de desempeño de equipos y de costos han sido vinculados. En efecto, la revisión de KPI's y planes de mejoramiento son abordados en manera conjunta por el área de mantenimiento.	Integración de KPI´s entre las áreas de mantenimiento y producción. Existe un modelo interactivo -Árbol de Valores- que ilustra el impacto de la Administración de Activos en operaciones (OEE). Implementación de costos indirectos de mantenimiento.	Revisión anual del listado de KPI´s administrados. La revisión de éstos es referenciada a empresas World Class.
5.3 KPI's de proceso				
No se aplica esta facilidad del Mantenimiento.	Implementación incipiente de KPI's de procesos para el monitoreo de algunas etapas del proceso de mantenimiento. Se hace foco en la etapa de ejecución del mantenimiento.	La evaluación de los registros de los KPI´s ha sido definido y se monitorean todas las etapas del proceso de mantenimiento. Permitiendo detectar desviaciones en las distintas etapas del mantenimiento.	Se evidencia un cumplimiento cabal de las etapas del mantenimiento. La revisión de KPI's y el desarrollo de planes de mejoramiento son abordados en manera conjunta por el área de mantenimiento.	Revisión anual del listado de KPI´s administrados. La revisión de éstos es referenciada a empresas World Class.

5.4 Manejo de bibliotecas técnicas				
No se usa esta Facilidad en el área de mantenimiento Mina.	Se tienen documentos en formato físico, pero no se ha destinado un lugar adecuado para su manejo. Sólo se registran algunos documentos en el sistema.	Se ha dispuesto un lugar apropiado para el manejo de documentos en formato físico. Se registran algunos documentos en el sistema, pero pocos están vinculados a las entidades de ERP y raramente están disponibles en línea.	El manejo de documentos en formato físico se rige por un sistema que asegura su orden y preservación, y son de fácil acceso para todo trabajador del área que lo requiera. Los documentos más importantes se registran en el sistema y se vincula con el equipo adecuado en ERP y está disponible para revisión en línea.	Todos los documentos pertinentes se registran en el sistema, vinculados a las entidades de ERP adecuadas y están disponibles para revisión en línea.
5.5 Auditoría de Gestión del mantenimiento				
No se usa esta Facilidad en el área de mantenimiento Mina.	En forma esporádica y no reglamentada se realizan auditorías externas, que aportan valiosos diagnósticos pero cuyos planes de mejora tienen escasa o nula repercusión en la gestión del mantenimiento.	Se desarrollan auditorías (externas o internas), a partir de las cuales se configuran proyectos de mejora estableciendo plazos y responsables.	Se ha establecido el desarrollo de auditorías internas bajo una frecuencia establecida. La evaluación mide el mantenimiento contemplando costos, seguridad y producción. La efectividad de los planes de mejora en la gestión se miden mediante evaluación pre y post test.	Auditorías internas alineadas a los objetivos organizacionales del Balanced Scorecard, se adecúa la herramienta conforme existan cambios en los objetivos a lograr. El personal se involucra integral y colaborativamente en el diseño y seguimiento de los planes de mejora.

7.2.3 Registro de Datos

El registro de información se realiza sobre un instrumento generado en base a revisión de la literatura y de instrumentos que han demostrado ser válidos y confiables en las auditorías del mantenimiento.

Se trata de una Matriz de evaluación con los 30 puntos de la auditoría y para cada uno se permite registrar su nivel de madurez en conforme a una calificación del 1 al 5 correspondiente a los niveles: Inocencia, conocimiento, entendimiento, competencia, excelencia. Mientras, los puntos son agrupados según los aspectos principales del OIM: Estrategias, recursos humanos, recursos físicos, procedimientos, sistemas.

La calificación de cada punto particular influirá en la calificación general del aspecto principal, por lo tanto el correcto uso de la matriz es fundamental para el posterior procesamiento de datos y análisis de resultados de la auditoría.

El instrumento de evaluación debe considerarse sólo como una herramienta de registro de datos y nunca debe restringir la extensión de las actividades de auditoría, que pueden cambiarse como resultado de la información recopilada. En ese sentido es importante tomar registro de los hallazgos surgidos durante la realización de la auditoría y que no tengan cabida en la matriz de evaluación. [30]

Ingresar el valor 1 en las celdas verdes que mejor describen la situación actual

Escala de evaluación del nivel de madurez

		(1) Inocencia	(2) Conocimiento	(3) Entendimiento	(4) Competencia	(5) Excelencia
1	**Estrategia**					
1.1	Estrategia de mantenimiento alineada con producción			1		
1.2	Status del mantenimiento				1	
1.3	Análisis funcional			1		
1.4	Análisis de criticidad de los equipos			1		
1.5	Gestión de riesgos					1
1.6	Coordinación con operaciones para ejecución de PM			1		
2	**Recursos humanos**					
2.1	Organigrama y estructura funcional			1		
2.2	Política de desarrollo del personal y capacitación				1	
2.3	Gestión del cambio		1			
2.4	Dotación de mantenedores para PM		1			
2.5	Calidad en la ejecución de PM			1		
2.6	Homogeneidad de los turnos			1		
2.7	Administración del desempeño				1	

3	**Recursos físicos**					
3.1	Política de inventario			1		
3.2	Gestión de herramientas		1			
3.3	Equipos de Apoyo al mantenimiento				1	
3.4	Suministro y uso de EPPs				1	
3.5	Instalaciones de soporte				1	
3.6	Estandarización de recursos físicos para PM		1			

4	**Procedimientos**					
4.1	Proceso de mantenimiento			1		
4.2	Confiabilidad en el diseño de PM		1			
4.3	Control de riesgos críticos				1	
4.4	Administración del tiempo de detención de equipo	1				
4.5	Proceso de cambio de turno			1		
4.6	Manejo de energía almacenada y bloqueo					1

5	**Sistemas**					
5.1	Órdenes de Trabajo			1		
5.2	KPI's de resultado			1		
5.3	KPI's de proceso			1		
5.4	Manejo de bibliotecas técnicas			1		
5.5	Auditoría de Gestión del mantenimiento	1				

7.3 Actividades de Realización de la Auditoría

Las actividades de realización de auditoría deben ser direccionadas hacia la determinación de los niveles de madurez de los puntos a evaluar, esta etapa debe considerar el aporte de los especialistas pertenecientes a las áreas de Planificación, Ingeniería, y de Ejecución del mantenimiento; durante la realización el auditor debe relacionarse con múltiples ingenieros y revisar varias fuentes de información que le permitan conocer en profundidad la forma en que se gestiona el mantenimiento.

La realización de la auditoría debe regirse por el principio de la independencia: la observación y/o medición de los fenómenos debe ser imparcial y las conclusiones de la auditoría deben ser objetivas. Es importante que el auditor no permita que sus temores, creencias, deseos y tendencias influyan en los resultados de la auditoría o interfieran en los procesos; de igual manera debe evitarse cualquier influencia de terceros. [2]

Se debe realizar una reunión de apertura cuando sea apropiado con los responsables de las funciones o procesos que se auditarán, el propósito de la reunión es:

- Confirmar que auditado y auditor están de acuerdo con el plan de auditoría.
- Presentación del auditor.
- Asegurar que se pueden llevar a cabo todas las actividades de auditoría planificadas.

Las actividades relacionadas con la recopilación de información son variadas, y si bien se trata de un proceso laborioso, el llevarlo a cabo de manera responsables permite un conocimiento acabado de cada uno de los puntos para realizar una evaluación certera. [32]

- Visitas a las instalaciones, talleres y oficinas del área de mantenimiento para conocer las actividades desarrolladas en cada una de ellas.
- Reuniones y debates con los profesionales directa o indirectamente involucrados en el proceso de mantenimiento.
- Consultas a la documentación en uso y determinación del flujo de información existente.
- Consultas a los usuarios de los servicios de mantenimiento (producción).
- Recolección y análisis de normas y procedimientos de informatización de la empresa.

7.4 Procesamiento de Datos

El procesamiento de datos se realiza a partir de las calificaciones registradas en la matriz de evaluación. Donde los aspectos peor evaluados serán aquellos que por lógica deben ser tratados en la propuesta de mejora, no sin antes haberlo acordado con el auditado.

Como se ha mencionado en múltiples ocasiones, la evaluación se respalda en una serie de evidencias que tras un análisis respectivo dan paso a los eventuales hallazgos de la auditoría.

7.4.1 Análisis de Resultados

Las calificaciones registradas en la matriz de evaluación se presentan en un set de gráficos, agrupados según los 5 aspectos principales de la metodología OIM. Cada uno de los gráficos merece una revisión especial, la lógica indica que los aspectos de color naranjo o rojo (los peor evaluados) delatan las falencias o carencias que darán paso a la Propuesta de mejora.

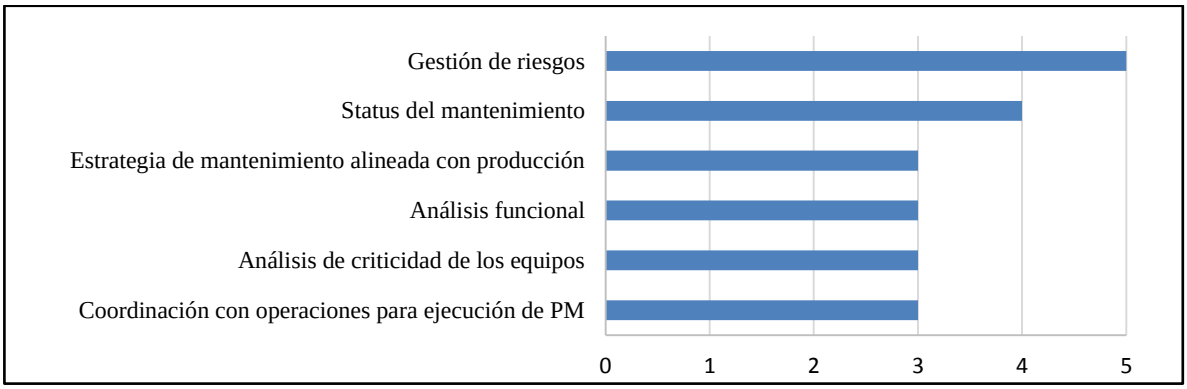


Figura 7.4 Resultados tras evaluación del Aspecto n°1: Estrategias

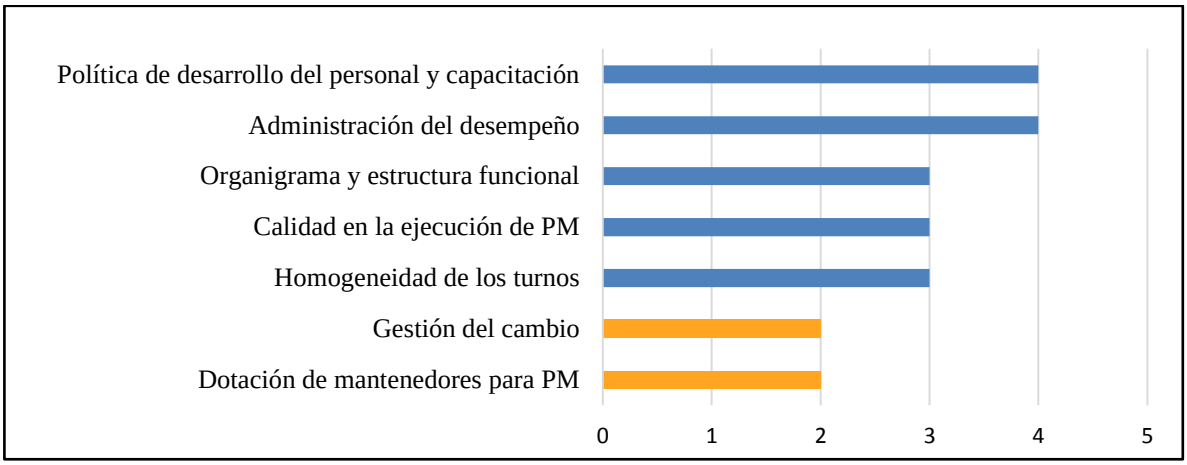


Figura 7.5 Resultados tras evaluación del Aspecto n°2: Recursos Humanos

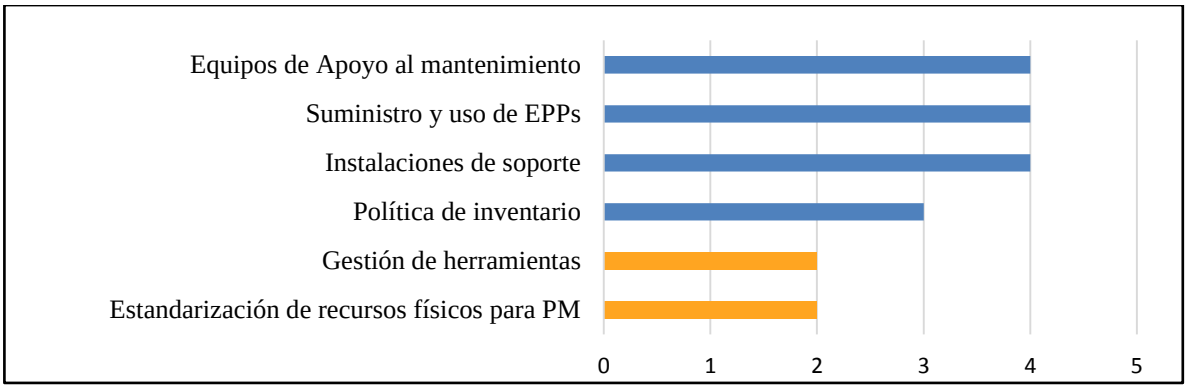


Figura 7.6 Resultados tras evaluación del Aspecto n°3: Recursos Físicos

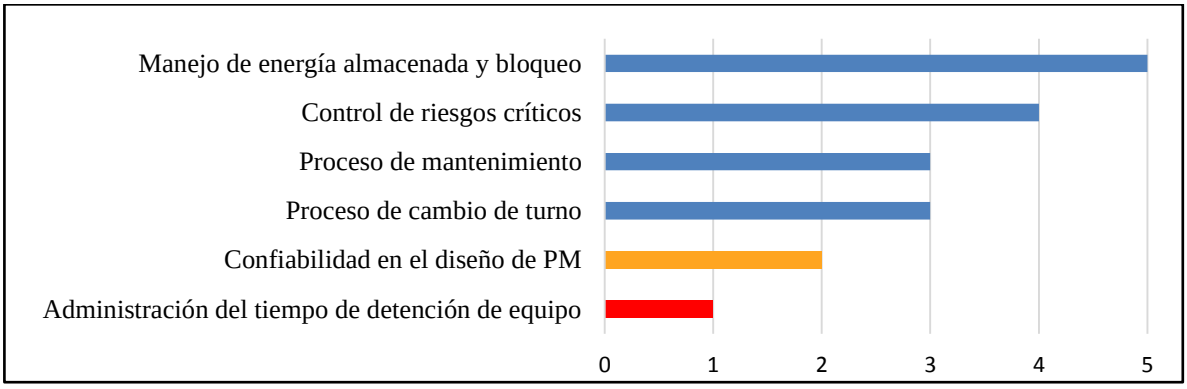


Figura 7.7 Resultados tras evaluación del Aspecto n°4: Procedimientos

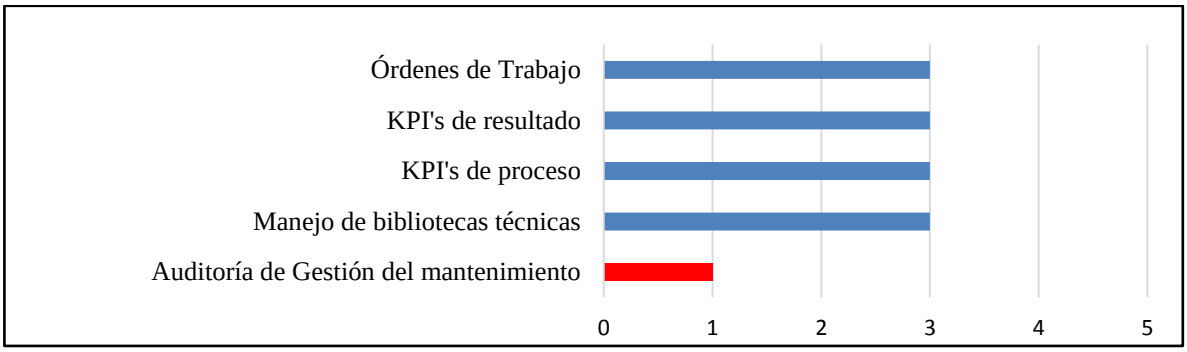


Figura 7.8 Resultados tras evaluación del Aspecto n°5: Sistemas

La valoración de los 5 aspectos principales se determina a partir de los promedios de los aspectos individuales evaluados. Los resultados se plasman en un gráfico de radar, donde la escala de valores (niveles de madurez) es representada mediante pentágonos concéntricos donde el punto es el nivel de madurez Inocencia y hacia afuera están los niveles superiores.

