

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA**

**PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD
APLICADO AL TRACTOR ORUGA KOMATSU D375-5 EN FAENA ANDINA**

Trabajo de Titulación para optar al Título
Profesional de Ingeniero de Ejecución en
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Alumno:

Patricio Raimundo Palma Rivera

Profesor Guía:

Ing. Carlos Baldi Gonzalez

2016

DEDICATORIA:

ESTE TRABAJO ESTA DEDICADO EN HOMENAJE POSTUMO A MI MADRE
NORA RIVERA.

RESUMEN EJECUTIVO

KEYWORDS: CONFIABILIDAD, DISPONIBILIDAD, CONTEXTO OPERACIONAL

En el ámbito del mantenimiento, cualquiera sea la rama de la industria, es habitual encontrar abundancia de especialistas con sólidos conocimientos y experiencia para resolver eficientemente problemas, sin embargo, esto está acompañado de una notoria falta de herramientas integrales para la gestión de la actividad que permitan orientar los esfuerzos y los recursos en forma sistemática, como así también reducir los costos y el riesgo.

Normalmente se observa que la tendencia es orientar el mantenimiento a los protocolos genéricos y a estrategias de sustitución cíclica, pero los problemas de confiabilidad de todas formas se manifiestan.

En el siguiente trabajo se busca orientar los esfuerzos y aplicar la ingeniería en mantenimiento en la mejora de la confiabilidad de un activo físico del proceso de extracción minera, con el propósito de mejorar sus indicadores de calidad.

Se contará con el apoyo de un sistema de gestión de mantenimiento ya avanzado de la empresa Komatsu y su abierta disposición a la mejora continua.

Se utilizará y se pondrá en práctica las herramientas que propone la filosofía del mantenimiento centrado en la confiabilidad en el libro de John Moubray RCM II.

Con los recursos informáticos disponibles, la experiencia de los técnicos y la conducción adecuada de la técnica, se realizarán las propuestas para el mantenimiento que logren mejorar las indicaciones de gestión.

ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO

SIGLA Y SIMBOLOGÍA

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1.1. PROCESO EXTRACCIÓN MINERA A RAJO ABIERTO

1.1.1. Perforación

1.1.2. Tronadura

1.1.3. Carguío

1.1.4. Transporte

1.1.5. Importancia del tractor sobre oruga para el proceso

1.2. CODELCO Y FAENA ANDINA

1.2.1. Futuro de Andina

1.3. CONTRATOS MARC

1.3.1. Antecedentes del contrato Marc Andina

1.4. ORGANIZACIÓN KOMATSU ANDINA

1.4.1. Objetivo y estrategia de Komatsu Andina

1.4.2. Tácticas de mantenimiento

1.4.3. Planificación del mantenimiento

1.4.4. Gestión de recursos

1.4.5. Programación del mantenimiento

1.4.6. Ejecución de tareas

1.4.7. Medición de indicadores de gestión, metas y desviaciones.

1.4.8. Mejoramiento continuo

1.4.9. Justificación del estudio

1.5. MARCO TEÓRICO RCM

1.5.1. Mantenimiento centrado en confiabilidad

1.5.2. Historia del RCM

1.5.3. Las siete preguntas básicas del RCM

1.5.4. Conformación del grupo de análisis RCM

1.5.5. Funciones y parámetros de funcionamiento

1.5.6. Fallas funcionales

1.5.7. Modos de falla

1.5.8. Efectos de las fallas

- 1.5.9. Consecuencias de falla
- 1.6. FUNCIÓN DEL ACTIVO Y SUS SISTEMAS
- 1.6.1. Función del Tractor oruga D375-5
- 1.6.2. Análisis funcional de los sistemas críticos
- 1.6.3. Descripción y función del tren de rodado

CAPÍTULO 2: APLICANDO EL PROCESO RCM

- 2.1. CONFORMACIÓN DEL GRUPO DE ANÁLISIS
- 2.1.1. Hoja de información
- 2.1.2. Índice de severidad
- 2.1.3. Diagrama de decisión
- 2.1.4. Hoja de decisión
- 2.2. PROCESO DE SELECCIÓN DEL ACTIVO PARA EL ANÁLISIS
- 2.2.1. Análisis estadístico de flotas segundo semestre 2014
- 2.2.2. Análisis de sistemas
- 2.2.3. Análisis de subsistemas
- 2.3. ANÁLISIS DE EL CONTEXTO OPERACIONAL
- 2.3.1. Distancias de traslado muy extensas
- 2.3.2. Condiciones de clima y de la superficie en que opera
- 2.3.3. Operación e instrucción de los operadores
- 2.3.4. Altura geográfica
- 2.3.5. Normativa SERNAGEOMIN y riesgos a la seguridad
- 2.3.6. Tronaduras mal realizadas
- 2.3.7. Geología de la mina
- 2.4. FALLAS FUNCIONALES
- 2.4.1. Alarmas y códigos de falla
- 2.5.2. Fallas por condición estructural
- 2.5.3. Fallas relacionadas con la edad
- 2.6. IDENTIFICACIÓN DE LOS MODOS DE FALLA
- 2.7. EFECTOS DE LAS FALLAS
- 2.8. CONSECUENCIAS DE LAS FALLAS
- 2.9. ANÁLISIS DE RIESGO
- 2.9.1. Matriz de valoración del riesgo

CAPÍTULO 3: SELECCIÓN DE TAREAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

- 3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS PROPUESTAS DEL RESULTADO RCM
- 3.2. MODOS DE FALLA SELECCIONADOS

- 3.2.1. Descripción de las tareas a realizar al sistema de refrigeración de motor diésel
- 3.2.2. Descripción de las tareas a realizar del tren de rodado
- 3.2.3. Termografía infrarroja en la detección temprana de fallas en rodado
- 3.2.4. Programa de sustitución cíclica de bastidor y oruga
- 3.2.5. Planificación de tareas propuestas
- 3.3. SEGUIMIENTO CONTROL Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS
- 3.3.1. Análisis de resultado primer semestre 2015

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

- ANEXO A: HOJA DE REGISTROS DE REPARACIÓN Y BACK LOG
- ANEXO B: CODIFICACIÓN
- ANEXO C: CODIFICACIÓN
- ANEXO D: DIAGRAMA DE DECISIÓN
- ANEXO E: DATOS TÉCNICOS
- ANEXO F: PAUTA DE INSPECCION DE RODADO EN TERRENO
- ANEXO G: PAUTA DE LAVADO RADIADOR

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1-1. Perforadora en operación
- Figura 1-2. Tronadura mina rajo fase 1 en Andina 2014
- Figura 1-3. Equipos en zona de carguío
- Figura 1-4. Camión de extracción Komatsu 930E-4
- Figura 1-5. Fotografía satelital de la ubicación de la mina
- Figura 1-6. Imagen proyecto de expansión 244
- Figura 1-7. Estrategia de mantenimiento
- Figura 1-8. Intervención imprevista de equipos en terreno
- Figura 1-9. Planificación del mantenimiento
- Figura 1-10. Imagen menú principal software RM+Care
- Figura 1-11. Página principal de biblioteca de operaciones
- Figura 1-12. Soportes para cambio de componentes
- Figura 1-13. Panorámica de talleres

- Figura 1-14. Camión lubricador
- Figura 1-15. Pauta tipo de mantenimiento de 250 horas
- Figura 1-16. Equipo al interior de talleres
- Figura 1-17. Hoja de reparación y back log
- Figura 1-18. La conformación típica de un grupo de revisión RCM
- Figura 1-19. Esquema RMC
- Figura 1-20. Calculo de capacidad de la hoja topadora
- Figura 1-21. Dimensiones del equipo
- Figura 1-22. Identificación de partes del equipo
- Figura 1-23. Funciones del equipo en proceso
- Figura 1-24. Estructura de sistemas y sub-sistemas del tractor oruga D375-5
- Figura 1-25. Especificaciones motor diésel Komatsu D375-5
- Figura 1-26. Circuito de refrigeración
- Figura 1-27. Circuito de combustible
- Figura 1-28. Esquema de entrada y evacuación de gases
- Figura 1-29. Especificaciones técnicas de la transmisión
- Figura 1-30. Especificaciones técnicas del sistema hidráulico
- Figura 1-31. Esquema de sistema de control
- Figura 1-32. Desembalaje modular
- Figura 1-33. Desmontaje bastidor de oruga D375-5
- Figura 1-34. Detalle del funcionamiento y diseño del tren de rodaje
- Figura 1-35. Apoyo de apoyo conjunto pasador y rueda dentada
- Figura 1-36. Detalle de la construcción de los pasadores de oruga
- Figura 1-37. Detalle de buje y pasador de oruga
- Figura 1-38. Ejemplo de eslabón maestro
- Figura 1-39. Ejemplo del desgaste eslabones
- Figura 1-40. Método de reacondicionamiento de zapata de oruga
- Figura 1-41. Especificaciones técnicas tren de rodado
- Figura 1-42. Desgaste de rodillos en pestaña doble o simple
- Figura 1-43. Rodillos inferiores
- Figura 1-44. Detalle en corte de rodillo inferior
- Figura 1-45. Rodillo superior en corte y detalle de la zona de desgaste
- Figura 1-46. Rueda guía
- Figura 1-47. Mando final y segmentos
- Figura 2-1. Pasos del RCM
- Figura 2-2. Ejemplo de hoja de información
- Figura 2-3. Diagrama de decisión