Los resultados de la auditoría originan un polígono de color azul. Mientras que el pentágono de color rojo representa el nivel de madurez deseado o "target", la distancia entre los vértices de las figuras azul y roja sería la brecha entre el nivel de madurez real versus el deseado.

Los aspectos con peor evaluación son los que deberán ser tratados primero, a fin de evidenciar mejoras y disminuir la mencionada brecha. Sin embargo, la decisión acerca de cuál aspecto debe ser mejorado debe ser tomada por los encargados del mantenimiento.

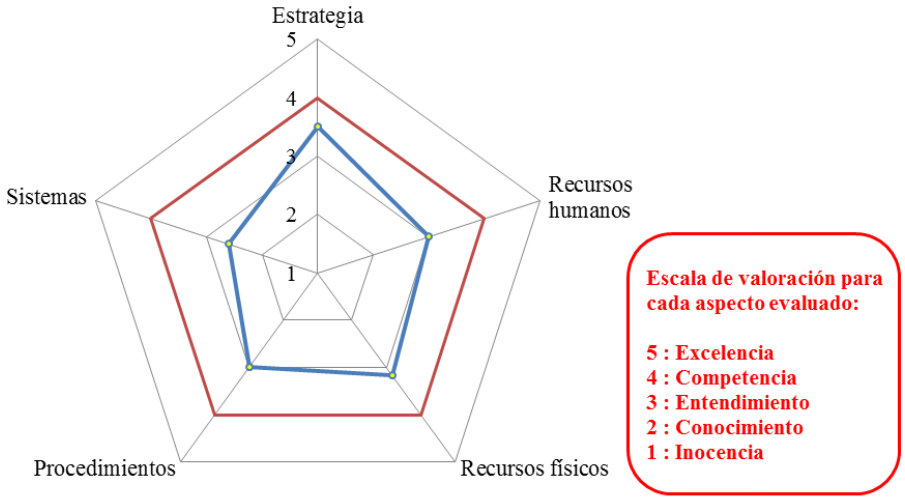


Figura 7.9 Gráfico Radar con el Resumen de la Evaluación de los 5 Aspectos Principales del OIM

7.4.2 Detección de Hallazgos

Las evidencias recabadas durante la auditoría deben ser contrastadas contra los criterios de la auditoría a fin de determinar el grado de conformidad en los puntos a evaluar. Las no conformidades deben ser revisadas con el auditado a fin de informar los resultados del diagnóstico, como también para validar las evidencias que sustentan la evaluación.

Como se ha mencionado anteriormente, la herramienta de evaluación busca ser integral en cuanto pretende abarcar todas las áreas relacionadas con los objetivos y alcance de la auditoría. Sin embargo, la herramienta no deja de ser limitada pudiendo existir situaciones de interés que sean detectadas durante la realización de la auditoría y que no estén cubiertas por ésta. Se trata de los hallazgos y que deben ser considerados en el análisis pues pueden derivar en oportunidades de mejora.

8 Propuesta de Mejora

Debe entenderse como Propuesta de mejora, a la presentación formal de un plan de mejora para que sea aceptado por la organización y sea llevado a cabo bajo las disposiciones establecidas o bajo ciertas correcciones de rigor. Una Propuesta tiene el potencial de derivar en un Proyecto de Mejoras.

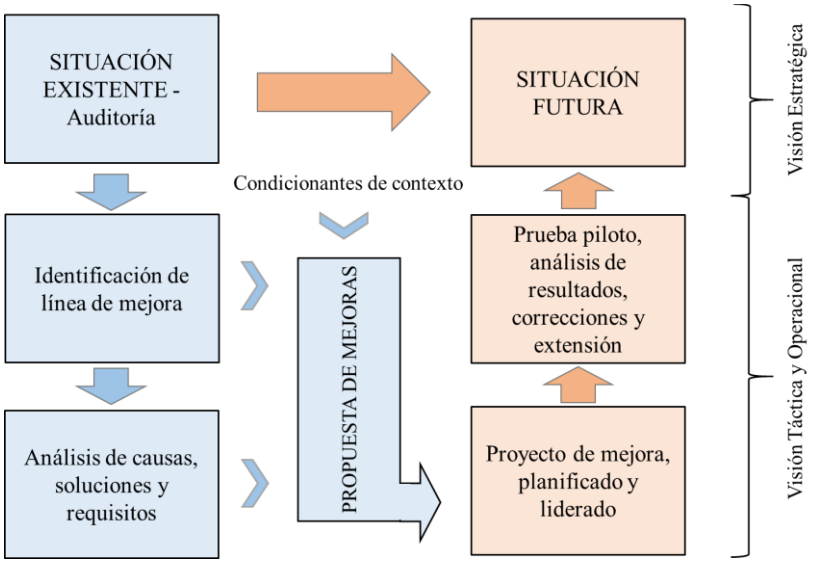


Figura 8.1 Auditoría y Propuesta para el Mejoramiento del Mantenimiento (Francisco González. 2004)

En la Figura 8.1 se presentan dos colores, el azul coincide con el alcance del Trabajo de Título y el color rojo corresponde al Proyecto que resultaría de la implementación de la Propuesta de mejora. En términos generales, con la Auditoría se determina la realidad de la situación vigente a partir de la cual se identifica la línea de mejora y se orienta el análisis de las causas raíces, sentando las bases para la elaboración de la Propuesta cuya implementación conduciría al logro de la situación futura esperada.

En la ilustración se advierte además la existencia de dos visiones. La visión estratégica, que tiene la facultad de dirimir hacia donde debe encaminarse la gestión del mantenimiento fijando los lineamientos y objetivos empresariales basándose en condicionantes del contexto interno y externo. Y la visión táctica-operacional que se encarga de la administración intermedia y de la ejecución de los planes de mantenimiento, cuyo conocimiento y manejo del contexto interno resultan clave para el éxito en la implementación de las mejoras. [21]

La siguiente Propuesta de mejora es presentada siguiendo la estructura establecida por la Norma ISO 55002:2014.

8.1 Identificación de las Opciones de Mejora

Las oportunidades de mejora son las identificadas tras el Análisis de Resultados de Auditoría (ver 7.4.1) y la Detección de Hallazgos (ver 7.4.2). Entre los aspectos evaluados, aquellos que recibieron la evaluación más baja son:

- "Administración del tiempo de detención de equipo" y
- "Auditoría de Gestión del mantenimiento"

Ambos fueron ubicados en el nivel de madurez de Inocencia, por lo tanto tienen el margen de mejora más amplio y su tratamiento tiende a ser más urgente que el resto.

Ambos aspectos son analizados, primero en forma individual para determinar las necesidades asociadas a la eventual implementación de una propuesta de la mejora, indicando sus posibles beneficios y su potencial de realización. Luego, se analizan en forma grupal para establecer comparativamente cuál de las dos opciones de mejora sería la más apropiada de llevar a cabo.

Aspecto n°1: Administración del tiempo de detención de equipo

La Descripción del aspecto es: Existencia de un estándar en los tiempos de detención de los equipos para la realización de las actividades de mantenimiento preventivo, permitiendo la devolución del equipo a operaciones en condiciones operativas y en el momento establecido. (Extraído de 7.2.1)

El correcto desarrollo de este aspecto permite, por una parte, el correcto aprovechamiento del tiempo destinado para operar y así cumplir con los planes productivos. Y por otra, aportar en la mantenibilidad del equipo al contar con un estándar para la ejecución del mantenimiento de los equipos.

Una propuesta abocada a la estandarización de los tiempos de ejecución de PM, cuenta con un potencial de realización bastante favorable. Pues en Minera Centinela, la estructura organizacional de Mantenimiento Mina cuenta con un equipo analista de flota, el cual está

dispuesto y capacitado para el estudio de mejoras en la ejecución de los trabajos de mantenimiento.

Aspecto n°2: Auditoría de Gestión del mantenimiento

La Descripción del aspecto es: Herramientas de auditoría que aplicadas en forma sistemática permiten comprobar el correcto desarrollo de la gestión y proponer los correspondientes planes de mejora para la consecución de los objetivos estratégicos. (Extraído de 7.2.1).

La implementación de este aspecto persigue el involucramiento del personal de mantenimiento hacia un trabajo de excelencia que responda a los objetivos establecidos en la estrategia de mantenimiento.

La Política de Gestión de Activos de Minera Centinela establece para este aspecto la ejecución anual de auditoría por algún organismo certificador de reconocido prestigio. Dicha indicación actualmente no es aplicada en el área de Mantenimiento mina.

El eventual diseño de una herramienta de auditoría interna precisa de un acabado análisis del Modelo de Gestión del Mantenimiento (ver 6.2.1) y de las estrategias de mantenimiento, haciendo hincapié en los objetivos trazados para cada una de las áreas a auditar.

8.1.1 Elección

Tras la identificación y análisis individual de los aspectos que pudiesen derivar en opciones de mejora, éstos son sometidos luego a un análisis comparativo a partir del cual se determinará la elección del aspecto sobre el cual se desarrollará la Propuesta de mejora.

Análisis de Beneficio vs Dificultad de implantación

Para el análisis se utiliza una matriz comparativa, en el eje horizontal establece una escala de dificultad de implantación y en el eje vertical una escala de beneficio. Por lo tanto cada alternativa de mejora será ubicada en la matriz según estos criterios, el método es sencillo de interpretar y su fiabilidad va en directa relación con la responsabilidad con que se desarrolle el análisis previo.

La cuantificación del beneficio, obedece a criterios económicos tal como el tiempo necesario para el retorno de la inversión. Criterios no-económicos, tal como los beneficios verificables en indicadores de gestión; ó beneficios intangibles como la mejora en las relaciones con las comunidades o entre los trabajadores.

Por su parte, la dificultad de implantación contemplará factores diversos tal como la dificultad de obtener recursos humanos o recursos físicos, resistencias al cambio tras modificar los antiguos sistemas de trabajo, falta de conocimiento ante la implementación de innovaciones, etc.

Si las capacidades y recursos de la empresa lo permiten y/o si las opciones de mejora tienen un vínculo entre sí, se podría desarrollar más de una medida ubicada en la región conveniente del gráfico mediante una propuesta de mejora conjunta.

Se recomienda que, en procesos de cambio y mejora, se empiece siempre por un área o una iniciativa que tenga el éxito bastante asegurado, con ello se conseguirá varios efectos: El primero es motivar al equipo técnico quienes verán en un cierto corto plazo y con un esfuerzo no excesivo resultados positivos. En segundo lugar que los agentes involucrados motiven al resto del personal, pues su ejemplo sirve de precedente para la implementación de nuevos proyectos o la implantación en otras áreas con mayor facilidad.

Ponderando aquello, las opciones de mejora ubicadas en la parte superior izquierda del gráfico son las más prioritarias y por el contrario las opciones menos prioritarias son las ubicadas en la parte inferior derecha. El uso de esta herramienta hace que el personal no sienta que la empresa adopta medidas sólo en función el aspecto económico, sin considerar la dificultad de implantación. [21]

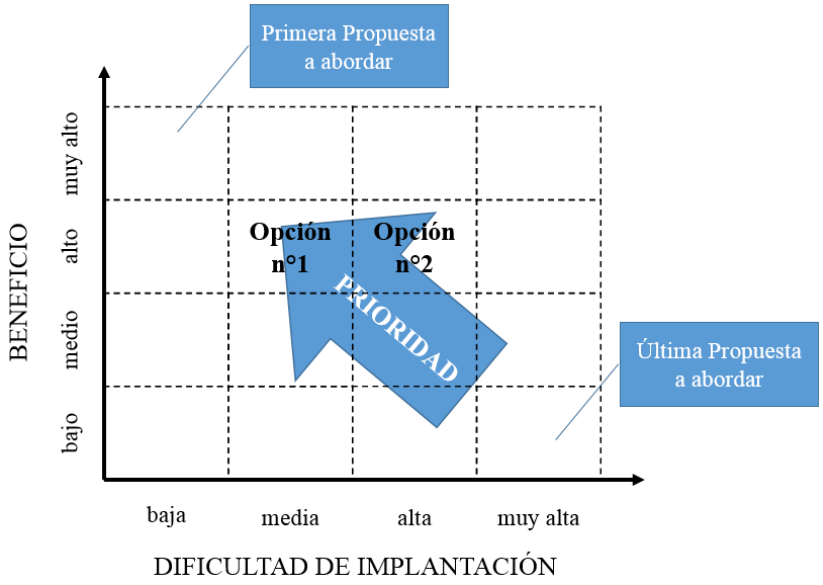


Figura 8.2 Matriz de Beneficio - Dificultad de Implantación (González. 2004)

El análisis comparativo de la Figura 8.2 es realizado en reunión con los niveles estratégico y táctico de la S.I de Gestión y S.I de Mantenimiento mina. Se resuelve que, en virtud de las necesidades de la empresa y en base a su potencial de realización, el aspecto más conveniente sobre el cual realizar la Propuesta de mejora sea la opción n°1: "Administración del tiempo de detención de equipo".

La elección haya su justificación en la facilidad de implantación, pues la implementación de la opción n°2: "Auditoría de Gestión del mantenimiento", requiere de personal externo enfocado a la realización de una auditoría basada en el Modelo de Gestión de Activos recogiendo los objetivos y responsabilidades de cada área, y luego la elaboración de los planes correctivos sobre las deficiencias identificadas. Con lo cual el percibimiento de los beneficios y el éxito de la Propuesta supone un horizonte de tiempo mucho mayor.

La superintendencia de Mantenimiento Mina, específicamente en el área de mantenimiento de las flotas de transporte (CAEX) ha desarrollado un estudio del tiempo de detención de equipos para ordenar el trabajo de cada PM, esta facilidad es aplicada y mejorada constantemente en el área. En consecuencia, la Propuesta de mejora consistirá en el desarrollo de un estándar para ordenar los tiempos de ejecución del mantenimiento preventivo para las Pautas de Mantenimiento de la flota de palas eléctrica P&H 4100 XPC.

8.2 Diagnóstico

El diagnóstico de la situación problema del aspecto “Administración del tiempo de detención de equipo”, tal como se ha mencionado anteriormente, se inicia con la realización de la auditoría y con la detección de hallazgos. Pero una vez que el aspecto es elegido como opción de mejora se profundiza su análisis en la búsqueda de causas raíces.

El nivel de madurez revelado mediante la auditoría es de Inocencia señalando que: “La programación del tiempo total de detención de equipo es arbitraria, pues no se ha medido el time-on-tool de cada PM.” (Extraído de 7.2.2).

Dado que la Propuesta de mejora está enfocada a la ejecución del mantenimiento preventivo es necesario hacer una descripción de las Pautas de Mantenimiento, pues a partir de las actividades listadas en estos documentos es que se configurará la estandarización de los tiempos de ejecución.

Pautas de Mantenimiento

Las Pautas de Mantenimiento son procedimientos de trabajo que buscan que las tareas se realicen siempre de la misma forma y que la información pueda transmitirse.

En los procedimientos se detalla cómo realizar determinados trabajos técnicos, como son revisiones, cambios de elementos, calibración de útiles y herramientas, formas de actuación en determinadas circunstancias, etc. Estos suelen tener, al menos, los siguientes apartados [11]:

1. Objeto.
2. Alcance.
3. Responsabilidades.
4. Definiciones.
5. Requisitos de Seguridad y Medio Ambiente.
6. Herramientas, materiales y repuestos necesarios.
7. Desarrollo.
8. Inspecciones y pruebas.
9. Registros.

En Minera Centinela, se han desarrollado 3 tipos de Pautas de Mantenimiento para las palas eléctricas P&H 4100 XPC, éstas difieren en contenido y extensión en función de las horas acumuladas de operación del equipo registradas en el horómetro.

Tabla 8.1 Tipos de Pautas de Mantenimiento para palas eléctricas P&H de Minera Centinela

Tipo de pauta	Frecuencia	Duración
Pasos	500 (hrs)	14 (hrs)
Intermedia	250 (hrs)	6 (hrs)
Inspección diaria	Todos los días	1 (hr)

Los Pasos son 4 en total y se ejecutan secuencialmente bajo una frecuencia de operación de 500 (hrs) acumuladas, denominándose Paso n°1, n°2, n°3 y n°4 que corresponden a los pasos de 500, 1000, 1500 y 2000 (hrs) respectivamente. Éstos se ejecutan en forma alternada con la Pauta Intermedia o más conocida como Pauta de 250 (hrs) obedeciendo el orden dispuesto en la Figura 8.3.

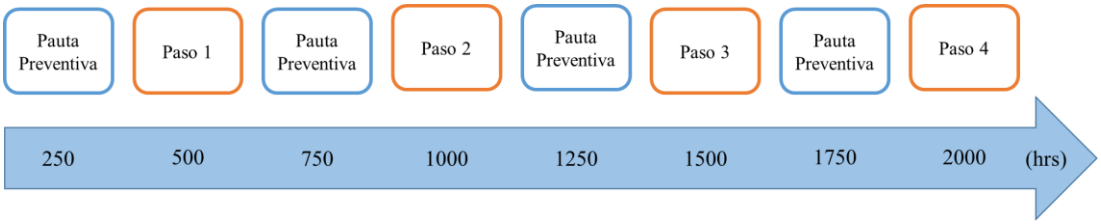


Figura 8.3 Secuencia de realización de Pautas de Mantenimiento

Los 4 Pasos y la Pauta de 250 (hrs) se componen de una serie de pautas por especialidad, reciben ese nombre porque son atendidas por los mantenedores en función de su especialidad. En términos generales primero se ejecuta la pauta dinámica, que corresponde a un chequeo con el equipo en movimiento para detectar desviaciones en su funcionamiento. Luego se des-energiza el equipo para dar inicio a la ejecución de las pautas por especialidad, para terminar con las pruebas finales para entrega del equipo, siendo un operador quien ejecuta este último punto.

Tabla 8.2 Contenido de las Pautas de Mantenimiento: Pasos y Pauta de 250 (hrs)

Tipo de Pauta	Pautas por especialidad
Paso	Pauta Dinámica
	Pauta de Lubricación
	Pauta Estructural
	Pauta Mecánica
	Pauta Eléctrica
	Pruebas finales de entrega
Pauta de 250 (hrs)	Pauta Dinámica
	Pauta de Lubricación
	Pauta Estructural
	Pauta Eléctrica

En forma anexa, junto a cada Paso o Pauta de 250 (hrs), se añade la bitácora del operador. En este documento, el operador del equipo hace un listado de observaciones o desperfectos detectados durante la operación y que deben ser atendidas por los mantenedores al momento de la ejecución.

Por su parte, la Pauta de Inspección Diaria se divide en las partes del equipo a chequear. Se dedica especial atención a la verificación del desgaste de dientes del balde "Gets", porque con la operación tienden a deteriorarse y desprenderse, con el riesgo que llegar hasta los chancadores ocasionando problemas en los equipos y afectando la continuidad de la producción.

Tabla 8.3 Contenido de la Pauta Diaria

Tipo de Pauta	Partes del Equipo
Pauta Diaria	Balde
	Sala de Máquinas
	Sistema de Lubricación
	Rodado
	Motores
	Gets

La flota de palas eléctricas se compone de 4 palas P&H modelo 4100 XPC. Existen leves diferencias entre ellas debido a que fueron adquiridas en distintos años, por lo tanto las Pautas de Mantenimiento se diseñan en función de esas diferencias. Es así como se distinguen dos grupos, las palas 01, 02 y 03 (adquiridas en 2011) son atendidas con un set de Pautas de Mantenimiento en común, mientras que la pala 07 (adquirida en 2013) es atendida con un set individualizado.

Producto del análisis de las Pautas de Mantenimiento y del "work-pack" asociado a su ejecución, se evidenció que no existía una secuencia establecida de las actividades a ejecutar ni un estándar detallado de sus tiempos de ejecución. Un análisis más profundo evidenció que en las Pautas de Mantenimiento existe duplicidad de actividades y tareas mal clasificadas (por ejemplo actividades de lubricación escritas en la sección eléctrica). Todo ello suma precedentes clave para la Propuesta de mejora.

Programación de Pautas de Mantenimiento

Siguiendo con el proceso de diagnóstico, una vez que ya se han identificado los aspectos principales de la estrategia de mantenimiento y que se han caracterizado las Pautas de Mantenimiento, se analiza la programación de los trabajos. Pues para lograr los resultados esperados de los planes de mantenimiento preventivo se debe hacer una programación efectiva de los mismos.

Se revisaron los programas semanales presentes en los registros computacionales de la empresa, específicamente los programas comprendidos entre los meses de febrero y septiembre de 2016 (no se dispone de registros anteriores).

Respecto de la programación de los Pasos, se evidenció que los tiempos asignados no siguen lo establecido por la estrategia de mantenimiento, pues no siempre se programan 14 horas de ejecución (ver Figura 8.4)

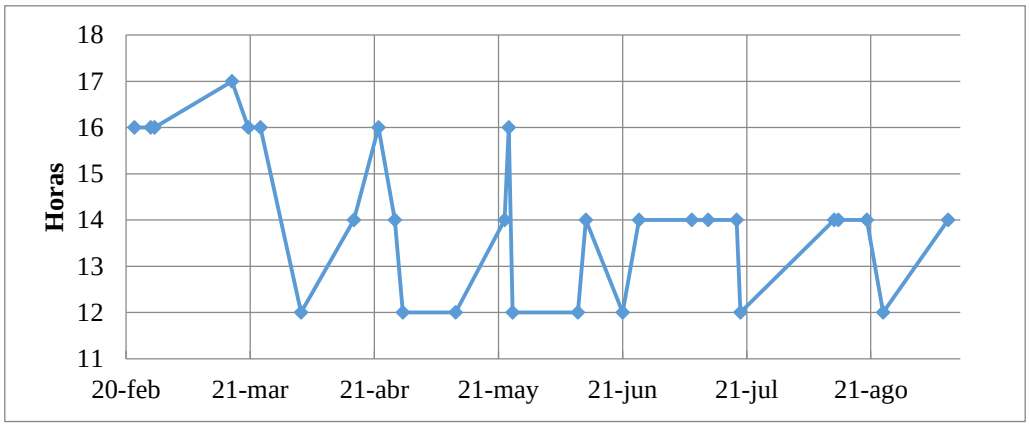


Figura 8.4 Tiempo programado para los Pasos

De igual manera, la dotación programada para la realización de los Pasos no sigue un estándar en particular. El total de mantenedores oscila entre 3 y 6, el número de mantenedores mecánicos oscila entre 1 y 4, y el número de mantenedores eléctricos oscila entre 1 y 2 (ver Figura 8.5).

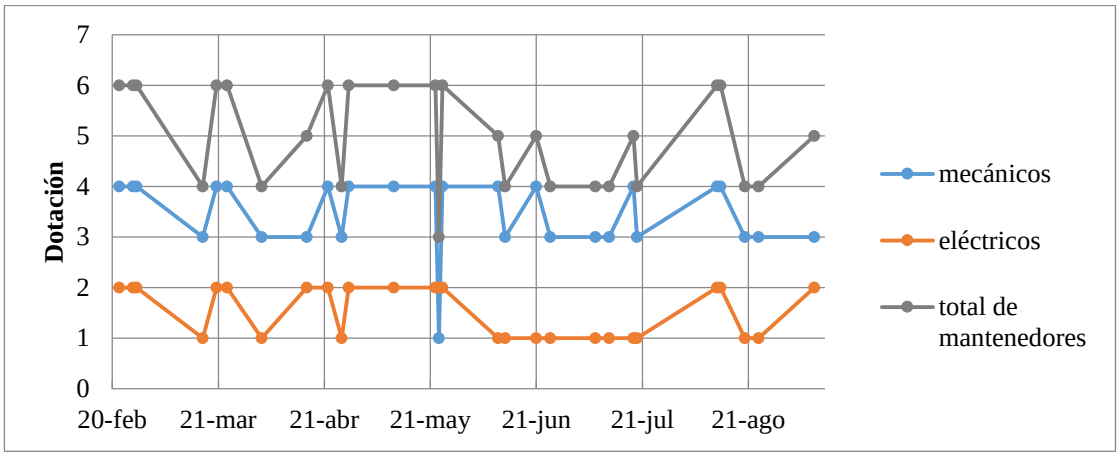


Figura 8.5 Dotación de Mantenedores para los Pasos

Respecto de la programación de la Pauta de 250 (hrs), se evidenció que los tiempos tienden a regirse por lo establecido en la estrategia, con una duración de 6 horas. Pero se detectó una situación aún más preocupante: La Pauta de 250 (hrs) no se programó por un periodo de 3 meses dentro del periodo analizado (ver Figura 8.6). Por lo tanto nuevamente no se cumple con los dictámenes de la estrategia de mantenimiento.

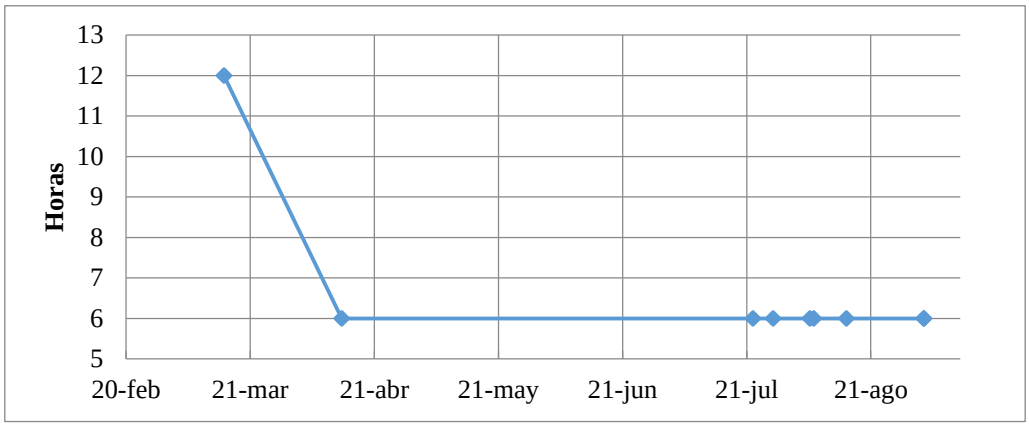


Figura 8.6 Tiempo programado para Pauta de 250 (hrs)

Respecto a la dotación programada para la Pauta de 250 (hrs) se replica la misma situación. No se sigue un estándar particular, pues el total de mantenedores oscila entre 4 y 5, el número de mantenedores mecánicos oscila entre 2 y 3, y el número de mantenedores eléctricos oscila entre 1 y 3 (ver Figura 8.7).

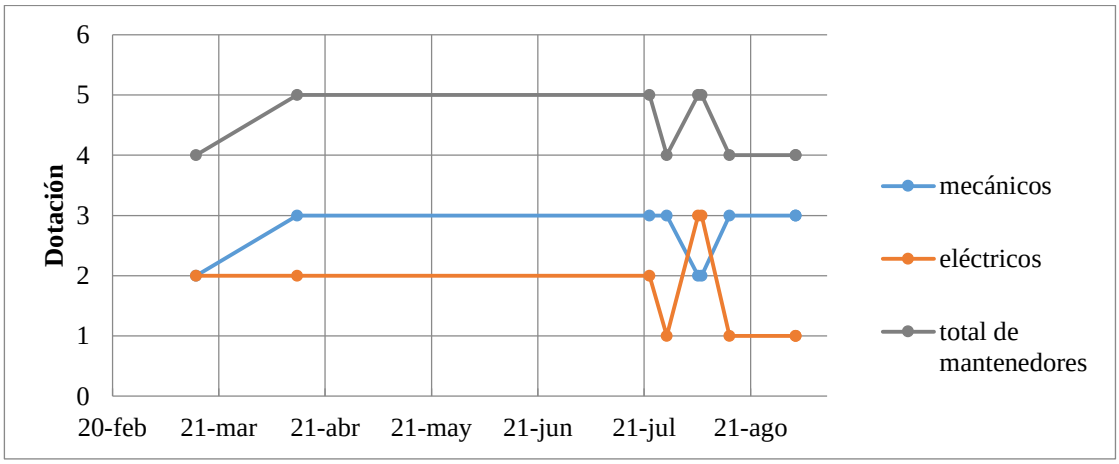


Figura 8.7 Dotación de Mantenedores para Pauta de 250 (hrs)

Minera Centinela ha recocido la importancia que tienen los sistemas de lubricación para el funcionamiento de las palas y en consecuencia se hizo una diferenciación en la especialidad del mantenedor mecánico instaurando la figura del mecánico-lubricador, cargo desempeñado por personal especializado en el tema, con el fin de que los trabajos de lubricación sean realizados con altos niveles de calidad.

Sin embargo, en el proceso de programación de los trabajos no se ha actualizado tal diferenciación, pues se asignan sólo mantenedores mecánicos y mantenedores eléctricos. Esta situación es corregida durante el proceso de Asignación de la fuerza laboral por parte de los Jefes de Turno. Pues el mantenedor lubricador es quien debe ejecutar la Pauta de Lubricación presente en los Paso y Pauta de 250 (hrs) (ver Tabla 8.2).

Ejecución de Pautas de Mantenimiento

La ejecución de los trabajos por parte de los mantenedores es clave para lograr la mantenibilidad esperada junto a los efectos en disponibilidad y performance de los equipos. La responsabilidad y calidad en la ejecución permiten devolver el equipo en los plazos acordados con operaciones para así cumplir con los estándares de producción.

Se realizaron 6 visitas a terreno para presenciar la ejecución de las actividades de mantenimiento preventivo y se evidenciaron diversas situaciones de interés:

- No suele haber concordancia entre las dotaciones señaladas en el programa semanal respecto a las dotaciones asignadas por el Jefe de turno, en la práctica se tiende a asignar un mantenedor extra para cada uno de los Pasos programados.
- En dos de las cinco visitas el personal mantenedor no logró ejecutar la totalidad de las actividades de mantenimiento en el tiempo dispuesto para ello (Pasos n°2 y n°4).
- Se comprobó que no existe una secuencia establecida para la ejecución de las actividades contenidas en las Pautas de Mantenimiento, cada mantenedor realiza las actividades en el orden que mejor le parezca.
- No se ha establecido el “time on tool” para las pautas por especialidad, sólo se ha establecido el tiempo total de ejecución de las Pauta de Mantenimiento (ver Tabla 8.1).

La falta de un estándar en este aspecto dificulta el control de avance de los trabajos en terreno conforme se acerca el momento de devolución del equipo a operaciones. Dicho control es realizado por la figura del líder de mantenimiento, éste representa el nexo entre el jefe de turno y los mantenedores. El líder coordina el trabajo del equipo mantenedor y gestiona soluciones a los eventuales problemas que suceden durante la ejecución, tal como retrasos en la llegada de recursos al lugar de los trabajos (ya sea equipos de apoyo, repuestos, personal,

etc.); su rol es fundamental para el cumplimiento del programa diario. Sin embargo, Minera Centinela no ha definido claramente las funciones, responsabilidades y atribuciones del líder, en consecuencia los 4 líderes de mantenimiento correspondientes a los 4 turnos de realizan trabajos distintos (p. ej: Unos trabajan mayoritariamente en terreno y otros mayoritariamente en oficina).

8.3 Objetivos de la Propuesta

La Propuesta de mejora del aspecto “Administración del tiempo de detención de equipo” tiene los siguientes objetivos:

- Diseñar un estándar para la mantenibilidad de la flota de palas eléctricas P&H 4100 XPC.
- Estimar los beneficios derivados de la implementación de la propuesta.
- Establecer las responsabilidades del personal para la administración del estándar.
- Establecer los mecanismos para el mejoramiento del estándar.

8.4 Elaboración de la Propuesta

En la elaboración de la Propuesta participan diversos colaboradores: Inspectores de flota, Programadores, Mantenedores, Líderes de mantenimiento y Jefes de turno. Esto con el fin de tener una amplia mirada en la recogida de información del personal involucrado en la Propuesta, lo cual permite minimizar el sesgo y aunar criterios. El memorista trabaja en sistema de turnos 4x3 mientras que el personal colaborador trabaja en sistema 7x7, lo cual permite relacionarse y trabajar con todos los turnos.

Dotaciones – Tiempos de ejecución – Secuencia de actividades

En base a las Pautas de Mantenimiento y tras un trabajo colaborativo con el personal:

- Se establecen las dotaciones para la Pauta de 250 (hrs) y para cada uno de los 4 Pasos, haciendo una clara diferenciación de los mantenedores según su especialidad ya sea lubricador, eléctrico o mecánico.
- Se determinan los tiempos de ejecución de las pautas por especialidad y con ello los tiempos ejecución total de las Pautas de Mantenimiento.

Debido a que el equipo a mantener es de gran envergadura, se torna necesario contar con un ordenamiento de actividades que sea capaz de minimizar los desplazamientos del personal y de recursos físicos durante la ejecución de las Pautas. En ese sentido:

- Se establece una secuencia para el desarrollo de las tareas contemplando criterios espaciales, es decir, se busca la eficiencia en los desplazamientos del personal mantenedor al interior y alrededor del equipo.
- Además se aplican criterios funcionales, que buscan la efectividad del trabajo estableciendo un orden lógico a las actividades (p. ej: La des-energización del equipo debe hacerse antes de intervenir los motores eléctricos).
- Se identifican los equipos de apoyo (EE.AA) necesarios para la ejecución de los Pasos y Pauta de 250 (hrs), luego se ordenan las actividades de tal manera que se evita que dos actividades requieran usar el mismo EE.AA de forma simultánea.

Los puntos antes mencionados se resumen en las tablas presentadas a continuación, son el primer paso para el establecer el estándar para las Pautas de Mantenimiento Preventivo.