- Figura 2-4. Ejemplo de hoja de decisión a completar
- Figura 2-5. Interpretación del grafico Jack Knife
- Figura 2-6. Imagen del menú del software RM+Care
- Figura 2-7. Obtención de MTBF clasificados por sistemas
- Figura 2-8. Obtención de disponibilidad por sistemas
- Figura 2-9. Concepto de rendimiento
- Figura 2-10. Equipo con problemas de arranque por bajas temperaturas
- Figura 2-11. Incidente en zona de descarga en botadero
- Figura 2-12. Equipo empujando roca
- Figura 2-13. Muestra de desgaste por acción abrasiva de la roca
- Figura 2-14. Panel de alarmas
- Figura 2-15. Controladores de la transmisión y dirección
- Figura 2-16. Descarga de historial de eventos de falla de motor diésel
- Figura 2-17. Descarga de historial de eventos de falla de sistema de rodado
- Figura 2-18. Diagrama P-F representa la evolución de una falla
- Figura 2-19. Representación del ciclo de vida de un equipo o componente
- Figura 2-20. Análisis de causa raíz modelo espina de pescado ante los problemas de alarma de temperatura de refrigerante
- Figura 2-21. Análisis de causa raíz ante los problemas de obstrucción del panel de radiador de motor diésel
- Figura 2-22. Radiador de motor diésel obstruido por acumulación de sedimento se evidencia falta de lavado
- Figura 2-23. Matriz de riesgo
- Figura 3-1. Clasificación de tareas según RCM, Fuente SAE JA 1011
- Figura 3-2. Radiador obstruido por acumulación de suciedad
- Figura 3-3. Incorporación del anemómetro como herramienta predictiva para verificar la limpieza del radiador
- Figura 3-4. Procedimiento de medición de rodado
- Figura 3-5. Informe mensual de desgaste y proyección de duración de zapatas
- Figura 3-6. Se aprecia a la izquierda falla de rodamiento de rodillo que pudo ser evitada con el uso de termografía infrarroja
- Figura 3-7. Cambio programado de bastidor del sistema de rodado

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1.	Registro de avance de horas
Tabla 1-2.	Resumen de las estrategias de manteniendo
Tabla 1-3.	Coefficiente de transformación ct
Tabla 2-1.	Resumen estadístico por modelo 2do semestre 2014
Tabla 2-2.	Resumen de resultados obtenidos en análisis segundo semestre 2014
Tabla 2-3.	Resumen de resultados obtenidos en análisis de sub sistemas del segundo semestre 2014
Tabla 2-4.	Resumen de resultados obtenidos en análisis de sub sistemas del segundo semestre 2014
Tabla 2-5.	Hoja de información para las falla de motor diésel
Tabla 2-6.	Hoja de información para las falla de motor diésel sub sistema refrigeración
Tabla 2-7.	Hoja de información para las falla de tren de rodado
Tabla 2-8.	Ponderación de los factores que afectan los niveles de riesgo
Tabla 2-9.	Ponderación de matriz de riesgo
Tabla 3-1.	Hoja de decisión para el sistema de refrigeración de motor diésel
Tabla 3-2.	Hoja de decisión para el sistema de rodado
Tabla 3-3.	Hoja de decisión para el sub sistema bastidor
Tabla 3-4.	Planificación de actividades

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafico 2-1.	Análisis Jack Knife segundo semestre 2014
Grafico 2-2.	Disponibilidad D375-5, mensual 2014
Grafico 2-3.	Jack Knife de sistemas D375-5 2do semestre 2014
Grafico 2-4.	Pareto de Sub-sistemas de motor diésel 2do semestre 2014
Grafico 2-5.	Pareto de Sub-sistemas rodado D375-5 2do semestre 2014
Grafico 2-6.	Pareto de Sub-sistemas D375-5 2do semestre 2014
Gráfico 2-7.	Tendencia de las distancias recorridas por los equipos estando en F3
Grafico 3-1.	Evolución de alarmas por alta temperatura refrigerante de motor
Grafico 3-2.	Evolución de alarmas por bajo nivel de refrigerante de motor
Grafico 3-3.	Evolución de indicadores de gestión

Grafico 3-4. Evolución de la mantenibilidad del sistema tren de rodado

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 3-1. Seguimiento y control de las tareas registradas en la hoja de decisión

SIGLA Y SIMBOLOGÍA

A. SIGLAS

ANFO	: Nitrato de amonio
ART	: Análisis de riesgos en el trabajo
CAEX	: Camión de extracción
CFK	: Centro de Formación Komatsu
CODELCO	: Corporación del cobre
CPH	: Costo por hora de operación
D375A-5	: Modelo de tractor sobre oruga komatsu
EX	: Reparación excluida
KCH	: Komatsu Chile
KPI	: Indicadores claves de desempeño
KTPD	: Kilo toneladas por día
LCC	: Costo del ciclo de vida
MARC	: Contrato de mantenimiento y reparación.
MP	: mantenimiento programado
MTBF	: Tiempo medio entre fallas-
MTTR	: Tiempo medio para reparar
NRTS	: Negativa responsable al trabajo sub estándar
PC5500	: Modelo de pala hidráulica Komatsu
R+M CARE	: Software de mantenimiento.
RCM	: Mantenimiento centrado en la confiabilidad.
REMAN	: Reparación y maestranza
RI	: Reparación imprevista
RP	: Reparación programada
SAP	: Sistema de aplicaciones y productos
SERNAGEOMIN	: Servicio nacional de geología y minería
TBO	: Tiempo entre reparaciones mayores
TCO	: Costo total de propiedad

B. SIMBOLOGÍA

% : Porcentaje

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se desarrollará dentro de las instalaciones de Codelco División Andina ubicada en la región de Valparaíso, específicamente en la mina a rajo abierto, denominada Sur Sur.

Desde el año 2008 Codelco Chile desarrolla proyecto denominado “Nueva Andina Fase II”, para ello adquirió una cierta cantidad de equipos para su proceso de extracción. De manera estratégica Codelco hace el traspaso el riesgo del mantenimiento de sus equipos, a empresas contratistas y entre ellas se encuentra Komatsu Chile S.A, representante de la marca en el País.

La empresa Komatsu Chile S.A, en la actualidad continúa prestando servicios a través de un contrato del tipo MARC nombrándolo como “Faena Andina”. En esta faena se hizo cargo principalmente del mantenimiento de las siguientes flotas: 33 camiones de extracción Komatsu 930E-4, 2 palas Komatsu PC5500 y 5 tractores sobre oruga Komatsu D375-5.

Desde el inicio de este contrato Komatsu ha logrado los resultados que contractualmente exige Codelco, la disponibilidad y confiabilidad de sus equipos son claves para obtener los resultados que espera de su proyecto.

En el último año la flota de tractores sobre oruga D375-5, ha experimentado ciertas bajas en los indicadores de gestión, siendo tema para el desarrollo de este trabajo y la oportunidad de incluir la ingeniería en mantenimiento en equipos móviles.

Desde la estrategia del mantenimiento proactivo y la filosofía de “mejora continua” que promueve fuertemente la Empresa, se intenta resolver de qué forma y por qué, estos equipos fallan en cumplir sus funciones. La metodología a usar es la del mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) del libro de John Moubray.

El objetivo principal de este trabajo es mejorar la confiabilidad y con ello garantizar la disponibilidad de la flota de tractores sobre oruga D375-5 que opera en faena Andina, para ello se desarrollaran objetivos específicos en cada capítulo.

En el primero se describirá donde está ubicado el activo, las estrategias actuales del mantenimiento, marco teórico del proceso del mantenimiento centrado en la confiabilidad y el estudio técnico del equipo, para continuar en el segundo con la selección del activo y la aplicación de la metodología del RCM, concluyendo en el tercer capítulo indicando las tareas apropiadas a los problemas de la confiabilidad.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1. ANTECEDENTES GENERALES.