Adicionalmente se contrasta la información contenida en las tablas con lo estipulado por la Estrategia de Mantenimiento respecto a los tiempos de detención de equipo, si no existe cumplimiento del estándar propuesto se deberá profundizar en la búsqueda de soluciones.

Tabla 8.4 Dotaciones y Tiempos de ejecución para las pautas por especialidad – Pauta de 250 (hrs)

Tipo de Pauta de Mantenimiento	Pauta por especialidad	Duración (min)	Dotaciones
Pauta de 250 (hrs)	P. Dinámica	50	1 eléc – 1 mec – 1 lubr
	P. de Lubricación	150	1 lubricador
	P. Estructural	50	1 mecánico
	P. Eléctrica	250	1 eléctrico
Total		300	1 eléc – 1 mec – 1 lubr

Tras la determinación de dotación de mantenedores y con el ordenamiento de actividades de la Pauta de 250 (hrs), se establece un tiempo total de trabajo de 5 (horas) y 3 mantenedores de las especialidades eléctrica, mecánica y lubricación; tal como puede advertirse en la Tabla 8.4. Es posible contar con 1 (hora) para actividades indirectas de mantenimiento como almuerzo y cambio de turno.

La Estrategia de Mantenimiento de las palas eléctricas P&H 4100 XPC establece que la Pauta de 250 (hrs) se ejecute en un tiempo total de 6 (horas), por lo tanto, se estaría cumpliendo con lo estipulado por la Estrategia.

Tabla 8.5 Dotaciones y Tiempos de ejecución para las pautas por especialidad – Pasos 1 y 3

Tipo de Pauta de Mantenimiento	Pauta por especialidad	Duración (min)	Dotaciones
Paso 1 – Paso 3	P. Dinámica	60	2 eléc – 1 mec – 1 lubr
	P. de Lubricación	540	2 lubricadores
	P. Mecánica	540	2 mecánicos
	P. Estructural	400	1 mecánico
	P. Eléctrica	700	2 eléctricos
	Pruebas finales de entrega	20	Operador
Total		780	2 eléc – 3 mec – 2 lubr

Debido a la similitud que presenta el Paso n°1 y el Paso n°3, ambos son representados en una misma tabla resumen (Tabla 8.5).

El ordenamiento de actividades propone la realización de la Pauta Dinámica antes que el resto, pues requiere del equipo energizado para su ejecución. Una vez finalizada se procede a la des-energización del equipo y la propuesta señala la ejecución de todas las pautas por especialidad en forma paralela, con el fin de aprovechar al máximo el tiempo de detención de equipo para finalmente, y antes de la devolución del equipo, ejecutar Pruebas finales de entrega por parte del operador.

En resumen, los Pasos n°1 y n°3 requieren de un tiempo de ejecución total de 13 (horas). Con ello se cumple con lo estipulado en la Estrategia e incluso se deja un margen de 1 (hora) para la realización de actividades indirectas como almuerzo o cambio de turno.

Tabla 8.6 Dotaciones y Tiempos de ejecución para las pautas por especialidad – Pasos 2 y 4

Tipo de Pauta de Mantenimiento	Pauta por especialidad	Duración (min)	Dotaciones
Paso 2 – Paso 4	P. Dinámica	40	2 eléc – 1 mec – 1 lubr
	P. de Lubricación	600	2 lubricadores
	P. Mecánica	820	4 mecánicos
	P. Estructural	400	1 mecánico
	P. Eléctrica	720	2 eléctricos
	Pruebas finales de entrega	20	Operador
Total		880	2 eléc – 4 mec – 2 lubr

Para el Paso n°2 y Paso n°4 se propone el mismo sistema, es decir, la ejecución previa de la Pauta Dinámica, la realización de las pautas por especialidad en forma paralela, y la finalización con las Pruebas finales de entrega (más detalles en Anexo B: Tiempos de ejecución Pautas de Mantenimiento).

En total, el tiempo de ejecución para los Pasos n°2 y n°4 es de 14 (horas) 40 (minutos). Excediendo ampliamente el tiempo estipulado por la Estrategia de Mantenimiento, por 40 (minutos) y no dejando espacio para actividades indirectas de mantenimiento como evacuación de mina por tronadura, almuerzo o cambio de turno.

Debido a que el Paso n°2 y el Paso n°4 exceden los tiempos de detención de equipo estipulados por la Estrategia de Mantenimiento, se profundiza en la búsqueda de alternativas para optimizar el trabajo y rebajar los tiempos de ejecución.

Optimización del Paso n°2 y Paso n°4

Dentro de la estructura organizativa de Gestión del Mantenimiento Mina está el equipo de Inspectores de Flota (ver Figura 6.4). Es un equipo compuesto por especialistas de distintas áreas quienes desarrollan inspecciones en terreno y hacen los análisis de fallas de los sistemas comprometidos, además se encargan del diseño de planes correctivos para su tratamiento.

Los Inspectores de flota manejan una serie de pautas de inspección, que son ejecutadas por ellos en función de su especialidad y de manera simultánea a las Pautas de Mantenimiento antes mencionadas: Pasos y Pauta de 250 (hrs) que son ejecutadas por los mantenedores.

Se analiza el contenido de las pautas de inspección y se contrastan las actividades contenidas con las actividades de las Pautas de Mantenimiento. Producto de esta comparación, se determinó que la "Pauta de Inspección Estructural" es bastante similar a la desarrollada por los mantenedores en los Pasos n°2 y n°4. Con alrededor de un 30% de actividades repetidas.

Esta situación es presentada al Ingeniero de Mantenimiento (Jefe de los Inspectores de Flota) y al Ingeniero de Confiabilidad de Carguío; y se determina que no existe motivo para la realización de actividades duplicadas, por lo tanto, se procede a la eliminación de actividades duplicadas. El proceso es asistido por los Inspectores de Flota de especialidad estructural; donde el criterio que dirime en cuál de las dos pautas debe permanecer una actividad duplicada es: Si la actividad requiere conocimientos profundos en el tema estructural entonces permanece en la pauta de los Inspectores, en caso contrario la actividad permanece en la Pauta de Mantenimiento desarrollada por los Mantenedores.

En forma simultánea se hace un estudio de tiempos utilizando la herramienta del Critical Path Method – CPM. Se identifica la ruta crítica para los Pasos n°2 y n°4, esta corresponde a la Pauta Mecánica y por lo tanto, una optimización de la ruta crítica significaría la optimización general del Paso. En ese sentido, la reducción de actividades de la Pauta Estructural permite que un mantenedor mecánico se desocupe prematuramente de sus labores, quedando

disponible para apoyar la ejecución de la Pauta Mecánica. Con tal modificación se logra reducir el tiempo total de ejecución de los Pasos n°2 y n°4 a una duración total de 13 (horas).

Para mayores detalles sobre la optimización de los Pasos mediante el uso de la herramienta CPM, ver Anexo B: Tiempos de ejecución Pautas de Mantenimiento.

Finalmente, la Propuesta permite que todos los Pasos y la Pauta de 250 (hrs) puedan cumplir con los tiempos estipulados por la Estrategia de Mantenimiento, e incluso disponiendo en cada caso con 1 (hora) para la realización de actividades indirectas de mantenimiento como almuerzo o cambio de turno.

Nuevo Formato en las Pautas de Mantenimiento

Las pautas de mantenimiento vigentes presentan las actividades a realizar de manera desordenada, por ejemplo existe una actividad a realizarse en las orugas (en el sistema de tracción, ubicado en la parte baja del equipo) y la actividad señalada a continuación es en la sala del operador (en la parte alta del equipo), lo cual supone un desplazamiento considerable del personal y de herramientas sobre todo cuando no existe una relación directa entre las actividades. Por otra parte, en las pautas no se señalan las dotaciones de mantenedores requeridos para la ejecución de cada pauta por especialidad.

Ante esta deficiencia, la Propuesta influye en el diseño de las pautas de mantenimiento. Se ordenan las actividades de las pautas según la secuencia propuesta para la ejecución eficiente y efectiva de sus actividades; además en el encabezado de cada pauta por especialidad se indica la dotación específica de mantenedores para la realización de las actividades y, en los casos que corresponda, se señalan los EE.AA. necesarios para la actividad que lo requiera.

Con las modificaciones en el diseño de las pautas, el Líder de mantenimiento puede hacer un control más efectivo del avance de los trabajos en terreno, pues a partir del porcentaje de avance de cada “checklist” se puede saber fácilmente el porcentaje de avance de la pauta en su totalidad.

8.4.1 Estimación de las Consecuencias

La estimación de las consecuencias permite dimensionar el impacto que traería la implementación de Propuesta de mejora, representando un “input” importante para el proceso de toma de decisiones: Si la propuesta avizora resultados favorables desde los puntos de vista económico y no-económico entonces es más probable que la organización apruebe su realización.

8.4.1.1 Consecuencias Económicas

Las consecuencias económicas de la Propuesta de mejora dicen relación con la disminución de detención de equipo, ya que una devolución anticipada del equipo a operaciones otorga la posibilidad de operar más tiempo y generar más ingresos.

Sin embargo, resulta particularmente difícil hacer una correcta estimación del tiempo de detención de equipo asociado a la ejecución de las Pautas de Mantenimiento. Pues la ejecución de las Pautas de Mantenimiento va acompañada de una serie de “backlogs”; donde el reporte de los tiempos de trabajo no especifica cuanto tiempo tomó la ejecución de las Pautas y cuánto tomó la ejecución de los “backlogs” sino que se reporta por el tiempo total.

A pesar de ello, el beneficio económico es calculado a partir de la disminución de 2 (horas) de detención de equipo producto de la optimización de los Pasos n°2 y n°4; bajo el supuesto de que efectivamente ese tiempo extra es utilizado por el área de operaciones para producir.

En promedio, las palas P&H 4100 XPC son sometidas a la realización de un Paso cada 500 (hrs) de operación lo que lleva a la ejecución de un Paso al mes, situación comprobada en los registros de la empresa y esquematizada en la Tabla 8.7.

Tabla 8.7 Realización de Pasos en el tiempo

Paso #	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic

Se han subrayado los Pasos n°2 y n°4, éstos se ejecutan 6 veces al año por equipo y 24 veces considerando toda la flota. Lo cual significaría 48 (hrs) anuales extra de producción de la flota.

Los costos de ejecución del mantenimiento siguen el siguiente esquema [33]:

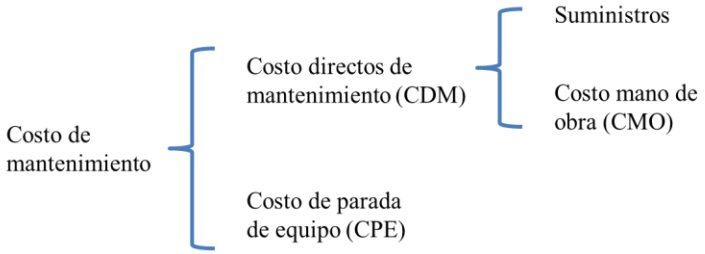


Figura 8.8 Esquema de Costos del Mantenimiento (SENA - FEDEMETAL. 1991)

Costos directos de mantenimiento (CDM)

Los costos directos de manteniminto se definen como el valor del conjunto de bienes y servicios que se consumen para llevar a cabo una tarea de mantenimiento, se componen por los costos por suministros y los costos de mano de obra.

Con la Propuesta de mejora los suministros no se ven afectados.

A partir de la estandarización en las dotaciones de las Pautas de Mantenimiento se compara la situación actual versus la recomendada, ver Tabla 8.8. Si bien la dotación recomendada contempla mano de obra adicional, los turnos actuales compuestos por 12 mantenedores pueden absorber la carga de trabajo. Por lo tanto tampoco habría cambios en el CMO.

Tabla 8.8 Comparativo de dotaciones para la ejecución de Pautas de Mantenimiento

Tipo de Pauta	Dotación actual (promedio)	Dotación recomendada
Paso 1 – Paso 3	6*	7
Paso 2 – Paso 4	6*	8
Pauta de 250 (hrs)	4,4	3

*Los programas semanales indican 5 mantenedores promedio, pero en la asignación se suele añadir un mantenedor.

Costos de parada de equipo (CPE)

Corresponde a los ingresos que la empresa deja de percibir como consecuencia de la detención del equipo para su mantenimiento. El cálculo del CPE se basa en los datos aportados por el documento "Resumen de Minera Centinela" del primer semestre de 2016.

Datos:

- Rendimiento efectivo promedio de las palas eléctricas P&H 4100 XPC es de 1696 [ton/hr] y corresponde al tonelaje total de material cargado en una hora (considerando lastre y mineral).
- Relación lastre/mineral: 3,281 quiere decir que para producir una tonelada de mineral se deben cargar 3,281 toneladas de lastre. A partir de ésta se obtiene la relación "mineral/(lastre + mineral)": 0.234
- Ley de Cu: 0,58 [%] es el porcentaje de cobre que encierra una determinada muestra.
- Precio realizado del cobre: 219,2 [¢/lb] es el precio que originó los ingresos en el periodo declarado. Que es el equivalente a 4832,53[USD/ton] por conversión de unidades.
- Recuperación de cobre en Planta: 86,9% es el porcentaje de cobre producido por la planta concentradora respecto a la cantidad de cobre que llega a stock-pile.

Con todos estos factores se calcula el CPE:

$$1696\left[\frac{ton\ LyM}{hr}\right] * 0{,}234\left[\frac{ton\ M}{ton\ LyM}\right] * 0{,}58[\%] * 4832{,}53\left[\frac{\mathrm{USD}}{ton\ M}\right] * 86{,}9[\%] = 9666{,}4\left[\frac{USD}{hr}\right]$$

A partir del CPE se estiman los ingresos que la empresa podría obtener si la flota de palas eléctricas P&H 4100 XPC operase durante las 48 horas extra anuales, por concepto de la optimización de los Pasos y la consiguiente devolución anticipada de equipos desde mantenimiento a operaciones.

$$9666{,}4\left[\frac{USD}{hr}\right] * 48\left[\frac{hr}{año}\right] = 463986{,}4\left[\frac{USD}{año}\right]$$

8.4.1.2 Consecuencias No-Económicas

La Propuesta de mejora trae consigo una serie de consecuencias positivas, la primera es que se busca dar cumplimiento a las directrices de la estrategia respecto a los tiempos de detención de equipo para cada Pauta de Mantenimiento, afectando de manera positiva la mantenibilidad de la flota de palas eléctricas P&H 4100 XPC.

El contar con un estándar es un paso relevante para realizar un trabajo coordinado y de calidad, a la vez que permite una ejecución uniforme de las pautas independientemente del turno que desempeñe la actividad. Constituye también una revaloración de la labor del mantenedor y de su importancia en la consecución de los índices de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad, entre otros resultados del área.

La Propuesta facilita el control del trabajo en terreno pues, con el ordenamiento del listado de actividades de las pautas por especialidad, el líder de mantenimiento puede cerciorarse fácilmente del estado de avance de la Pauta y detectar retrasos en la ejecución y, en consecuencia, tomar las medidas necesarias para abordar la situación de forma prematura realizando acciones las necesarias para cumplir con los plazos de devolución de equipo.

Finalmente, la utilización progresiva del estándar otorga a los mantenedores la opción hacer críticas constructivas y canalizar correcciones sobre un estándar ya existente, facilitando así la mejora continua de la propuesta y rescatando la experiencia e iniciativa del personal. Con ello se potencia el trabajo colaborativo entre las áreas del personal que se haya involucrado directa e indirectamente en el mantenimiento de los equipos.

8.4.2 Evaluación del Riesgo y Gestión del Cambio

La Norma ISO 31000:2009 (Gestión de Riesgos – Principios y directrices) señala que la empresa debe identificar fuentes de riesgo determinando sus áreas de impacto, sus causas y sus posibles consecuencias (independiente de las fuentes estén o no bajo el control de la organización). Para ello existen técnicas y herramientas de análisis de riesgos que pueden ser del tipo cualitativo, semi-cuantitativo o cuantitativo, o una combinación de las anteriores.

Mediante el análisis de riesgos se identifican los objetivos amenazados, se especifican las consecuencias, probabilidad de ocurrencia y nivel de impacto. Si bien un evento puede tener

múltiples consecuencias y puede afectar múltiples objetivos, el nivel de riesgo quedará determinado por la forma en cómo se manifiestan los factores del análisis y la forma en cómo se combinan. [34]

En base a los resultados del Análisis de riesgos, se desarrolla la Evaluación del riesgo, en este punto se establecen las acciones más apropiadas para enfrentar los riesgos.

En la Tabla 8.9 se presenta el Análisis de riesgo de la implementación de la Propuesta:

Tabla 8.9 Análisis de Riesgos frente a la Propuesta de mejora

Objetivo	Riesgo	Consecuencia	Impacto	Probabilidad
RIESGOS INTERNOS				
Asegurar el uso efectivo del estándar.	Rechazo del nuevo sistema de trabajo por parte de los mantenedores.	La propuesta queda sin efecto.	Alto	Alta
Asegurar el uso efectivo del estándar.	Que los líderes de mantenimiento no hagan un control efectivo en terreno.	No hay forma de conocer la efectividad de la herramienta.	Medio	Media
Proveer los mecanismos para el mejoramiento del estándar.	Que lo líderes no canalicen las oportunidades de mejora provenientes del equipo mantenedor.	Flujo de información deficiente, desmotiva a los mantenedores en su aporte en las eventuales mejoras.	Medio	Baja
Proveer los mecanismos para el mejoramiento del estándar.	Deficiencias en la administración y el mejoramiento del estándar propuesto por parte de los inspectores de flota.	La herramienta se torna estática por una mala capacidad de adaptación, pudiendo quedar obsoleta.	Medio	Baja
RIESGOS EXTERNOS				
Lograr beneficios económicos con la propuesta.	Aumento significativo en el precio del cobre.	Pérdida del interés de la empresa en implementar la propuesta.	Alto	Baja

En algunas circunstancias la Evaluación concluye que deben tomarse medidas adicionales de control o mitigación de riesgos, o puede concluirse que no hay necesidad de tratar el riesgo de una manera diferente a la aplicación de los controles ya existentes.

Para el caso de esta Propuesta de mejora y dada la naturaleza de los riesgos analizados, se devela que el mayor riesgo es el rechazo de los mantenedores al uso del nuevo estándar de trabajo. Se decide que la manera de enfrentar el riesgo es mediante una adecuada Gestión del Cambio (ver 5.3.3) que posibilite la adopción efectiva de la propuesta; además es importante que la propuesta cuente con el respaldo y beneplácito de los niveles estratégicos del área.

Mediante un efectivo plan comunicacional se debe hacer difusión en el área de carguío sobre la necesidad de tomar acciones frente al complejo escenario que vive la economía del cobre, lo cual está en línea con del Programa de Competitividad y Costos de AMSA. Además se requiere de un sistema de reconocimiento del personal comprometido con la propuesta de mejora.

En la fase previa a la implementación, se deben realizar reuniones siguiendo el formato "en cascada" (señalado en la Figura 5.5). Donde cada jefatura se reúne con sus dirigidos para especificar las funciones de cada nivel frente a la propuesta: El Superintendente se reúne con los jefes de área, éstos se reúnen con los jefes de turno y éstos se reúnen con sus mantenedores. En dichas reuniones se deben presentar los objetivos perseguidos por la propuesta (comunicar la visión) e informar acerca de las funciones y responsabilidades que competen a cada nivel. En este punto es fundamental aclarar las dudas y tratar los temores para minimizar las resistencias inherentes a los procesos de cambio.

Debido a lo ilusorio que resulta conseguir de un día para otro la implementación total de la Propuesta, se plantea una implementación progresiva del estándar mediante el establecimiento de metas a corto y mediano plazo, comenzando por la implementación del estándar para la Pauta de 250 (hrs) por temas de simpleza, para luego abordar los Pasos.

El acompañamiento a los mantenedores por parte de la plana táctica, debe ser una constante durante la implantación. Se espera que con la aplicación del estándar los mantenedores detecten detalles y oportunidades de mejora, para ello se establecen los mecanismos formales para canalizar las sugerencias hacia el equipo de Inspectores de Flota.

8.5 Puesta en Marcha

Se recomienda la realización de una prueba piloto para la implementación del estándar primero en un solo turno y luego se vayan sumando los demás en forma progresiva, de esta forma se podrían detectar tempranamente pequeñas falencias o consideraciones prácticas pasadas por alto en la etapa de diseño.

La implementación piloto debe realizarse idealmente en un turno que a juicio de los ingenieros del área sea más receptivo y proclive a la adopción de nuevos métodos de trabajo. Se debe implementar primero la Pauta de 250 hrs y después los Pasos por motivos de simplicidad, pues la Pauta de 250 hrs (si bien sigue el mismo formato de los Pasos) requiere de menos personal, son menos actividades a realizar y el tiempo de ejecución es menor. Con lo cual, la implementación de los Pasos debería tornarse más fácil.

Deben realizarse reuniones informativas para comunicar al personal mantenedor sobre del cambio que se implementará en la forma de trabajo, con tal de aclarar dudas y tratar temores propios de los procesos de cambio. Llegado el día de la aplicación de estándar, durante la reunión diaria con los mantenedores antes de salir a terreno, el Jefe turno apoyado por el Líder de mantenimiento ordenará el equipo de trabajo bajo de las disposiciones del estándar.

Adicionalmente se deben indicar los mecanismos para canalizar sugerencias y opciones de mejora detectadas por los mantenedores, que a través de los líderes son llevadas hasta el equipo de Inspectores de flota.

Funciones y Responsabilidades

La Propuesta abarca en mayor o menor medida a todos los niveles de la estructura organizativa. Cuando el nivel Estratégico ha aprobado la Propuesta, le compete dar la orden para su implementación y destinar los medios necesarios para ello. Luego, el nivel Táctico debe velar por el uso eficiente de los recursos asociados a la implementación y controlar la correcta aplicación del estándar en todos los turnos. Finalmente, el nivel Operacional es el que lleva a la práctica el estándar propuesto, su aporte es clave para la obtención de los resultados deseados.

A continuación se detallan las funciones y responsabilidades específicas para cada cargo implicado en la Propuesta.

Jefes de turno: Es el referente técnico de los mantenedores quienes además se sienten respaldados por él. Su función es comunicar la propuesta entre los mantenedores del turno y convencer sobre las ventajas que conlleva su adopción; por otra parte, es su responsabilidad asegurarse de que en su turno se respeten las disposiciones emanadas desde la jefatura de área y exigir el uso del estándar.

Líderes de mantenimiento: Es el representante del Jefe de turno en terreno, es un mantenedor experimentado y dadas sus condiciones de líder natural es quien lidera al equipo de Mantenedores. Su función será hacer el control de avance del mantenimiento mediante la revisión del "checklist" de actividades de la Pauta; y tiene la responsabilidad de canalizar las posibilidades de mejora emanadas desde los mantenedores hacia los Inspectores de flota.

Inspectores de flota: Son los representantes en terreno de la Superintendencia de Gestión del Mantenimiento. Dado que los Inspectores son los encargados de modificar y actualizar las Pautas de Mantenimiento, su función será administrar el estándar estudiando las solicitudes de modificación provenientes del personal en terreno; además tienen la responsabilidad de monitorear la efectividad de la implementación inter-turnos.

Programadores: Su función es hacer la programación semanal de los trabajos de mantenimiento, entre ellos las Pautas de mantenimiento. Será responsabilidad de ellos asignar la mano de obra especificada por el estándar para cada Pauta de mantenimiento y respetar los tiempos de detención de equipo estipulados por la Estrategia.

Mantenedores: Su función es llevar a la práctica lo dispuesto por el estándar, su aporte y su compromiso resulta fundamental para la obtención de los objetivos esperados por la propuesta. Tienen la responsabilidad de levantar las opciones de mejora del estándar propuesto.

8.6 Monitoreo de Resultados y Revisión

El Monitoreo de resultados y Revisión son actividades fundamentales para la mejora continua del estándar propuesto y requiere del trabajo coordinado de Líderes e Inspectores de flota. El Monitoreo es realizado en terreno por los Líderes del mantenimiento, y la Revisión se lleva a cabo en oficina por parte del equipo de Inspectores de flota.

Se recomienda el desarrollo de un "estudio de tiempo y método" donde se toman registros de los tiempos de ejecución de las Pautas de Mantenimiento, dichas mediciones serán contrastadas luego con los tiempos estimados y estructurados en las cartas Gantt de cada Pauta.

En la medida que se aplica el estándar propuesto, es recomendable llevar registro del cumplimiento (o no cumplimiento) de los tiempos de detención de equipo estipulado por la Estrategia de Mantenimiento, y en consecuencia se analicen las tendencias resultantes con el fin de detectar posibilidades de mejora del estándar.

El análisis de tales tendencias y el "estudio de tiempo y método" deben realizarse de forma responsable en los 4 turnos de mantenedores, de modo que la propuesta surta efecto independientemente del turno de mantenedores que la aplique. Finalmente también se debe revisar la secuencia establecida para la realización de las actividades, verificando la correcta aplicación de los criterios espaciales y funcionales, es decir eficiencia en los traslados y eficacia en la concatenación de actividades establecida.

9 Conclusiones

Con el trabajo realizado se da respuesta a una problemática real de la empresa desde el punto de vista técnico y económico, considerando las aristas de un escenario adverso por la contingencia del mercado del cobre y las condicionantes internas de la empresa.

Se concluye que la evaluación de la gestión del mantenimiento permite un conocimiento profundo del departamento, poniendo de manifiesto falencias o carencias que de no someterse a un proceso de revisión exhaustivo podrían permanecer inadvertidas por la administración significando pérdidas económicas para la empresa.

La metodología desarrollada permite no sólo el establecimiento del nivel de madurez y la detección de problemas, sino que para solucionarlos aporta un plan de acción, y un monitoreo de resultados para verificar la efectividad de las acciones implementadas y hacer correcciones pertinentes a la propuesta. Con esto, se puede concluye que la metodología desarrollada responde a los principios de la mejora continua en la gestión del mantenimiento.

Las empresas pueden definir la realización de auditorías bajo una frecuencia estándar o cada vez que el juicio de sus directivos lo estime necesario, cualquiera sea el caso, se trata de un proceso esporádico cuyas conclusiones derivan en planes de mediano y largo plazo. Por su parte, el monitoreo de gestión es una actividad continua y para llevarlo a cabo se requiere de una herramienta como tal (p.ej indicadores de gestión). Se concluye que las auditorías de gestión deben emplearse para el fin que fueron concebidas, es decir conocer las brechas que separan el nivel de actual de la gestión versus el nivel a alcanzar, y en función de ello aportar en la determinación de las acciones necesarias para la mejora del área.

Se estima que la aplicación de metodologías de evaluación y mejoramiento constituirá un tema de importancia en los próximos años debido a su presencia en las Normas ISO 55000:2014, norma que permite a una organización alcanzar sus objetivos a través de la gestión eficaz y eficiente de sus activos. Lo que significaría una ventaja competitiva en minería, industria que está en constante búsqueda de la excelencia con miras a la gestión de clase mundial.

El hecho de que la evaluación y el mejoramiento del departamento sea guiada por una metodología estructurada y secuencial facilita su aplicación el tiempo, tornándose una actividad cada vez más familiar y sencilla de replicar, logrando su anclaje en la cultura del área. Por otra parte existe la posibilidad de aplicar la metodología sobre otras flotas o instalaciones productivas, permitiendo así un impacto positivo en otras áreas de la empresa.

Un punto que es importante explicitar es la participación activa y colaborativa de todos los niveles del personal involucrado en la propuesta, quienes fueron informantes clave en la recogida de datos incluso aportando información inédita para los fines de este trabajo. Gracias a esto y a una adecuada gestión del cambio, mejora la percepción de la propuesta y facilita el compromiso del recurso humano para la implementación de la misma, siendo elemento diferenciador al involucrar de manera co-responsable a las personas en los procesos de cambio gestionados por la empresa.

10 Referencias

[1] ESPINOSA Fuentes, Fernando. Auditoría para la efectividad del mantenimiento. [en línea] <http://www.academia.edu/18025583/AUDITORIA_PARA_LA_EFECTIVIDAD_DEL_MANTENIMIENTO > [consulta: 15 junio 2016]

[2] HERNÁNDEZ Sampieri, Roberto., FERNÁNDEZ Collado, Carlos., BAPTISTA Lucio, Pilar. Metodología de la Investigación. 5° ed. España, Mc Graw Hill, 2010. 656 p.

[3] Web de Antofagasta Minerals – AMSA [en línea] <http://www.aminerals.cl> [consulta: 21 noviembre 2016]

[4] Web de Minera Centinela [en línea] <http://web.mineracentinela.cl> [consulta: 21 noviembre 2016]

[5] Reporte anual y declaraciones financieras de Antofagasta plc, año 2015.

[6] EN – European Norm. Terminología del Mantenimiento UNE – EN 13306:2011. Madrid, 2011. 32 p.

[7] Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. Por Peter Muchiri [et al]. International Journal of Production Economics. Mayo 2011. 131 (1). pp. 295 – 302.

[8] CAMPBELL, John D. y REYES-PICKNELL, James V. Uptime – Strategies for Excellence in Maintenance Management. 3° ed. Florida, EEUU. CRC Press, 2016. 533 p.

[9] DÍAZ Navarro, Juan. Técnicas de Mantenimiento Industrial. 1° ed. Cádiz, España. Calpe Institute of Technology, 2007. 296 p.

[10] GARCÍA Palencia, Oliverio. Gestión moderna del mantenimiento industrial. Colombia, Ediciones de la U, 2012, pp. 129-136

[11] GARCÍA Garrido, Santiago. Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. 1° ed. Madrid, España. Ediciones Díaz de Santos, 2003. 320 p.

[12] PISTARELLI, Alejandro J. Manual de Mantenimiento – Ingeniería, Gestión y Organización. 1° ed. Buenos Aires, Argentina. El Autor, 2010. 693 p.

[13] CRESPO Márquez, Adolfo; LÓPEZ Campos, Mónica; TOMÁS Borja, Antonio. Un Modelo de Referencia para la Gestión del Mantenimiento. En: Jornada de Gestión y Evaluación de Costes Sanitarios (11°, 2008, Murcia, España) Madrid, Fundación Signo, 2008, pp.85-87.

[14] PARRA Márquez, Carlos Alberto y CRESPO Márquez, Adolfo. Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos. 2° ed. España, INGEMAN, 2015. 308 p.

[15] PARIDA, Aditya y CHATTOPADHYAY, Gopi. Development of a multi-criteria hierarchical framework for maintenance performance measurement (MPM). Journal of Quality in Maintenance Engineering. 2007. 13 (3). pp. 241 - 258.

[16] ARTS, R.H.P.M., KNAPP, Gerald M., MANN Jr, Lawrence. Some aspects of measuring maintenance performance in the process industry. Journal of Quality in Maintenance Engineering. 1998. 4 (1). pp. 6 – 11.

[17] INN – Instituto Nacional de Normalización. Gestión de activos – Visión general, principios y terminología. NCh-ISO 55000:2014. Chile, 2014. 31 p.

[18] ISO - International Organization for Standardization. Asset management – Management systems – Requirements. ISO 55001:2014. Suiza, 2014. 20 p.

[19] INN – Instituto Nacional de Normalización. Gestión de activos – Sistemas de gestión – Directrices para la aplicación de ISO 55001. NCh-ISO 55002:2014. Chile, 2014. 47 p.

[20] GALAR Pascual, Diego y KUMAR, Uday. Maintenance Audits Handbook – A Performance Measurement Framework. 1° ed. Florida, EEUU. CRC Press. 2016. 609 p.

[21] GONZÁLEZ Fernández, Francisco Javier. Auditoría del Mantenimiento e Indicadores de Gestión. España, Editorial FC, 2004. 259 p.

[22] WAISSBLUTH, Mario. Gestión del cambio en programas y proyectos [en línea] <http://www.mariowaissbluth.com/?pg=publicaciones&categoria=m> [consulta: 6 septiembre 2016]

[23] KOTTER, John P. Leading Change. Boston, EEUU. Harvard Business School Press. 1996. 187 p.

[24] GARCÍA Palencia, Oliverio. Optimización integral del mantenimiento: hacia la terotecnología de clase mundial. Revista Clepsidra (Colombia) 2007. 3(4) <http://revistas.fuac.edu.co/index.php/clepsidra/article/view/268/252> [consulta: 5 agosto 2016]

[25] SOTUYO Blanco, Santiago. OIM: Optimización Integral de Mantenimiento [en línea]. <http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos_rcm_archivos/OPTIMIZACION%20MANTENIMIENTO.pdf> [consulta: 5 mayo 2016]

[26] CODELCO. Procesos productivos - Carguío y transporte [en línea] <https://www.codelcoeduca.cl/procesos_productivos/tecnicos_extraccion_carguioyt.asp> [consulta: 20 noviembre 2016]

[27] Documento interno: Política de Gestión de Activos de Minera Centinela.

[28] RENOVETEC. Auditorías del mantenimiento [en línea]. <http://www.renovetec.com/auditoriasdemantenimiento.pdf> [consulta: 16 abril 2016]

[29] RESTREPO Escobar, Francisco Eladio. Instrumentos para auditar la gestión del talento humano una propuesta de competitividad y productividad. [en línea] <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/lms/moodle/pluginfile.php/115139/mod_resource/content/0/MOD_7_CONTROL/INSTRUMENTOS_AUDITORIA.pdf > [consulta: 2 julio 2016]

[30] ISO - International Organization for Standardization. Directrices para la auditoría de Sistemas de Gestión. ISO 19011:2011. Suiza, 2011. 59 p.