1.1. PROCESO EXTRACCIÓN MINERA A RAJO ABIERTO

La exploración minera es la etapa inicial de la actividad minera, consiste en identificar las zonas por donde se ubican los yacimientos de minerales. La observación se realiza con el apoyo de herramientas tecnológicas para realizar un trabajo más eficiente y rápido, como las fotos aéreas, datos satelitales, técnicas geofísicas (para observar propiedades físicas de las rocas analizadas) o geoquímicas (para obtener resultados químicos de los materiales observados). Los geólogos hacen uso de alta tecnología para realizar las exploraciones. Para ello, se estudia el terreno, las rocas, su composición química y su abundancia, de forma que se pueda saber si es que se puede construir una mina. La dimensión y composición de dichos yacimientos serán los factores que ayuden a tomar las decisiones de inversión y serán explotados en un proyecto minero.

El proceso de extracción minera a rajo abierto está compuesto principalmente por cuatro etapas, perforación, tronadura, carguío y transporte, para cada una de ellas necesita de cierto tipo de equipos de características o performances que permitan cumplir sus funciones.

1.1.1. Perforación

En esta parte se aplica la parte de la maquinaria perforadora, mediante diferentes clases y diferentes diámetros aproximadamente 15 m de profundidad; tales como de martillo o verticales, haciendo que los orificios de los túneles sean acordes con la posterior explosión de estos y luego la extracción de los minerales. Se agrega agua durante la perforación en zonas secas a fin de evitar la polución ambiental. Existe también una perforación secundaria para rocas que no cumplieron los granulometría esperados después de la tronadura principal esta se realiza con perforadora neumática montada sobre orugas.

La perforación de una malla determinada influirá fuertemente en el buen desarrollo del proceso de carguío y transporte, ya que la granulometría esperada del material dependerá del diseño de la malla (relacionado a la vez con las propiedades físicas de la roca a perforar). Una buena malla de perforación, así como una buena perforación garantizará primeramente la buena operación del equipo de carguío menor desgaste de los baldes, menor sometimiento a sobre esfuerzos de los equipos por choques o arranque de

material, etc. y garantizará una mejor operación del transporte (menor daño por impactos de rocas en la tolva, mejores factores de llenado, mejor descarga de materiales, etc.).



Fuente: Elaboración propia, fotografía tomada en terreno

Figura 1-1. Perforadora en operación

1.1.2. Tronadura

Para romper las rocas en el área seleccionada previamente perforada de la mina rajo abierto, se utiliza una cantidad mínima de explosivos para el resquebrajamiento de las rocas sin llegar a proyectar las mismas a gran distancia.

Los explosivos que se usan en este procedimiento se conocen como ANFO, una mezcla de nitrato de amonio y diésel o aceite usado. Las voladuras por lo general tienen lugar a mediodía de acuerdo con un protocolo de seguridad estricto que implica aislar el área al cerrar los caminos de acceso en un radio de 500 metros en todas las direcciones.

Después de la tronadura, se verifica con sumo cuidado si todas las cargas activas han explotado para confirmar que no queden cargas no explotadas, después de esto se continúa con las operaciones en forma normal.

Una vez que el material ha sido tronado y que se ha revisado el área verificando que la operación será segura (tiros quedados, rocas muy grandes, derrumbes, etc.), se procede a preparar la zona de carguío, para lo cual se requerirá de equipos de apoyo como tractores sobre oruga y sobre neumáticos, cargadores de servicio, camiones de riego, que dejen expedito el sector para la operación de los equipos de carguío y transporte.



Fuente: Elaboración propia, fotografía tomada en terreno

Figura 1-2. Tronadura mina rajo fase 1 en Andina 2014

1.1.3. Carguío

Dentro de los procesos productivos de mayor costo se encuentra el carguío y transporte de material, debido a que es el proceso con mayor cantidad de equipos involucrados (flota), alto grado de mecanización, menor rendimiento productivo por equipo y constituye un proceso de operación prácticamente continuo y lento.

El carguío consiste principalmente en cargar los camiones de gran tonelaje (300 T), con el mineral reducido por la tronadura, se realiza mediante palas hidráulicas, eléctricas y cargadores frontales, unas de mayor y menor proporción, logrando adecuarse a los espacios de la mina, la extracción de los desechos o estériles también se realizan por el mismo medio.



Fuente: Elaboración propia, fotografía tomada en terreno

Figura 1-3. Equipos en zona de carguío

1.1.4. Transporte

Para el transporte del mineral y del material estéril se utilizan camiones que son capaces de transportar 300 toneladas. Estos transportan el material desde las frentes de carguío a los diferentes sectores según sea su tipo, el mineral de alta ley hacia los buzones de los piques directo al chancado, el mineralizado a sectores especiales y el material estéril a botaderos.



Fuente: Elaboración propia, fotografía tomada en terreno

Figura 1-4. Camión de extracción Komatsu 930E-4

1.1.5. Importancia del tractor sobre oruga para el proceso

Los tractores sobre oruga si bien no son nombrados en el proceso de extracción, el contar con ellos ofrece muchas ventajas, su versatilidad y potencia son su principal característica, ya que son utilizados para múltiples funciones, la construcción y mantenimiento de caminos, botaderos. Mientras los equipos de carguío y transporte operan en un sector, los equipos de apoyo están preparando otro.

El número de buldóceres o tractores sobre oruga en una faena, tiene estrecha relación con el número de palas (o equivalente pala), botaderos en operación, accesos por abrir, presencia de nieve, etc.

Por otro lado SERNAGEOMIN, consciente de la importancia de incorporar la variable seguridad en los proyectos mineros del país, ha desarrollado guías metodológicas que regulan a la minería, estas guías constituyen un apoyo que permite la aplicación correcta de la legislación vigente, ante lo cual crea un reglamento que regula el diseño o características que deben tener los botaderos, estos deben cumplir con los requisitos establecidos en los artículos 339 al 344 Reglamento de Seguridad Minera Decreto Supremo 132.

Para tal cumplimiento legal es necesario contar con los equipos sobre orugas que tienen las características necesarias para cumplir las exigencias de diseño, que a continuación se describen:

- Control permanente de taludes y estabilidad de los bordes de vaciado a los botaderos.
- Diseño y construcción de bermas de protección efectivas en los bordes,
- Mantener cordones de seguridad en el borde de botaderos, nombrados como parapetos, con alturas mínimas normalizadas.
- Mantener los botaderos con una pendiente positiva, en dirección del borde, de a lo menos el 1 %,

1.2. CODELCO Y FAENA ANDINA

El nombre Codelco representa a la Corporación Nacional del Cobre de Chile, una empresa autónoma propiedad del Estado chileno, cuyo negocio principal es la exploración, desarrollo y explotación de recursos mineros de cobre y subproductos, su procesamiento hasta convertirlos en cobre refinado, y su posterior comercialización.

Codelco es el mayor productor de cobre de mina del mundo. En 2014, la producción de Codelco alcanzó a 1.841.000 de toneladas métricas de cobre fino, considerando su participación en El Abra y en Anglo American Sur. Esta cifra equivale al 10% de la producción mundial de cobre de mina y un 31% de la producción nacional en 2014.

La Corporación es también el segundo mayor productor mundial de molibdeno de mina, con una producción total de 30.628 miles de toneladas métricas finas en 2014. Tiene activos por US\$ 35.257 millones y un patrimonio que a fines de 2014 ascendió a US\$ 11.526 millones. Su principal producto comercial es el cátodo de cobre grado A. Codelco concentra los 9% de las reservas globales de cobre, contenidas en yacimientos de clase mundial. Por otra parte, los recursos minerales estimados en la Corporación le permitirían proyectar su explotación por más de 70 años, lo que muestra la fortaleza de su base minera

La compañía ejecuta sus operaciones a través de siete divisiones mineras más la Fundición y Refinería Ventanas, que pertenece a Codelco desde mayo de 2005. La División Ministro Hales, la más nueva de las Divisiones, inició a fines de 2013 su puesta en marcha como operación minera. Su estrategia corporativa es coordinada desde la Casa Matriz ubicada en Santiago de Chile.

La división Andina opera el yacimiento Río Blanco, cuya riqueza era conocida desde 1920. Pero los intentos por iniciar su explotación no se concretaron hasta medio siglo después, en 1970.