[31] The House of Maintenance - Identifying the Potential for Improvement in Internal Maintenance Organizations by Means of a Capability Maturity Model. Por Prof. Dr. Guenther Schuh [et al]. En: Congreso Mundial en Ingeniería de Gestión de Activos (4°, 2009 Atenas - Grecia). Springer, 2010, pp. 15-24

[32] TAVARES, Lourival Augusto. Administración Moderna de Mantenimiento [en línea]. <http://www.mantenimientomundial.com/sites/Libro/lourival.asp > [consulta: 28 abril 2016]

[33] SENA - Servicio Nacional de Aprendizaje, FEDEMETAL - Federación Colombiana de Industrias Metálicas. Manual de Mantenimiento. Colombia. Santafé de Bogotá. 1991. 90 p.

[34] ISO - International Organization for Standardization. Risk management — Principles and guidelines. ISO 31000:2009. Suiza, 2009. 34 p.

[35] MINERÍA CHILENA. Palas para rajo abierto: por una producción más eficiente y segura. [en línea] Grupo editorial Editec. 11 de noviembre, 2013 <http://www.mch.cl/informes-tecnicos/palas-para-rajo-abierto-por-una-produccion-mas-eficiente-y-segura/> [consulta: 13 noviembre 2016]

[36] CRESPO Márquez, Adolfo. The Maintenance Management Framework – Models and Methods for Complex System Maintenance. Inglaterra, Springer-Verlag London Limited, 2007. 333 p.

[37] Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. Por Pablo Viveros Gunckel, [et al]. Ingeniare - Revista chilena de ingeniería. Arica (Chile) abr. 2013. 21(1) pp. 125-138

Anexos

Anexo A: Descripción de la pala P&H 4100 XPC

Introducción a las palas eléctricas

Las palas eléctrica, también conocidas como palas de cables, son un tipo de excavadora frontal accionada por energía eléctrica, que se vale de cables para el accionamiento del balde o cucharón. En general se trata de equipos de gran envergadura, que alcanzan elevadas producciones con costos unitarios bajos, alta disponibilidad mecánica y una larga vida útil.

Sirven como equipos de carguío para camiones de extracción (CAEX) o para sistemas transportadores de trituración en pozo. Las palas eléctricas son uno de los equipos más usados en minería a cielo abierto y su elección es determinante para el desarrollo de minas de gran escala. [26]

En la actualidad, las constantes exigencias que demandan el proceso productivo y el cumplimiento de estándares de seguridad en la minería, hacen que el diseño y fabricación de las palas eléctricas estén bajo un permanente desarrollo tecnológico. Esto se manifiesta en el incremento sostenido en la capacidad de carguío de los equipos, donde una pala es capaz de cargar un camión de 362 toneladas en sólo 3,5 pasadas; y en la constante diversificación de los sistemas de monitoreo de condiciones y control operacional. [35]

Principales Secciones y Sistemas de la Pala eléctrica P&H 4100 XPC

La pala eléctrica P&H 4100 XPC es un equipo de carguío que proporciona una carga útil nominal de 108,9 (ton métricas) y cuyo balde posee una capacidad de 52,8 a 61,2 (m^3). Desarrolla su labor de carguío mediante 4 funciones principales accionadas eléctricamente: Propulsión, Giro, Empuje, y Levante.

Se presentan las 3 secciones principales del equipo (ver Figura A.0.1):

- Chasis Inferior: Es una estructura robusta que soporta el peso del equipo, va montada sobre dos bastidores laterales que a su vez se insertan en dos carros de orugas, permitiendo la función desplazamiento y dirección del equipo.

En la parte superior de la estructura se ubica la corona dentada de giro y la pista inferior del círculo de rodillos, sobre ellos descansa el Chasis Superior.

- Chasis Superior: Ubicado sobre el Chasis Inferior, consiste en una plataforma que puede girar en 360° y en ambos sentidos en torno al pin central. En la parte frontal se ubica el accesorio de operación y la cabina del operador, mientras que en la parte trasera está el contrapeso.
- Accesorio de operación: Permite la operación de carga mediante la combinación de las funciones de elevación y empuje. La elevación se hace mediante el cable de elevación, que se enrolla en su correspondiente tambor. Mientras que el empuje se realiza por medio de un mecanismo piñón y cremallera instalado en la pluma.

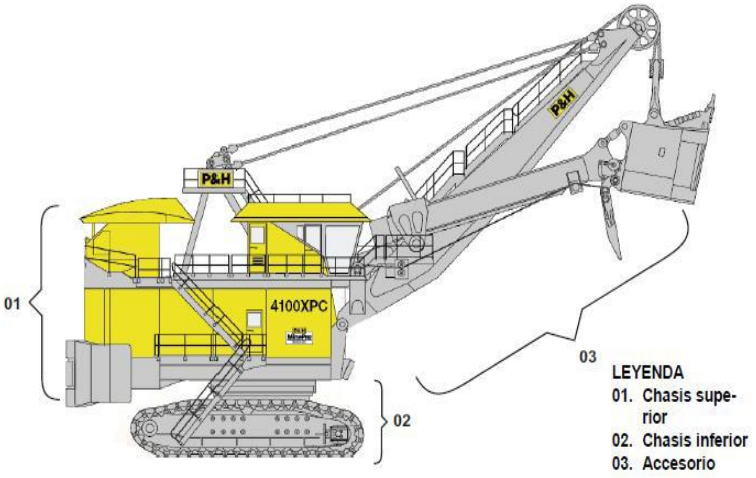


Figura A.0.1 Principales Secciones de la Pala Eléctrica (Manual del Fabricante)

Se presentan los Sistemas principales del equipo:

- Sistema Eléctrico: El equipo requiere de energía eléctrica para accionar todas sus funciones operativas. El sistema de distribución de electricidad de la mina proporciona energía en corriente alterna de alto voltaje, la cual llega al equipo por la parte trasera mediante un cable hasta el Chasis Inferior y mediante colectores de alto voltaje llega al Chasis Superior, donde el sistema eléctrico de la pala transforma la energía hasta niveles de trabajo adecuados y de corriente continua.
- Sistema de Levante: La elevación del balde se hace mediante cables, la pala dispone de un mecanismo compuesto por dos motores eléctricos y una transmisión por

engranajes que permiten el enrollamiento del tambor y en consecuencia la elevación del balde.

El mecanismo de levante cuenta con un freno de zapata para mantener el balde elevado durante los desplazamientos de la máquina, el freno se desactiva neumáticamente durante el carguío mediante el control eléctrico desde cabina.

- Sistema de Empuje: Este sistema permite la penetración del balde en el frente de carguío. Para ello la pala dispone de un mecanismo de piñón y cremallera, que funciona gracias a un motor y caja de engranajes montados en la pluma que transmite potencia mediante correas hasta el piñón y éste a la cremallera presente en el mango, permitiendo así el movimiento de empuje de la pala (ver Figura A.0.2).

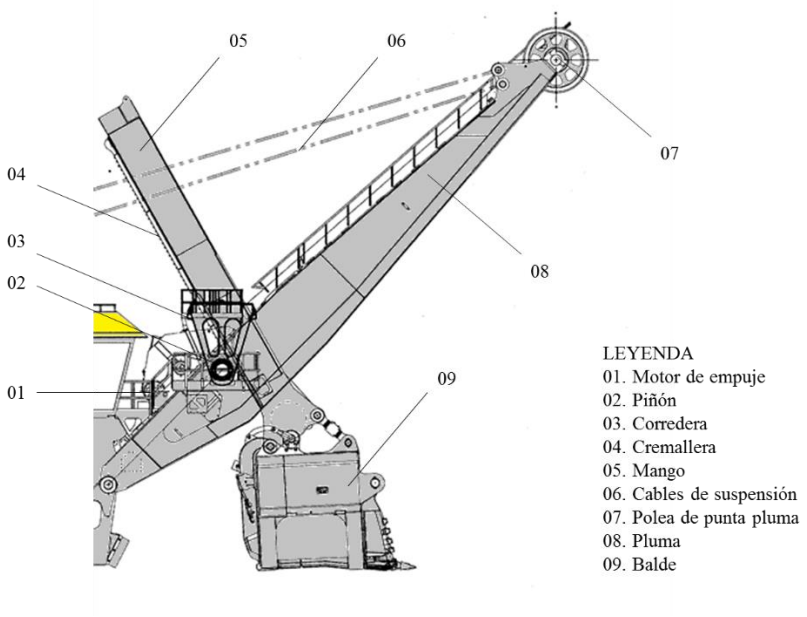


Figura A.0.2 Componentes de los Sistemas de Levante y Empuje (Manual del Fabricante)

- Sistema de Giro: El sistema permite el giro en 360° y en ambos sentidos del Chasis Superior respecto al Chasis Inferior. El sistema es accionado por tres motores y transmisiones que interactúan con la corona de giro inferior. Los motores tienen frenos de retención, que evitan que el chasis superior gire después de llegar al descanso completo.
- Sistema de Propulsión: Para lograr el avance, retroceso y una dirección diferencial suave, el sistema de propulsión utiliza dos mecanismos propulsores independientes.

Cada mecanismo consta de un motor montado fijamente al Chasis Inferior, transmisión planetaria montada en un bastidor lateral y rueda propulsora que desplaza al tren de orugas posibilitando así el desplazamiento del equipo (ver Figura A.0.3).

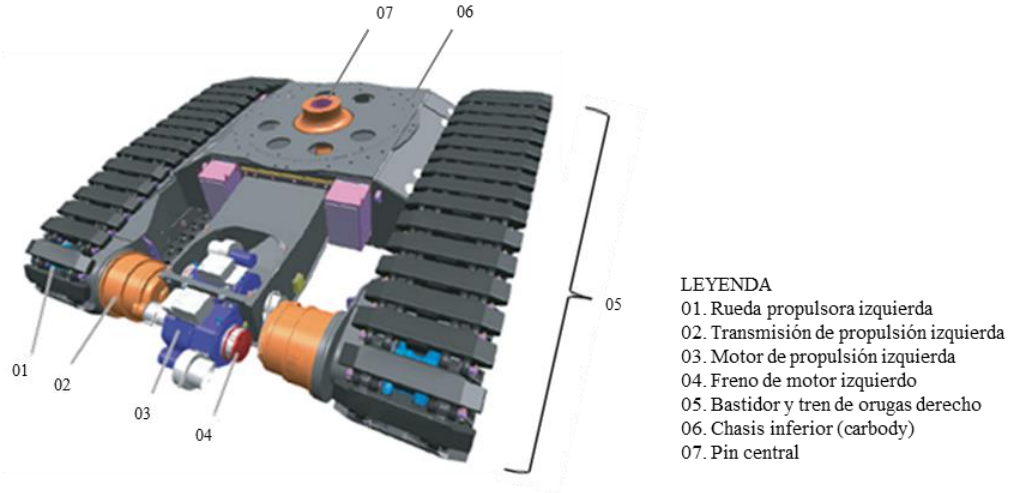


Figura A.0.3 Chasis Inferior - Sistema de Propulsión (Manual del Fabricante)

- Sistema Neumático: Este sistema proporciona aire comprimido, filtrado, seco y lubricado para los sistemas de frenos de la pala (giro, levante, empuje y propulsión) y el sistema de lubricación automático (bombas accionadas por aire). El aire comprimido también es utilizado para la bocina neumática, la escalera de acceso (cilindros neumáticos), para limpiar los filtros de aire, y en otros dispositivos auxiliares opcionales.
- Sistema de Lubricación: Es un sistema automático cuyo objetivo básico es suministrar el lubricante específico (grasa multiuso o lubricante de engranajes abiertos) a zonas móviles específicas, según ciclos de lubricación que responden a condiciones operativas específicas.
- Sistema Estructural: Son los elementos que dan rigidez estructural al equipo, están construidos por planchas de acero de distinto espesor, soldadas entre ellas en diversos puntos. Se compone de estructuras como: Pluma, mango, correderas, caja de desgaste de la pluma, balde, tornamesa superior, chasis inferior, bastidores, pórtico, conjunto punta pluma y cables de suspensión.

Ciclo de trabajo de la pala eléctrica P&H 4100 XPC

El ciclo de trabajo consta de 4 fases: excavación, giro, vaciado y retorno; desarrollando para tal fin 3 funciones principales: empuje, levante y giro. El movimiento de propulsión, se utiliza para posicionar la pala en relación al banco o frente de carguío, para trasladarla según sean los requerimientos de mineral o según condiciones operacionales de la mina y para realizar movimientos cortos durante trabajos de mantenimiento.

La fase de excavación consiste en forzar el balde en el frente de carguío, realizando movimientos de levante y empuje simultáneamente, según se aprecia en la Figura A.0.4.

Figura A.0.4 Fase de Excavación (Manual del Fabricante)

La fase de giro comienza cuando el balde se encuentra cargado y a una altura controlada que permita girar el balde y posicionarlo sobre el camión. La fase de vaciado comienza antes que el balde cargado pase sobre la tolva de camión de extracción y consiste en vaciar la carga del balde, mediante un sistema de apertura de la tapa del balde. La fase de retorno incluye el giro de vuelta al frente de carguío y bajar el balde para cerrar la tapa.

La pala eléctrica está diseñada para cargar material suelto o fragmentado en los camiones. Estos camiones acarrean el material a otra área para su disposición o procesamiento. La pala puede cargar los camiones de capacidad de carga 360 (ton) en 3,5 pasadas, en ciclos de aproximadamente 30 (segundos).

Anexo B: Tiempos de ejecución Pautas de Mantenimiento

La Propuesta de mejora contempla la realización de 5 cartas Gantt correspondiente a las Pautas de Mantenimiento:

- Pauta de 250 (hrs)
- Paso n°1
- Paso n°2
- Paso n°3
- Paso n°4

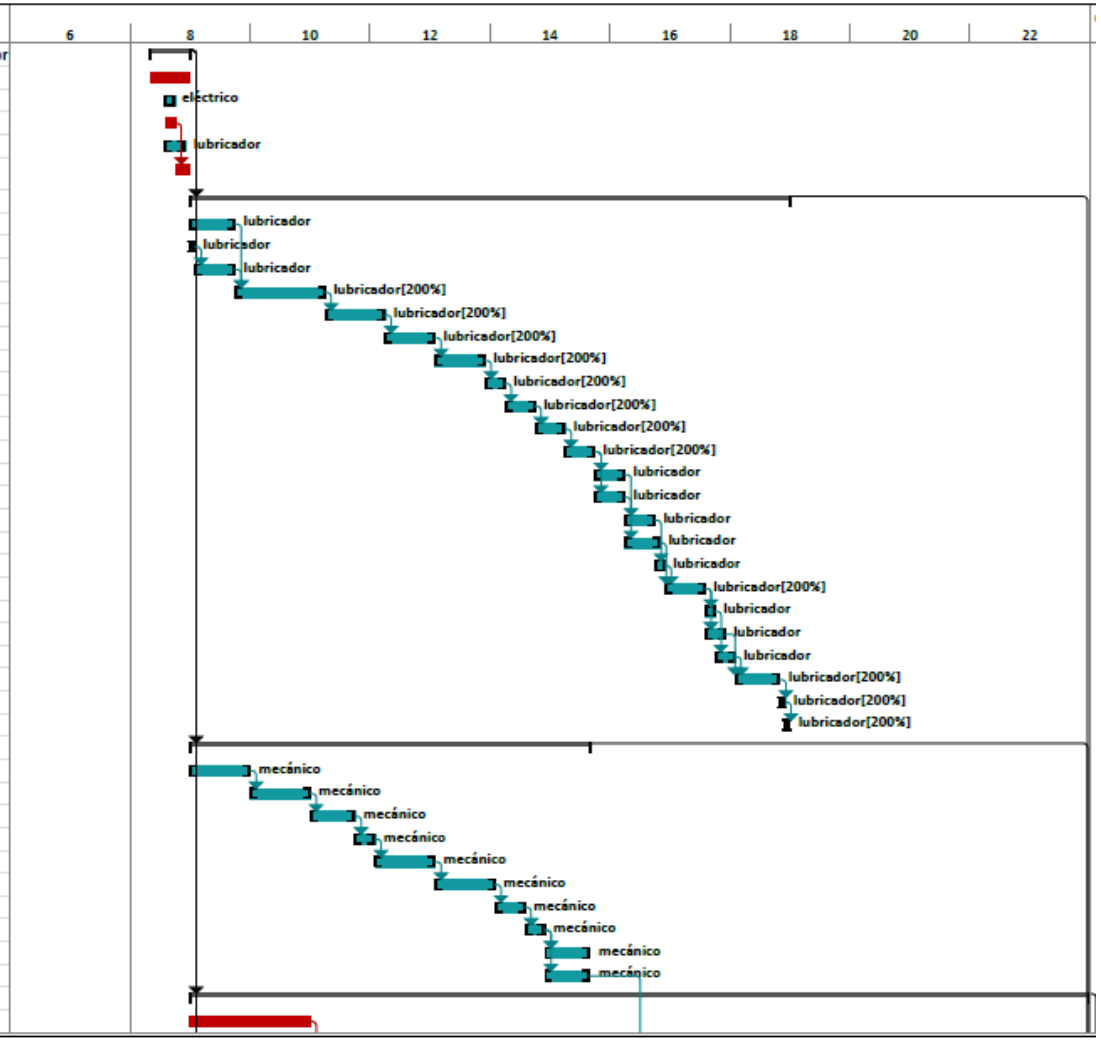
Una vez determinados los tiempos de ejecución de cada Pauta de Mantenimiento, se aprecia que tanto el Paso n°2 como el Paso n°4 requieren de una cantidad de tiempo que excede lo dictado por la Estrategia de Mantenimiento. Por lo tanto, ambas pautas son sometidas a un proceso de optimización.