Está ubicada a ochenta kilómetros al noreste de Santiago, entre 3.700 y 4.200 metros sobre el nivel del mar. En la actualidad esta división realiza la explotación de minerales en la mina subterránea de Río Blanco y en la mina a rajo abierto Sur Sur.

Andina produjo durante el 2014, 232.444 toneladas métricas de cobre fino. Del mismo proceso, Andina produce también molibdeno.

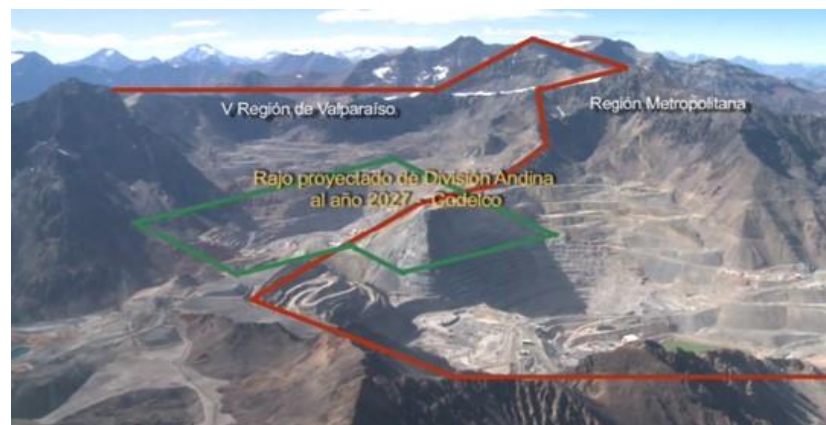


Fuente: <https://maps.google.com/>.

Figura 1-5. Fotografía satelital de la ubicación de la mina

1.2.1. Futuro de Andina

La Nueva Andina, fase II expansión a 244 KTPD. Este proyecto estructural de Codelco, consiste en la expansión de la capacidad de tratamiento de División Andina en 150 ktpd de mineral, pasando desde las 94 ktpd alcanzadas con el Pique directo A Fase I a 244 ktpd nominales. Lo anterior se traduce, para los primeros 30 años de operación, en una producción adicional de 343 ktpa de cobre fino, lo que llevaría a la División Andina a producir alrededor de 600 ktpa de cobre fino y extenderá la vida útil de la División hasta el año 2085. La construcción de Expansión Andina tomará 6 años debido a su complejidad y la necesidad de construir un sistema de transporte de mineral a través de túneles en la alta montaña.



Fuente: Codelco Educa. <https://www.codelco.com>

Figura 1-6. Imagen proyecto de expansión 244

La expansión considera nuevas operaciones unitarias de chancado primario, “transporte de mineral”, chancado secundario y terciario, plantas de flotación colectiva, selectiva y de recuperación de molibdeno, así como una planta de filtros con almacenamiento de concentrados, para su posterior transporte y almacenamiento en Bahía de Quintero.

Por consiguiente al conocer el futuro de la compañía se visualiza las oportunidades de ampliar el negocio y es muy importante seguir cumpliendo con lo que requiere la compañía y así que vuelva preferir los equipos de la marca, el precedente requerido solo se logra ofreciendo alternativas al mantenimiento que consideren el contexto operacional mejores prácticas son las necesarias para que este activo logre lo que sus usuarios quieren que realice.

1.3. CONTRATOS MARC

Una de las etapas más relevantes en un proyecto minero es la adecuada selección de los equipos industriales involucrados en el proceso productivo, ya que los costos estimados para el proyecto pueden diferir en gran medida con respecto a los reales en función de la selección de la maquinaria a utilizar. Es así que en la explotación de un yacimiento el dimensionamiento de los equipos resultará del análisis de gran cantidad de información, tanto tecnológica como práctica, las cuales permitirán determinar las mejores alternativas para la extracción y el manejo de los recursos involucrados.

La información tecnológica proviene de las distintas fábricas y distribuidores de equipos y maquinarias mineras disponibles en el mercado, y la información práctica se obtiene de la experiencia en faenas mineras similares, estadísticas y también de los estudios que se realicen respecto al comportamiento de las variables involucradas en el proceso de selección de la flota.

De la inversión de capital que una minera realiza en equipos para el desarrollo de su yacimiento, está el costo de operación y mantenimiento de los activos.

La política de externalización de actividades que no están directamente relacionadas al giro de las compañías mineras impulsó a las empresas proveedoras de equipos mineros, a ofrecer servicios de mantención y reparación a partir de contratos integrales, donde la empresa proveedora se compromete con una cierta disponibilidad mecánica del equipo para la función que fue diseñado (www.u-cursos.cl).

Los servicios Marc, “Maintenance And Repair Contract”, nacen en la década del 90 como respuesta a las necesidades del mercado. Su finalidad es permitir que el proveedor de equipos se haga cargo del proceso de mantenimiento, por medio de especialistas en esta materia. El prestador de servicios se obliga, respecto de determinados activos realizar las actividades de mantenimiento y reparación, para que estén en condiciones de funcionar una determinada cantidad de horas dentro de un lapso de tiempo determinado.

Los servicios Marc, cubren también actividades de planificación, recambio y reparación de componentes, suministro y administración de repuestos y componentes, análisis de fallas y control de costos, siendo un real traspaso del riesgo del proyecto desde la compañías hacia sus llamados contratistas.

Por tanto, para las compañías mineras la ganancia de contratar servicios Marc está en, que permiten controlar y cumplir con los presupuestos establecidos de su proyecto.

En la actualidad, una de las modalidades más frecuentes de contrato es el tipo

MARC o Full MARC el cual garantiza rendimiento y confiabilidad de la flota de equipos, por medio de una mantención planificada efectuada con personal especializado de la empresa la cual provee en faena los repuestos genuinos, herramientas, instrumentos, vehículos, computadores y sistemas de telecomunicaciones y demás instalaciones, mediante un contrato de largo plazo, a fin de asumir la responsabilidad de la mantención y reparación de la flota, garantizando costos y disponibilidades de los equipos. <http://portalkch.komatsu.cl/sopORTE-y-servicios/contratos-y-servicios/>

1.3.1. Antecedentes del contrato Marc Andina

Resumiendo el contrato en Andina, en él se ofrece un servicio integral que compromete la programación ejecución y control de actividades de mantenimiento de los equipos con el fin de asegurar la disponibilidad fijada que para el caso de la flota de equipos de apoyo corresponde a 85%.

Considera también el cambio de los elementos de desgaste y rodado, pero reserva la opción al mandante (cliente) el aporte de dichos elementos.

Las reparaciones por motivos de daños por incidentes operacionales, abuso mala operación, negligencia y practica sub estándar de operación, deben ser absorbidas por el cliente en forma íntegra y realizadas por Komatsu previa aprobación de presupuesto.

En cuanto a componentes dañados por accidentes operacionales Codelco solo se hará cargo del remanente en horas del TBO asignado.

Las actividades de aseguramiento de la calidad del mantenimiento también son consideradas en el contrato y su cumplimiento es evaluado a través de los KPI (indicadores claves de control), que deben ser presentados mensualmente.

1.4. ORGANIZACIÓN KOMATSU ANDINA

La organización de Komatsu en Andina establece una metodología estandarizada en todas sus faenas que permite estructurar el trabajo y realizarlo en forma ordenada, además de establecer los mecanismos e indicadores que ayudan a tomar las decisiones sobre la priorización de ciertas actividades bajo ciertos protocolos y responsables.

1.4.1. Objetivo y estrategia de Komatsu Andina

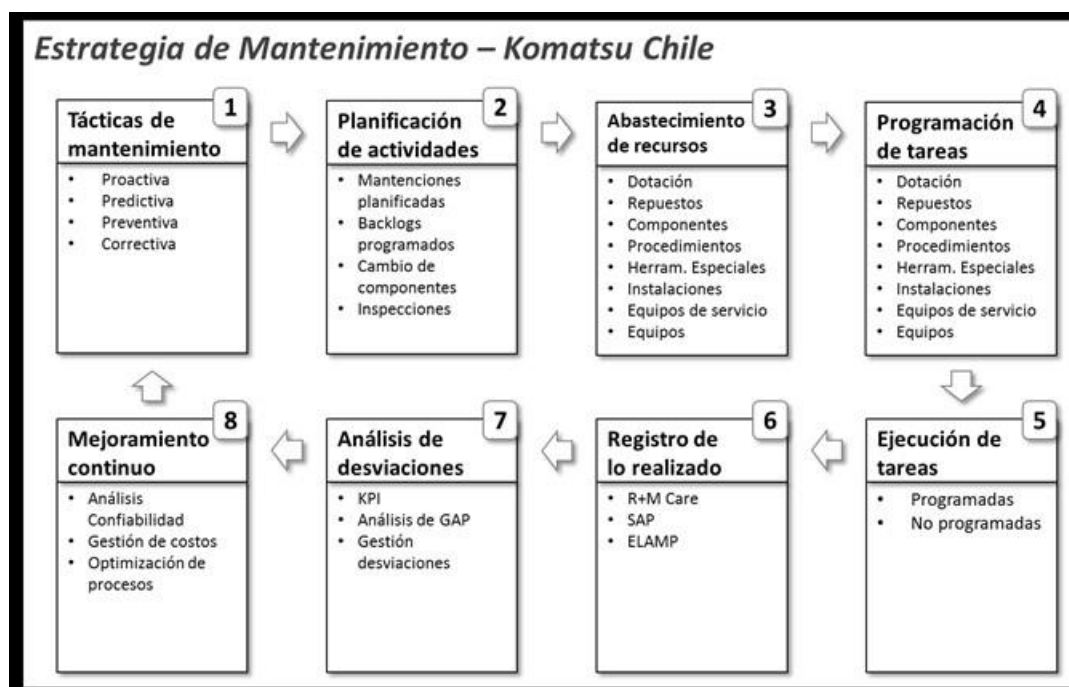
El objetivo de la Estrategia de Mantenimiento de Komatsu en Andina, es asegurar la continuidad operacional de los equipos por medio de la ejecución del mantenimiento de acuerdo a las indicaciones y estándar del fabricante, asegurando la disponibilidad y desempeño de los activos de la compañía minera, la estrategia es lograr la optimización del costo del ciclo de vida de los componentes de los equipos, así asegura la sustentabilidad de la rentabilidad de su propio negocio. De esta forma, declara su misión de “ser protagonista del éxito de sus cliente”.

La Estrategia de Mantenimiento entrega los lineamientos generales de cómo administrar y gestionar el mantenimiento de los equipos, cumpliendo las metas contractuales y estándares de desempeño acordados entre Komatsu Chile y sus clientes.

La estrategia establece qué actividades de mantenimiento deben ser realizadas sobre los distintos tipos de equipos, sistemas y componentes. De esta forma, la estrategia organiza las actividades en base a cuatro tácticas de mantenimiento: proactivo, predictivo, preventivo, y correctivo. Cada una de estas tácticas es definida y administrada teniendo en cuenta su impacto en seguridad, medio ambiente, disponibilidad, confiabilidad, costo, regulaciones legales e imagen de la compañía. Cada una de estas tácticas se desglosa en tareas concretas sobre los equipos, frecuencia de ejecución, junto a los procedimientos y medidas de control a realizar.

La actualización de la estrategia de mantenimiento está basada en el mejoramiento continuo, en busca del éxito de los clientes y de la sustentabilidad del negocio de Komatsu Chile. Esto se fundamenta en el control y medición del desempeño y de los procesos asociados, reduciendo las desviaciones detectadas y el aseguramiento de la implementación de las mejoras generadas.

La forma en que debe ser ejecutada la Estrategia de Mantenimiento se fundamenta en ocho etapas que desarrolla Komatsu Chile, donde cuenta con contratos de mantenimiento. A continuación se presenta una explicación de cada una de las etapas y la forma en que éstas deben ser realizadas.



Fuente: Departamento ingeniería central KCH.

Figura 1-7. Estrategia de mantenimiento

1.4.2. Tácticas de mantenimiento

Las diferentes tácticas de mantenimiento son la base para administrar las fallas en los equipos, balanceando el costo global asociado a cada estrategia, su despliegue y el efecto de presentarse la falla. Las tácticas de mantenimiento son cuatro: proactivo, predictivo, preventivo y correctivo. La aplicación y uso de éstas, se define por medio de recomendaciones de fábrica y la experiencia de KCH.

1.4.2.1. Mantenimiento proactivo

El mantenimiento proactivo busca identificar y corregir las causas que generan la falla, con la finalidad de reducir la aparición de éstas, mediante el traspaso de mejores prácticas que eliminan o mitigan los riesgos desde su causa raíz. Las mejoras se traspasan a las faenas mediante campañas de fábrica o internas.

1.4.2.2. Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo busca predecir o anticipar posibles fallas, generando acciones de mantenimiento de acuerdo a los síntomas de deterioro en los sistemas y partes de los equipos. Este tipo de mantenimiento abarca todas las acciones definidas a partir del

monitoreo de condición de los equipos, incluyendo actividades que predicen fallas en base a síntomas y la corrección de condiciones subestándar que pudieran ser detectadas con el monitoreo.

Este tipo de mantenimiento permite generar planes de acción frente a posibles fallas, lo que disminuye los riesgos de fallas catastróficas, los tiempos y cantidad de detenciones, y sus costos asociados, entre otros.

1.4.2.3. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo, busca reducir la probabilidad de falla de los equipos o componentes. Lo anterior se realiza al ejecutar tareas con cierta regularidad o frecuencia, lo que minimiza la ocurrencia de fallas o problemas conocidos. La frecuencia de ejecución de estas tareas está asociada a las horas de uso (avance de horómetro), por tal motivo la recolección del avance de horas operando de cada equipo en forma diaria se considera el punto de inicio para la programación de las tres actividades principales de mantenimiento preventivo:

- Pautas de Mantenimiento preventivo (PM): son intervenciones realizadas periódicamente sobre los equipos en ciclos fijos de horas de operación, para reducir fallas regulares y repetitivas. Éstas deben ser realizadas por la faena. El objetivo principal es aumentar la confiabilidad de los equipos y así aportar a su continuidad operacional. Las pautas de PM combinan las indicaciones del fabricante del equipo con el conocimiento y experiencia interna de KCH, junto a las condiciones ambientales, geográficas y de utilización de los equipos. La realización de las PM se controla por medio de la “desviación de la mantención”.
- Cambio de componentes preventivo: el cambio de componentes preventivo se relaciona con una definición de uso de componentes que optimiza el costo por hora (CPH), es decir, minimiza la relación entre el costo de reparación o reposición del componente, dadas las horas de uso. Esta definición implica cambiar componentes antes de que presenten fallas. Según estas consideraciones se define el TBO (Time Between Overhaul) como el límite esperado de horas de uso de un componente. Es importante destacar, que la táctica preventiva de reemplazo de componentes en base a TBO no elimina la probabilidad de ocurrencia de fallas, ya que lo que busca

es el equilibrio de costos, continuidad operacional y lo comprometido por contrato.

Tabla de registro de avance de horas.

Tabla 1-1. Registro de avance de horas

Registro					
Unidad	341	342	343	344	345
inici	28.715,0	27.352,0	25.066,0	28.205,0	28.311,0
21	28.736,0	27.352,0	25.066,0	28.205,0	28.311,0
22	28.736,0	27.352,0	25.066,0	28.205,0	28.332,0
23	28.757,0	27.352,0	25.066,0	28.206,0	28.353,0
24	28.757,0	27.352,0	25.066,0	28.206,0	28.353,0
25	28.779,0	27.352,0	25.066,0	28.219,0	28.375,0
26	28.786,0	27.352,0	25.066,0	28.238,0	28.397,0
27	28.787,0	27.352,0	25.066,0	28.255,0	28.419,0
28	28.789,0	27.352,0	25.066,0	28.271,0	28.440,0
29	28.803,0	27.352,0	25.066,0	28.291,0	28.461,0
30	28.822,0	27.352,0	25.066,0	28.297,0	28.476,0
31	28.838,0	27.352,0	25.066,0	28.300,0	28.489,0

Fuente: Elaboración propia en base a estatus diario

1.4.2.4. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo, corresponde a la táctica de mantenimiento en la cual la reparación o reemplazo de piezas y partes se realiza contra falla. Esta estrategia es utilizada cuando es la opción que logra la mejor combinación entre la optimización de costos, la continuidad operacional de los equipos y la minimización de los riesgos asociados a la seguridad, el medio ambiente y la calidad del servicio ofrecido.

Generalmente esta táctica es la óptima para el caso de repuestos o componentes en el que el costo de reparación o reemplazo y el costo global de la falla es equivalente al de realizar la tarea por monitoreo o por una frecuencia definida de reemplazo. De esta manera, generalmente los repuestos de bajo costo están asociados a este enfoque del mantenimiento, cuando la falla no genere riesgos en la seguridad o daño al medio ambiente.



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada en terreno.