Por simpleza y debido a que el Paso n°2 y el Paso n°4 son prácticamente iguales, se presenta el trabajo realizado sobre el Paso n°4:

- Carta Gantt previo a la optimización del Paso.
- CPM previo a la optimización del Paso.
- Carta Gantt posterior a la optimización del Paso.
- CPM posterior a la optimización del Paso.

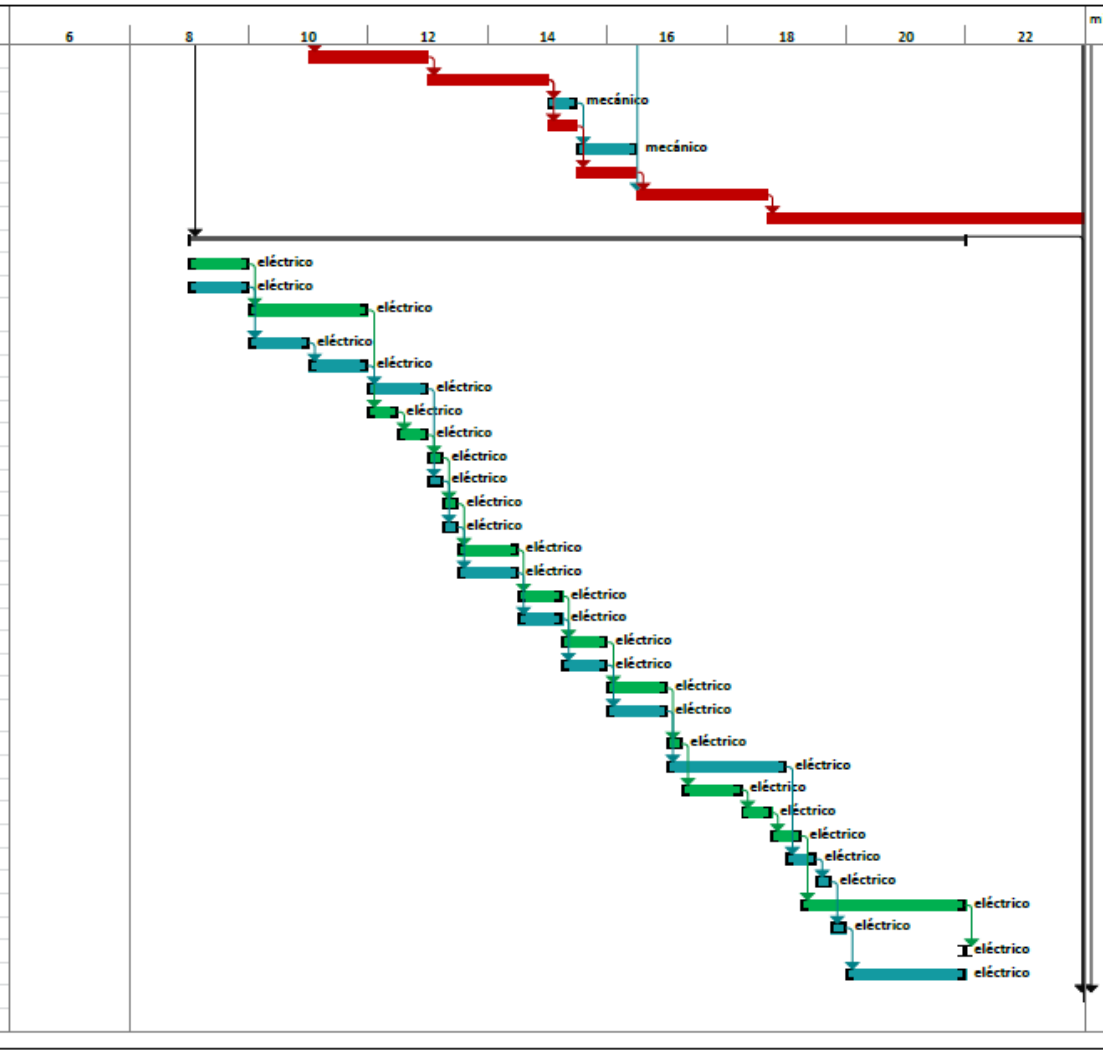
Carta Gantt del Paso n°4 (previo a la optimización del Paso)

Id	Nombre de tarea	Duración	Nombres de los recursos
1	PAUTA DINÁMICA	40 mins	eléctrico[200%],lubr
2	Pruebas Dinámicas Mecánicas	40 mins	mecánico[200%]
3	Sistema AirScrubPro	10 mins	eléctrico
4	Pruebas Dinámicas Eléctricas	10 mins	eléctrico
5	Pruebas Dinámicas de Lubricación	20 mins	lubricador
6	Pruebas Dinámicas del tensionador de correas crowd	15 mins	eléctrico
7	PAUTA DE LUBRICACIÓN	600 mins	lubricador[200%]
8	MONITOREO MUESTRAS DE ACEITE	45 mins	lubricador
9	Sistema neumático	5 mins	lubricador
10	Compresor de aire Sullair ES-8	40 mins	lubricador
11	Sala de lubricación	90 mins	lubricador[200%]
12	Sector inferior de la máquina	60 mins	lubricador[200%]
13	Conjunto propel derecho	50 mins	lubricador[200%]
14	Conjunto propel izquierdo	50 mins	lubricador[200%]
15	Corona de giro	20 mins	lubricador[200%]
16	Eje de giro frontal derecho	30 mins	lubricador[200%]
17	Eje de giro frontal Izquierdo	30 mins	lubricador[200%]
18	Eje de giro frontal Trasero	30 mins	lubricador[200%]
19	Planetario de giro frontal derecho	30 mins	lubricador
20	Planetario de giro frontal izquierdo	30 mins	lubricador
21	Planetario de giro trasero	30 mins	lubricador
22	Conjunto de levante	35 mins	lubricador
23	Pin Central	10 mins	lubricador
24	Ventiladores principales de sala máquinas	40 mins	lubricador[200%]
25	Air Scrub Pro (Tornillo sinfín)	10 mins	lubricador
26	Transmisión de empuje	20 mins	lubricador
27	Sistema dipper trip	20 mins	lubricador
28	Eje corredera (Shipper shaft)	45 mins	lubricador[200%]
29	Polea punta pluma lado derecho	5 mins	lubricador[200%]
30	Polea punta pluma lado izquierdo	5 mins	lubricador[200%]
31	PAUTA ESTRUCTURAL	400 mins	mecánico
32	Maquinaria inferior	60 mins	mecánico
33	Balde	60 mins	mecánico
34	Sala de máquinas	45 mins	mecánico
35	Transmisión de levante	20 mins	mecánico
36	Sistema de levante	60 mins	mecánico
37	Pluma	60 mins	mecánico
38	Mango	30 mins	mecánico
39	Base motor crowd	20 mins	mecánico
40	Sistema dipper trip	45 mins	mecánico
41	AirScrubPro	45 mins	mecánico
42	PAUTA MECÁNICA	820 mins	mecánico[400%]
43	Sistema de propulsión	120 mins	mecánico[200%]



(Continuación)

Id	Nombre de tarea	Duración	Nombres de los recursos
44	Sistema de Giro	120 mins	mecánico[200%]
45	Sistema Levante	120 mins	mecánico[200%]
46	Pin central	30 mins	mecánico
47	Cabina del operador	30 mins	mecánico
48	Tensionador hidráulico de la correas de empu	60 mins	mecánico
49	Conjunto Pluma	60 mins	mecánico
50	Airscrubpro	130 mins	mecánico[400%]
51	Sistema empuje	240 mins	mecánico[400%]
52	PAUTA ELÉCTRICA	720 mins	eléctrico[200%]
53	Soplado sala de máquinas	60 mins	eléctrico
54	Gabinete inferior de desconexión de alto volt	60 mins	eléctrico
55	Pauta alta tensión con equipo desenergizado y bloqueado	120 mins	eléctrico
56	Conjunto motor de propulsión CC lado derech	60 mins	eléctrico
57	Conjunto motor de propulsión CC lado izquier	60 mins	eléctrico
58	Gabinete inferior de control	60 mins	eléctrico
59	Reflectores (Flood Ligths) y luces interiores	30 mins	eléctrico
60	Escalera de acceso principal (lado derecho)	30 mins	eléctrico
61	Escalera auxiliar (lado izquierdo)	15 mins	eléctrico
62	Resolver transmisión de levante	15 mins	eléctrico
63	Compresor de aire Sullair ES-8 (30XH) frontal	15 mins	eléctrico
64	Compresor de aire Sullair ES-8 (30XH) trasero	15 mins	eléctrico
65	Conjunto del motor de levante CC frontal	60 mins	eléctrico
66	Conjunto del motor de levante CC Trasero	60 mins	eléctrico
67	Conjunto del motor de giro CC frontal derech	45 mins	eléctrico
68	Conjunto del motor de giro CC frontal izquier	45 mins	eléctrico
69	Conjunto del motor de giro CC trasero	45 mins	eléctrico
70	Motor de empuje	45 mins	eléctrico
71	Colector de bajo voltaje	60 mins	eléctrico
72	Gabinete de control, armadura y campo. Usar Pulsera Antiestática	60 mins	eléctrico
73	PMD/GUI/ Monitor de panel de visión	15 mins	eléctrico
74	Gabinetes Auxiliares	120 mins	eléctrico
75	Gabinete suministro transferencia	60 mins	eléctrico
76	Gabinete convertidor	30 mins	eléctrico
77	Gabinete RPC	30 mins	eléctrico
78	Gabinete de supresión	30 mins	eléctrico
79	Resolver de Empuje	15 mins	eléctrico
80	Tensionador de correas crowd	60 mins	eléctrico
81	Motor abrir balde (Dipper Trip)	15 mins	eléctrico
82	Sistema Air Scrub Pro	45 mins	eléctrico
83	Gabinete de operadores, consola y control	60 mins	eléctrico
84	PRUEBAS FINALES DE ENTREGA	20 mins	
85	Pruebas finales de entrega	20 mins	



CPM previo a la optimización del Paso

Se presenta un resumen de la red de actividades del Paso n°4 para las palas eléctricas P&H 4100 XPC mediante el diagrama CPM (Critical Path Method), el cual recoge los tiempos de ejecución de las pautas por especialidad.

El tiempo requerido para completar cada actividad es estimado en base a la experiencia del personal. El CPM es un modelo determinístico que no tiene en cuenta la variación en el tiempo de finalización, por lo que sólo se utiliza un número para la estimación de tiempo de una actividad [36]:

- ES – Earliest Start : Tiempo de inicio más temprano de la actividad.
- EF – Earliest Finish : Tiempo de finalización más temprano de la actividad.
- LS – Latest Start : Tiempo de inicio más tardío de la actividad.
- LF – Latest Finish : Tiempo de finalización más tardío de la actividad.

La ruta crítica es "Inicio – P. Dinámica – P. Mecánica – Pruebas finales de entrega – Fin" y queda señalada en el diagrama por las flechas de color rojo; se puede advertir que el tiempo total de ejecución es de 880 (minutos) lo que equivale a 14 (horas) y 40 (minutos), excediendo ampliamente las 14 (horas) dictadas por la Estrategia de Mantenimiento.

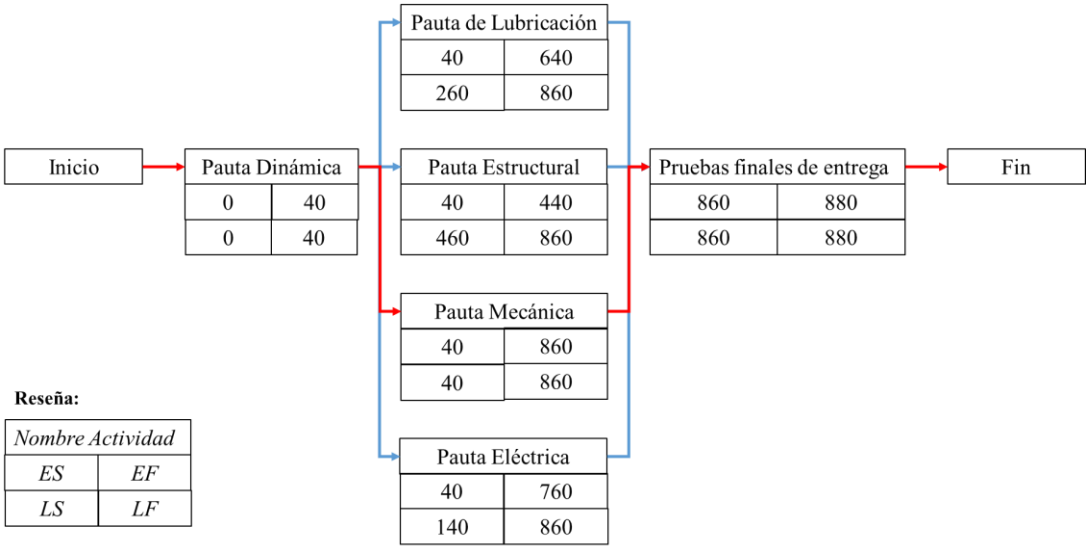
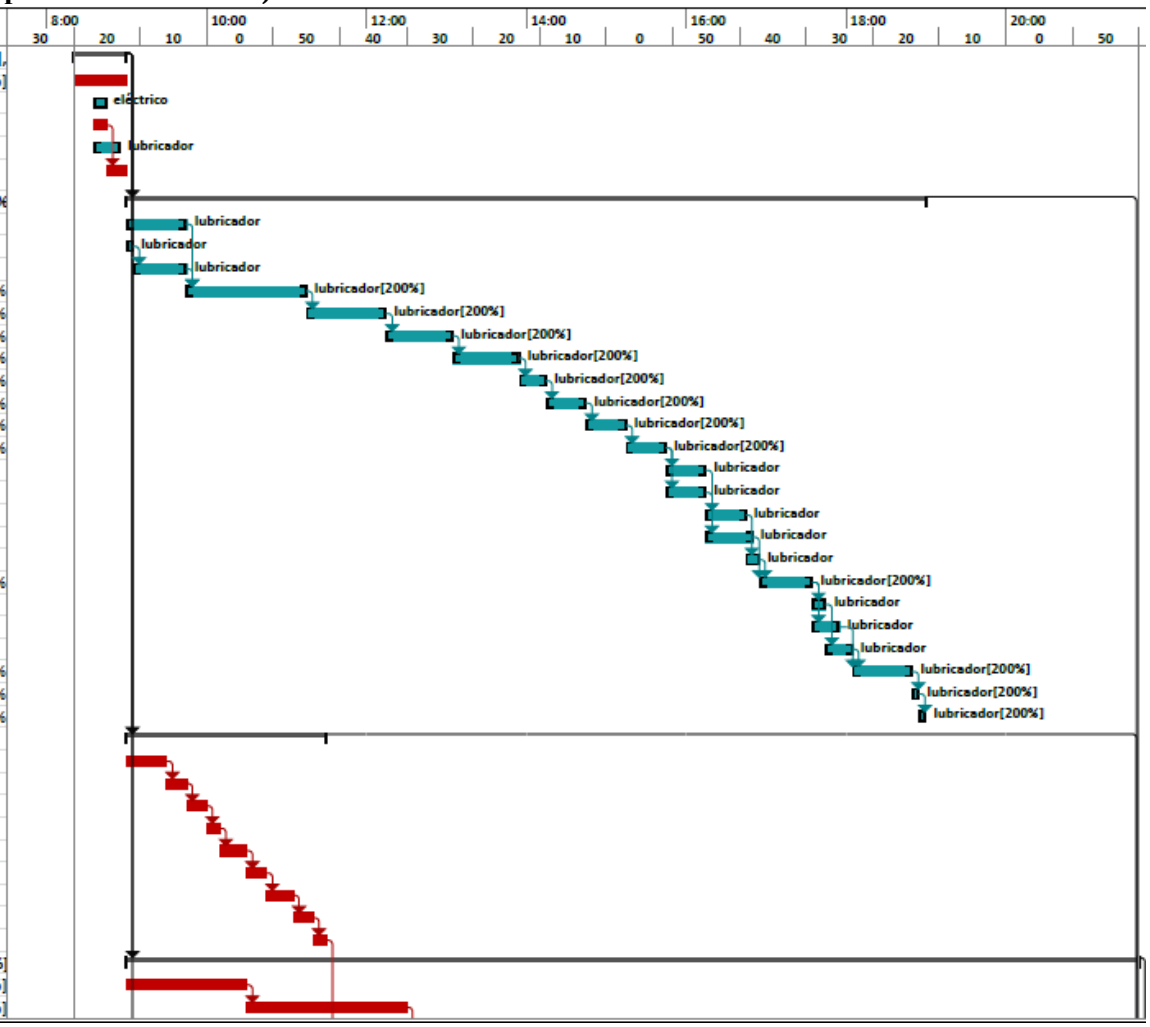


Figura A.0.5 CPM Resumen del Paso n°4 (previo a la optimización del Paso)

La Propuesta de mejora busca la optimización de la ruta crítica, para poder cumplir con lo estipulado por la Estrategia de Mantenimiento e incluso contemplando un "colchón" de tiempo para la realización de actividades indirectas al trabajo de mantenimiento como almuerzo o cambio de turno.