Figura 1-8. Intervención imprevista de equipos en terreno

1.4.3. Planificación del mantenimiento

La planificación es decidir con anticipación qué hacer, cómo hacerlo, cuándo hacerlo y quién es el responsable de hacer el mantenimiento, en función a lo descrito por las tácticas de mantenimiento. Es la base para llevar a cabo las acciones de mantenimiento pues de la planificación se desprende el abastecimiento de los recursos, lo que permite generar la programación y la posterior ejecución de las actividades sobre los equipos. La planificación busca contribuir al logro de las metas de la organización teniendo en cuenta la visión, políticas, estrategias y objetivos de la empresa.

Plan Equipo	E	Descripción	Tanque	Estadigo Use	Us	Fecha Obj /	Ex. Co.	Tr.	Prioridad	Realiz	Dura Equip	Horas MD	PL	Y	Orden Trab	PT	Grupo	Plan Abajo	Plan Arriba	Ub
344 18994		A600 0.CC 0 WATER PUMP ENGINE	CC	21.880	Eng - Hst	13-Sep-2013			Meda		0	0								
345 18827		AB30 BOT MN 0 STARTER	MN	21.957	Eng - Hst	27-Dec-2013			Meda		3	6					Komatsu...			
345 18827		AB30 TOP MN 0 STARTER	MN	21.957	Eng - Hst	27-Dec-2013			Meda		3	6					Komatsu...			
344 18994		A600 0 MN 0 ALTERNATOR	MN	23.139	Eng - Hst	28-May-2014			Meda		3	6					Komatsu...			
345 18827		H180 LH CC 0 BLADE TILT CYLINDER GROUP	CC	24.957	Eng - Hst	08-Aug-2014			Meda		3	9					Komatsu...			
345 18827		H180 RH CC 0 BLADE TILT CYLINDER GROUP	CC	24.957	Eng - Hst	08-Aug-2014			Meda		3	9					Komatsu...			
341 18991		H180 LH CC 0 BLADE LIFT CYLINDER GROUP	CC	24.800	Eng - Hst	26-Aug-2014			Meda		3	9					Komatsu...			
345 18827		H180 LH CC 0 BLADE LIFT CYLINDER GROUP	CC	25.957	Eng - Hst	03-Dec-2014			Meda		3	9					Komatsu...			
344 18994		BKL 0 PC/Ambar switch luces cabina	UN			05-Jan-2015			Meda		0	0				19067534-1	Komatsu...			
344 18994		BKL 0 P Marga adición de tubo hacia múltiple	MN			01-Feb-2015			Alta		5	10				17413383-1	Komatsu...			
341 18991		X8027 0 CC 0 Slewing System	CC	26.800	Eng - Hst	22-Feb-2015			Meda		0	0								
341 18991		AB30 BOT MN 0 STARTER	MN	27.037	Eng - Hst	08-Apr-2015			Meda		3	6					Komatsu...			
341 18991		AB30 TOP MN 0 STARTER	MN	27.037	Eng - Hst	08-Apr-2015			Meda		3	6					Komatsu...			
345 18827		BKL 0 P Base de sujeción	MN			20-Apr-2015			Alta		8	11				17420010-1	Komatsu...			

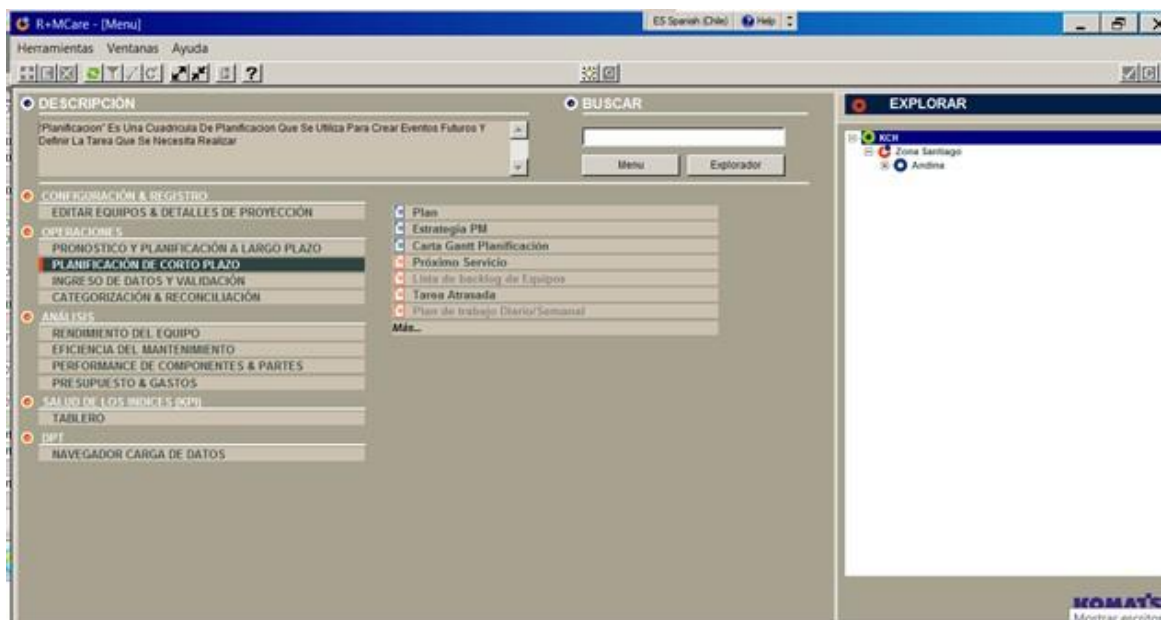
Fuente: Elaboración propia en base a captura de pantalla de software RM+Care

Figura 1-9. Planificación del mantenimiento

Tanto la planificación como la programación de las tareas debe ser realizada en R+M Care, que es el sistema oficial de Komatsu. Con esta información, se puede estimar el uso de recursos, de manera de proveerlos con el fin de reducir el gasto y optimizar el nivel de servicio de cada uno de éstos. Es necesario que el proceso de programación y ejecución del trabajo sea ordenado y efectivo, para reducir los tiempos de espera por parte de los equipos o de las personas.

1.4.3.1. Software de control de mantenimiento R+M Care

R+M Care es un sistema de Komatsu, diseñado para administrar varios tipos de contratos y acuerdos de mantenimiento para equipos de construcción y minería, ofreciendo información precisa respecto al costo del ciclo de vida de los equipos y su desempeño.



Fuente: Elaboración propia en base a captura de pantalla de software RM+Care

Figura 1-10. Imagen menú principal software RM+Care

Por sus diversas funcionalidades, R+M Care es una excelente herramienta para el análisis, control y proyección de las diversas actividades que el mantenimiento de los equipos requieren. Además, proporciona informes detallados tanto para los clientes de Komatsu, como para la gestión de la gerencia de operaciones de Komatsu, con el fin de garantizar el máximo rendimiento de los equipos Komatsu.

La planificación: a través de R+M Care es posible planificar a corto y mediano plazo. Con simples ajustes en las actividades a programar o planificar, que están en las cartas Gantt de R+M Care, es posible asegurar los planes y programas de mantenimiento de los equipos, resultando proyecciones y presupuestos exactos.

- **Análisis:** las herramientas de R+M Care permiten un análisis detallado de las detenciones, costos de mantenimiento y reparación de los equipos. Con estos análisis y registrando la información de las acciones correctivas correspondientes, R+M Care ofrece un estado real de los equipos al día de hoy y sus proyecciones, costo del ciclo de vida y KPI de desempeño.
- **Administración de Contratos:** la administración de nuestros contratos es una de las características claves de R+M Care, con reportes disponibles en diversos niveles como; cliente, contrato, modelo, flota y equipo, los que se pueden visualizar en reportes de texto o gráficos con solo un clic, mostrando al día de hoy, los resultados financieros de un contrato, su proyección y los resultados del desempeño de los equipos.
- **KPI (Indicadores de control):** el tablero de control ofrece, sobre un amplio rango de parámetro de visualización, una perspectiva de alto nivel respecto de la situación de los equipos y sus KPI. Las metas de KPI y niveles de visualización son fácilmente ajustables. El resultado es proveer información clave para diferentes roles de administración con la posibilidad de navegar desde una sucursal, hasta un equipo específico.
- **Finanzas:** una amplia gama de reportes muestran las ventas actuales y proyectadas, así como sus costos relacionados. Además, es posible visualizar reportes de pérdidas y ganancias por contrato, flota o equipo.

1.4.4. Gestión de recursos

Para lograr el abastecimiento de recursos de forma oportuna es necesario el trabajo en conjunto entre diferentes áreas. La interacción de faenas, sucursales y soporte centralizado con las diversas áreas, se muestra a continuación:

- Dotación:

La Gerencia de Recursos Humanos es la encargada de gestionar la contratación de personas y cada faena de mantener y administrar la dotación requerida para realizar las tareas comprendidas en el alcance del servicio. Adicionalmente se trabaja junto al Centro de Formación Komatsu (CFK), de manera de aumentar la capacitación de Técnicos, supervisores y administrativos, con el objetivo de contar con personas más capacitadas y productivas.

- Repuestos:

La Gerencia de Repuestos es la encargada de estimar el consumo futuro de repuestos y generar las solicitudes de repuestos, siendo Supply Chain el encargado de gestionar la compra, trasladar y almacenar los repuestos en centros de distribución y faenas. De esta manera, se ejecuta el proceso de abastecimiento logrando el nivel de servicio definido.

- Componentes:

La Subgerencia de Componentes es responsable de proveer componentes para las tareas programadas y no programadas. Este trabajo se basa en el concepto de Nivel de Servicio de Componentes que relaciona cantidad de componentes de soporte (Pool) con la demanda esperada y el ciclo de reparación en los talleres oficiales (Komatsu Reman Center Chile y Distribuidora Cummins Chile). El objetivo es lograr el nivel de servicio definido.

1.4.4.1. Instructivos y procedimientos de trabajo

La Subgerencia de Estandarización y Subgerencia de Procesos están a cargo de generar los instructivos, procedimientos y procesos que son aplicados en las diversas tareas, tanto en los equipos como en la administración y gestión del mantenimiento. Estos documentos son actualizados y almacenados en la Biblioteca de Operaciones.

Biblioteca de Operaciones <biblioteca.operaciones@komatsu.cl> (enviado por catalina.castillo@komatsu.cl)
para bibliotca-ope <>




BIBLIOTECA OPERACIONES **REMISIÓN DE PUBLICACIÓN N° 0155**
FECHA 16-11-2015

 **NUEVOS DOCUMENTOS**

DOCUMENTACIÓN PROCESOS							
Categoría	Subcategoría	N° Publicación	Descripción	N° Revisión	Fecha de Revisión	Modelo	Fabricante
INSTRUCTIVOS DE TRABAJO	FAENA COLLAHJAS	KOP4-1016-CMDIC	Chequeo y/o cambio vitillas de dirección	3	01-08-2015		Komatsu Chile
INSTRUCTIVOS DE TRABAJO	FAENA COLLAHJAS	KOP4-1024-CMDIC	Cambio de armadura motor de tracción	2	01-04-2014		Komatsu Chile
PROCEDIMIENTOS	PLANIFICACION	KOP-P-117	Programación de mantenimiento en faena	1	03-06-2015		Komatsu Chile
REGISTROS	ARMADO	R-002-GAE-1	Inventario de riesgos criticos armados equipos	0	01-10-2015	D275A-5E0, D375A-5, D375A-6R, D475A-5, D475A-5E0	Komatsu Chile
REGISTROS	ARMADO	R-002-GAE-2	Inventario de riesgos criticos armados equipos	0	01-10-2015	930E-1, 930E-2, 930E-3, 930E-3SE, 930E-4, 930E-4AT, 930E-4SE	Komatsu Chile
REGISTROS	ARMADO	R-002-GAE-3	Inventario De Riesgos Criticos Armado Equipos	0	01-01-2013	HD795-5, HD795-5LC, HD795-7	Komatsu Chile

Fuente: Elaboración propia en base a captura de pantalla intranet Komatsu.

Figura 1-11. Página principal de biblioteca de operaciones

1.4.4.2. Herramientas especiales

Las herramientas especiales, soportes, bases de traslado, etc., son herramientas diseñadas especialmente para realizar tareas operativas en las faenas, de manera de reducir el riesgo para las personas, hacer los trabajos en forma más eficiente, más rápido o una combinación de las anteriores. Estas herramientas son diseñadas por la Subgerencia de Estandarización y su uso es coordinado y/o administrado en conjunto con las sucursales.

Un problema es el almacenamiento de estas herramientas la infraestructura no ofrece un lugar definido, normalmente se tienen desviaciones y perdidas en este sentido.



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada en terreno

Figura 1-12. Soportes para cambio de componentes

1.4.4.3. Instalaciones

El responsable de proveerlas depende de lo acordado contractualmente, generalmente son suministradas por los clientes y deben contar con las condiciones mínimas para realizar los trabajos. Dentro de esto se consideran las naves de mantenimiento acondicionadas para tal efecto, puente grúa, iluminación, calefacción en caso de ser requerido o acordado previamente, lubricantes, bodega, pañol, oficinas, etc.

Estas instalaciones deben ser coordinadas por con el cliente, Para el caso de Andina solo se cuenta con una loza equipada para realizar el mantenimiento, a los equipos de apoyo esto no permite realizar mantenimiento a dos equipos simultáneamente.



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada en terreno.

Figura 1-13. Panorámica de talleres

1.4.4.4. Equipos de servicio

Son equipos utilizados en la realización de las tareas del mantenimiento, los cuales se utilizan generalmente para las detenciones que ocurren fuera de la nave. Algunos de estos equipos son: camión lubricador, camión con pluma, grúa horquilla, torre de iluminación y contenedor oficina, entre otros. Estos equipos de servicio, son coordinados por personal de KCH en cada faena.



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada en terreno.

Figura 1-14. Camión lubricador

1.4.4.5. Equipos

Se define por equipos a los activos adquiridos por el cliente y a los que se le debe realizar el mantenimiento, ya sean programados o no programados. Es importante la coordinación de parte de personal KCH con el cliente, de manera de obtener los equipos en la frecuencia y cantidad de horas esperada.

Es esencial monitorear el avance de las horas de trabajo o avance de horometro diariamente para que no se pasen de lo requerido.

1.4.5. Programación del mantenimiento

Una vez realizado el proceso de planificación y abastecimiento, se procede a realizar la programación de actividades que es la descripción y orden detallado de las tareas de mantenimiento asociadas a los equipos.

Cuadro de origen de las actividades que ingresan al programa.

Tabla 1-2. Resumen de las estrategias de manteniendo

<i>Origen</i>	<i>Táctica</i>	<i>Clasificación tarea</i>	<i>Actividad</i>
Estrategia de Mantenimiento	Proactivo	Programado	Campañas de fábrica Campañas internas
	Predictivo	Programado	Monitoreo por condición Inspecciones Reparaciones Cambio repuesto Cambio componente Backlog
		No Programado	Monitoreo por condición Inspecciones Reparaciones Cambio repuesto Cambio componente
	Preventivo	Programado	Mantenimiento preventivo Cambio repuesto Cambio componente
		No Programado	Reparaciones Cambio repuesto Cambio componente
	Correctivo	No programado	Reparaciones Cambio repuesto
Programa preventivo (SSOMA)		Programado	Difusiones Control Genba Programa preventivo
Programa de capacitación (CFK)		Programado	Capacitaciones Entrenamientos Tutorías

Fuente: Elaboración propia en base a documento emitido por el departamento de Ingeniería central.

Dado lo anterior, el Programa de mantenimiento es el resultado del proceso de generación del listado de trabajos a realizar, asignando los tiempos y recursos disponibles, determinando cuándo se debe realizar cada tarea planificada, teniendo en cuenta condiciones contractuales, disponibilidad de materiales, repuestos y mano de obra. El listado de trabajos se consolida en base a la priorización de las actividades, tomando en cuenta las diferentes restricciones y recursos de la faena. El horizonte de tiempo considerado es de una o dos semanas, dependiendo de los turnos de faena.

El programa semanal se basa en la carga de actividades hasta un nivel razonable de uso de la capacidad disponible de dotación y otros recursos de la faenas. La carga de tareas se realiza dentro de R+M Care, ya que está asociado al control y registro de las Mantenciones Planificadas (PM), Cambio de Componentes (CC) y gestión de Backlog (BKL).

Se debe confirmar que los recursos necesarios para la ejecución de las actividades se encuentren disponibles tanto en cantidad, estado y con la documentación necesaria para asegurar el buen funcionamiento y la seguridad (certificado de la última mantención,

certificados de calidad, certificado de pruebas, pre usos, etc.). Este proceso se controla a través del programa de mantenimiento y control de herramientas críticas.

Una vez que faena ha preparado el programa, éste deberá ser aprobado por todas las áreas relacionadas al proceso: Operaciones, Asesores de seguridad, Administración y Planificación, los colaboradores directos, todos los cuales deberán participar en una reunión semanal de programación.