Carta Gantt del Paso n°4 (posterior a la optimización del Paso)

Id	Nombre de tarea	Duración	Nombres de los recursos
1	PAUTA DINÁMICA	40 mins	eléctrico[200%],
2	Pruebas Dinámicas Mecánicas	40 mins	mecánico[200%]
3	Sistema AirScrubPro	10 mins	eléctrico
4	Pruebas Dinámicas Eléctricas	10 mins	eléctrico
5	Pruebas Dinámicas de Lubricación	20 mins	lubricador
6	Pruebas Dinámicas del tensionador de correas crowd	15 mins	eléctrico
7	PAUTA DE LUBRICACIÓN	600 mins	lubricador[200%
8	MONITOREO MUESTRAS DE ACEITE	45 mins	lubricador
9	Sistema neumático	5 mins	lubricador
10	Compresor de aire Sullair ES-8	40 mins	lubricador
11	Sala de lubricación	90 mins	lubricador[200%
12	Sector inferior de la máquina	60 mins	lubricador[200%
13	Conjunto propel derecho	50 mins	lubricador[200%
14	Conjunto propel izquierdo	50 mins	lubricador[200%
15	Corona de giro	20 mins	lubricador[200%
16	Eje de giro frontal derecho	30 mins	lubricador[200%
17	Eje de giro frontal Izquierdo	30 mins	lubricador[200%
18	Eje de giro frontal Trasero	30 mins	lubricador[200%
19	Planetario de giro frontal derecho	30 mins	lubricador
20	Planetario de giro frontal izquierdo	30 mins	lubricador
21	Planetario de giro trasero	30 mins	lubricador
22	Conjunto de levante	35 mins	lubricador
23	Pin Central	10 mins	lubricador
24	Ventiladores principales de sala máquinas	40 mins	lubricador[200%
25	Air Scrub Pro (Tornillo sinfín)	10 mins	lubricador
26	Transmisión de empuje	20 mins	lubricador
27	Sistema dipper trip	20 mins	lubricador
28	Eje corredera (Shipper shaft)	45 mins	lubricador[200%
29	Poles punta pluma lado derecho	5 mins	lubricador[200%
30	Poles punta pluma lado izquierdo	5 mins	lubricador[200%
31	PAUTA ESTRUCTURAL	150 mins	mecánico
32	Maquinaria inferior	30 mins	mecánico
33	Tapa balde	15 mins	
34	Balde	15 mins	mecánico
35	Sala de máquinas	10 mins	mecánico
36	Sistema de levante	20 mins	mecánico
37	Pluma	15 mins	mecánico
38	Base motor crowd	20 mins	mecánico
39	Techo sala de máquinas	15 mins	mecánico
40	Sistema dipper trip	10 mins	mecánico
41	PAUTA MECÁNICA	720 mins	mecánico[400%]
42	Sistema de propulsión	90 mins	mecánico[200%]
43	Sistema de Giro	120 mins	mecánico[200%]



(Continuación)

Id	Nombre de tarea	Duración	Nombres de los recursos
44	Sistema Levante	120 mins	mecánico[200%]
45	Pin central	30 mins	mecánico
46	Cabina del operador	30 mins	mecánico
47	Tensionador hidráulico de la correas de empu	60 mins	mecánico
48	Conjunto Pluma	60 mins	mecánico
49	Airscrubpro	150 mins	mecánico[400%]
50	Sistema empuje	240 mins	mecánico[400%]
51	PAUTA ELÉCTRICA	720 mins	eléctrico[200%]
52	Soplado sala de máquinas	60 mins	eléctrico
53	Gabinete inferior de desconexión de alto volt	60 mins	eléctrico
54	Pauta alta tensión con equipo desenergizado y bloqueado	120 mins	eléctrico
55	Conjunto motor de propulsión CC lado derech	60 mins	eléctrico
56	Conjunto motor de propulsión CC lado izquier	60 mins	eléctrico
57	Gabinete inferior de control	60 mins	eléctrico
58	Reflectores (Flood Ligths) y luces interiores	30 mins	eléctrico
59	Escalera de acceso principal (lado derecho)	30 mins	eléctrico
60	Escalera auxiliar (lado izquierdo)	15 mins	eléctrico
61	Resolver transmisión de levante	15 mins	eléctrico
62	Compresor de aire Sullair ES-8 (30XH) frontal	15 mins	eléctrico
63	Compresor de aire Sullair ES-8 (30XH) trasero	15 mins	eléctrico
64	Conjunto del motor de levante CC frontal	60 mins	eléctrico
65	Conjunto del motor de levante CC Trasero	60 mins	eléctrico
66	Conjunto del motor de giro CC frontal derech	45 mins	eléctrico
67	Conjunto del motor de giro CC frontal izquier	45 mins	eléctrico
68	Conjunto del motor de giro CC trasero	45 mins	eléctrico
69	Motor de empuje	45 mins	eléctrico
70	Colector de bajo voltaje	60 mins	eléctrico
71	Gabinete de control, armadura y campo. Usar Pulsera Antiestática	60 mins	eléctrico
72	PMD/GUI/ Monitor de panel de visión	15 mins	eléctrico
73	Gabinetes Auxiliares	120 mins	eléctrico
74	Gabinete suministro transferencia	60 mins	eléctrico
75	Gabinete convertidor	30 mins	eléctrico
76	Gabinete RPC	30 mins	eléctrico
77	Gabinete de supresión	30 mins	eléctrico
78	Resolver de Empuje	15 mins	eléctrico
79	Tensionador de correas crowd	60 mins	eléctrico
80	Motor abrir balde (Dipper Trip)	15 mins	eléctrico
81	Sistema Air Scrub Pro	45 mins	eléctrico
82	Gabinete de operadores, consola y control	60 mins	eléctrico
83	PRUEBAS FINALES DE ENTREGA	20 mins	
84	Pruebas finales de entrega	20 mins	

CPM posterior a la optimización del Paso

La optimización a la ruta crítica antes señalada como “Inicio – P. Dinámica – P. Mecánica – Pruebas finales de entrega – Fin” fue rebajada en 100 (minutos), con lo cual el tiempo total de ejecución del Paso se reduce y queda en 13 (horas). De esta manera se lograría cumplir con el tiempo dictado por la Estrategia de Mantenimiento e incluso se considera un “colchón” de tiempo de 1 (hora) para la realización de actividades indirectas al mantenimiento como almuerzo o cambio de turno.

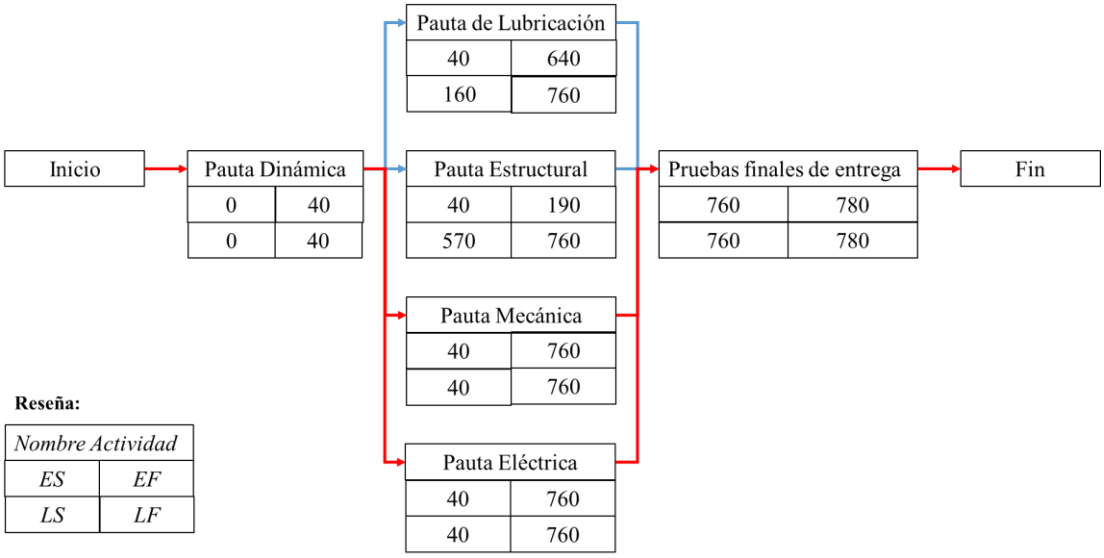


Figura A.0.6 CPM Resumen del Paso n°4 (posterior a la optimización del Paso)

La optimización dice relación con la reducción de actividades. Se detecta duplicidad de actividades entre la Pauta Estructural del Paso en cuestión y una pauta realizada por el personal inspector de flota. Dicha reducción de actividades deriva en la finalización prematura de funciones de un mantenedor mecánico, el cual es asignado luego para apoyar la ejecución de la Pauta Mecánica (perteneciente a la ruta crítica) logrando así la optimización total del Paso.

Se exhibe ahora un nuevo escenario donde coexisten dos rutas críticas, que son señaladas en el diagrama con flechas de color rojo. Por lo tanto, una posterior optimización de los tiempos de ejecución del Paso n°4 debería considerar la disminución del tiempo de ambas rutas críticas.

Anexo C: Ciclo de Mantenimiento

El mantenimiento no es una actividad aislada sino que interactúa con otras áreas de la organización, principalmente con producción. Por lo tanto, se debe considerar el Ciclo de Mantenimiento como un ciclo donde influyen tanto factores ligados directamente a la gestión del mantenimiento como factores externos al área.

El ciclo debe disponer de personal especializado para la realización de 6 procesos claramente definidos: [8]

Identificación

Corresponde al inicio del ciclo de mantenimiento, en este proceso se registran eventos y necesidades que requieren atención de mantenimiento. Para facilitar la planificación, se debe proporcionar información de calidad tal como los recursos físicos y humanos para enfrentar la actividad, así como su grado de urgencia (conocido como prioridad).

En el mantenimiento asistido por ERP se identifican dos tipos de trabajos: Actividades que surgen de manera automática pues corresponden a intervenciones cargadas en el sistema ERP bajo el concepto de data maestra, la cual es dictada por la estrategia de mantenimiento. Como también trabajos que surgen producto de un Aviso en ERP tras su detección en terreno y que deben ser visadas por personal supervisor para la emisión de una Orden de Trabajo - OT.

Planificación

La planificación determina cuando y qué trabajos de mantenimiento se realizarán. Se elabora un plan secuenciado, documentado y con plazos establecidos, además se gestionan los recursos necesarios para la ejecución efectiva, eficiente y segura de los trabajos. El proceso debe responder a las directrices de la estrategia de mantenimiento cargada en el sistema ERP, hallazgos y solicitudes de mantenimiento.

Existe planificación de corto, mediano y largo plazo, cada una aporta información de entrada para diferentes áreas: abastecimiento, operaciones, RRHH, mantenimiento operativo, HSE, etc. En la etapa de validación de trabajos (pre programación y priorización) es necesario asegurar la inclusión de todas las actividades que agregan mayor valor a los resultados de las

etapas siguientes del ciclo, controlando de esta forma el riesgo del negocio inherente a las necesidades de mantenimiento.

Programación

En el proceso de programación del mantenimiento se compromete y consolida la fecha de ejecución del trabajo para el próximo periodo de ejecución. Se debe verificar y confirmar la disponibilidad de los recursos físicos y humanos necesarios para el trabajo, en ese sentido es mandatorio que no programar ningún trabajo si no se disponen de los recursos al momento predestinado.

La programación culmina con la revisión y validación final del programa junto al nivel tácticos de las áreas de mantenimiento y operaciones, asegurando así su compromiso con el mismo.

Asignación

Labor correspondiente a los supervisores, quienes diariamente deben distribuir entre su equipo de mantenedores las tareas listadas en el programa semanal, además de aportar indicaciones específicas para el trabajo a ejecutar y asegurar la disponibilidad del equipamiento necesario.

El proceso de asignación requiere un alto discernimiento y un conocimiento acabado del personal a cargo para la conformación de cuadrilla más idónea para cada actividad particular. Por otra parte, la asignación puede verse alterada ante el surgimiento de emergencias, por eso el personal mantenedor debe estar dispuesto a eventuales reasignaciones.

Ejecución

Corresponde a la realización del trabajo. Equipos humanos bien entrenados y motivados ejecutan el mantenimiento bajo estándares de calidad, costo, tiempo y seguridad agregando valor al negocio.

La ejecución se facilita cuando los procesos predecesores fueron desarrollados de manera efectiva. La clave de este proceso es la calidad, ya que se puede contar con una estrategia

sólida, una planificación adecuada y un holgado presupuesto pero si el mantenimiento no se ejecuta correctamente entonces nunca se obtendrán los efectos esperados.

Análisis

Este proceso se nutre de la información proveniente de las OT's; a partir de las cuales se realizan análisis del comportamiento de los equipos e instalaciones, corroborando que se estén produciendo los impactos esperados. En conformidad se desarrollan planes de mejora necesarios y ajustes en los planes y/o estrategias de mantenimiento.

También es responsabilidad de este proceso la administración de amenazas o vulnerabilidad que puedan representar impactos relevantes a la continuidad operacional del proceso. Y es responsable de realizar los análisis de causa raíz cuando amerite, involucrando a todos los actores que sean relevantes.

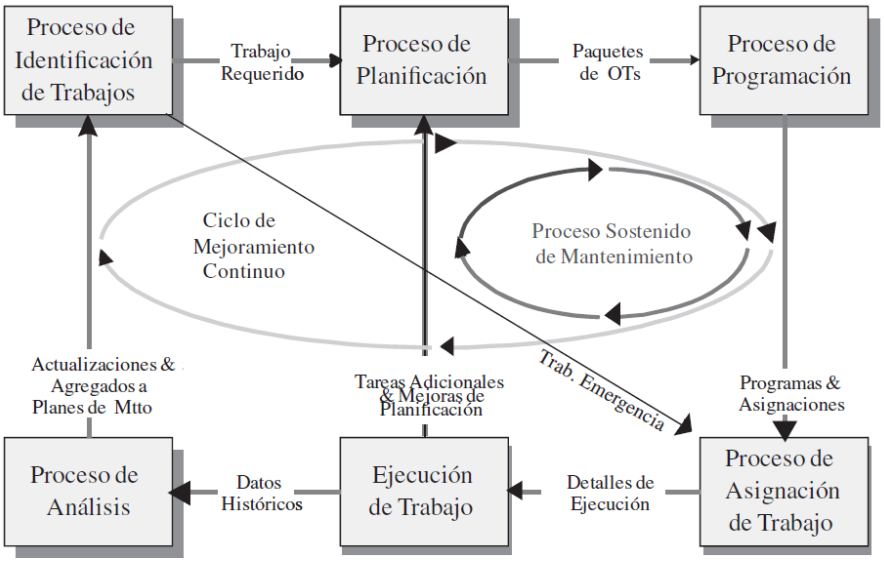


Figura A.0.7 Proceso de Mantenimiento (P. Viveros et al. 2013)

En la Figura A.0.7 se presentan dos ciclos de trabajos muy representativos y necesarios en el modelo de gestión de mantenimiento.

El primero, reconocido como el Ciclo Sostenido de Mantenimiento o ciclo habitual de trabajo, explica la secuencia lógica del proceso táctico-operativo de las actividades de

mantenimiento, las cuales son: planificación, programación, asignación de tareas/trabajo y la ejecución correspondiente.

El segundo, definido como Ciclo de Mejoramiento Continuo, agrega al ciclo habitual dos nuevas actividades, el proceso de análisis de lo ya ejecutado para la búsqueda respectiva de oportunidades de mejora (ej: modificar la estrategia de mantenimiento) y el proceso de identificación de tareas necesarias para implementar las mejoras definidas anteriormente.

Evidentemente y dependiendo del nivel de emergencia, existirá la posibilidad de hacer un salto directamente hasta el proceso de asignación de trabajo sin pasar por las etapas de planificación y programación: línea diagonal en la Figura A.0.7 [37].