Si el programa no es aprobado por alguna de las partes interesadas, se deberá modificar el programa semanal o gatillar el plan de atención de contingencias de la Compañía. El resultado de estas acciones será la confirmación de los recursos para la aprobación del programa por las partes.

Esta metodología tiene como objetivo eliminar la improvisación en la ejecución de las actividades de mantenimiento, con lo cual se minimizan los riesgos asociados a la ejecución de los trabajos.

PMD375A-5/250

KOMATSU **PAUTA MENTENCIÓN 250h**
MECÁNICO 1 D375A-5

EQUIPO HOROMETRO INICIO _____ HORA DE INICIO _____
 HOROMETRO TERMINO _____ HORA DE TERMINO _____
 FECHA _____ DURACIÓN MANTENIMIENTO hrs SUPERVISOR _____

MECANICO 1 hrs ELECTRICO 1 hrs
 MECANICO 2 hrs ELECTRICO 2 hrs
 MOTOR hrs EXTERNA hrs

DESCRIPCIÓN DE TAREA	Realizado por	Programar (Si / No)	OBSERVACION
Las siguientes actividades a realizar son con equipo ENERGIZADO , se deben tomar todas las precauciones de seguridad correspondientes			
A TOMA DE MUESTRAS			
1 Tomar muestra de aceite Motor	X		

Fuente: Descarga de archivo RM+Care.

Figura 1-15. Pauta tipo de mantenimiento de 250 horas

1.4.6. Ejecución de tareas

Dadas las tácticas de mantenimiento, se debe considerar la existencia y ejecución de tareas programadas y tareas no programadas. Para ambos casos, se debe programar la forma de ejecutar estas tareas, de manera de realizarlas en forma segura, eficiente y de calidad. Para lograr esto, se debe contar con los recursos necesarios para ejecutar ambos tipos de tareas, ya que ambas son parte de la estrategia de mantenimiento de Komatsu Chile. Sin embargo, en el caso en que los recursos no se encuentren disponibles, la tarea

debe ser considerada como un evento de Emergencia. En este caso se debe realizar una gestión especial de recursos, denominado “machine down”. Para este último caso, es necesaria la gestión conjunta de todos los involucrados en el proceso de mantenimiento, tanto en abastecimiento de recursos, como en la entrega de conocimiento y experiencia técnica, para resolver el problema y origen de la detención

De lo anterior, se desprende que existen tres tipos de eventos a ejecutar: programados, no programado y emergencias/machine down.

Para la ejecución de las tareas de mantenimiento, deben ser considerados los siguientes aspectos clave.

1.4.6.1. Orden de servicio

La orden de servicio es donde se registran los consumos de componentes y repuestos necesarios para la ejecución de las tareas que están asociadas a un evento. Esta OS será generada por medio de R+M Care (eventos programados) y/o SAP (eventos no programados).

1.4.6.2. Eventos

Representa la detención de un equipo. Sus principales atributos son: fecha, hora de inicio y término de la detención, y tipo de detención (programado, no programado o emergencia/machine down). Un evento agrupa todas las tareas que se ejecutan durante la detención de un equipo. Cada evento considera una tarea principal, que es la tarea de mayor duración, la que originó la falla o lo más importante realizado. Estos eventos son registrados y controlados en R+M Care.

1.4.6.3. Tareas

Representa la especificación de una actividad ejecutada durante la detención de un equipo. La tarea consolida el detalle del trabajo realizado, las horas hombre presupuestadas y utilizadas, el componente o subsistema sobre el cual se ejecutó el trabajo y la OS (SAP) utilizada para el movimiento o consumo de repuestos o componentes desde bodega.

1.4.6.4. Asignación de tareas

El supervisor o líder del equipo de trabajo es el responsable de la asignación de tareas, para esto debe considerar la experiencia y las competencias adecuadas requeridas en el personal para la ejecución de las mismas.

1.4.6.5. Control Genba, Mano Preventiva y Análisis de riesgos del trabajo (ART)

Antes de realizar cualquier actividad de mantenimiento y/o reparación, se debe ejecutar la herramienta de control de riesgos denominada “Genba o Mano preventiva”.

El encargado de la tarea debe asegurar que los parámetros de control establecidos en la mano preventiva se cumplan a cabalidad, no autorizando el inicio de la actividad si los aspectos no se encuentran completos. Asimismo, los miembros del equipo que participen en la actividad, deberán verificar que la mano preventiva esté asegurada, de lo contrario, deben aplicar la “Negativa responsable al trabajo sub-estándar (NRTS)”, hasta que las condiciones sub estándar se hayan corregido. Antes de iniciar la ejecución del trabajo se debe realizar un ART, identificando los peligros y riesgos a los cuales se estará expuesto en el trabajo por realizar, incluyendo posibles traslados al lugar de trabajo.

1.4.6.6. Ejecución de las tareas

El responsable de controlar el proceso de ejecución es el líder o supervisor a cargo, quien debe garantizar tanto la seguridad de los trabajadores como la calidad y plazos de los trabajos a realizar.



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada en terreno.

Figura 1-16. Equipo al interior de talleres

1.4.6.7. Registro del trabajo realizado

Toda actividad ejecutada debe ser registrada por el técnico en la hoja de registro para su posterior análisis y digitación en R+M Care. El proceso de registro y cierre de las tareas y eventos tiene por objetivo cargar en R+M Care y SAP, toda la información relacionada con los trabajos realizados, que debe estar ingresada en la hoja de registro, velando que la calidad de la información registrada sea la óptima para el posterior análisis.

El equipo de planificación en faena debe revisar y reprogramar todas aquellas tareas que estaban incluidas en el programa semanal; pero que no fueron ejecutadas, esto da paso al llamado back log o actividad pendiente. Además debe realizar el cierre técnico y/o contable de la orden de servicio, para la contabilización de los costos asociados.

KOMATSU **HOJA DE REGISTROS** **R+M Care**

FECHA: Tarea Backlog FOLIO:

FAENA: HORÓMETRO DE INICIO: HORA DE INICIO:

EQUIPO: HORÓMETRO DE TÉRMINO: HORA DE TÉRMINO:

PLANIFICADO: IMPREVISTO:

¿Hay riesgo inmediato a las personas al medio ambiente o equipo? SI NO

¿Cuántos días puede seguir operando? 0 días 1 - 7 días 8 - 15 días 16 - 45 días Mayor 45 días (repuesto)

Criticidad: INMEDIATA ALTA MEDIA BAJA

ORIGEN DEL TRABAJO: MF FM CLINIC SCAA AVISO DE OPERADOR INSPECCIÓN DIARIA ALARMA VHMS U OTROS SISTEMAS CONFIABILIDAD EN TERRENO MANTENIMIENTO EN TERRENO

PAUSAS DURANTE LA EJECUCIÓN DEL TRABAJO

Tiempo de pausa (en horas)	Detalle de pausas (Traslado, Colación, Tronadura, Entrega áreas, Firma dictos., Espera de nave, etc.)
1	
2	
3	
4	
5	

¿CUÁL ES EL PROBLEMA QUE PRESENTA EL EQUIPO?

¿QUÉ TRABAJOS SE EJECUTARON(ÁN) PARA DETECTAR LA CAUSA DEL PROBLEMA? (mediciones, análisis de datos, pruebas técnicas u operativas, etc.)

¿CUÁL FUE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA? (una frase)

CAMBIO DE REPUESTOS. N° OS/Reserva SAP:

Número de parte	Cantidad

REQUERIMIENTOS BACKLOG: días de detención: Cent. Técnicos:

NOMBRE DE TÉCNICOS:

TIPO DE TAREA (completar con el supervisor)

PM Mantenimiento preventivo CC Cambio de componente ADR Reparación de daños por accidente (cliente UN Excluido cliente (Sin Asignar))

MN Reparaciones generales W Garantía

RESPONSABILIDAD TAREA (uso exclusivo supervisor)

Komatsu Cummins Cliente Sin tiempo

DETALLES DEL CIERRE (uso exclusivo supervisor)

Hora del llamado: Hora de entrega del equipo:

Observación:

Generado por: V"B" Supervisor Komatsu

Fuente: Descarga de archivo biblioteca operaciones.

Figura 1-17. Hoja de reparación y back log

El registro de la información debe considerar el detalle de cada evento y cada tarea, de manera de identificar en R+M Care la información requerida, que considera lo siguiente:

- 1) Faena, equipo y modelo.
- 2) Horómetro del equipo.
- 3) Hora de inicio y término del evento.
- 4) Distribución de responsabilidades por horas totales del evento, incluidas horas de espera de recursos: HH, repuestos, componentes, herramientas especiales, procedimientos, instalaciones, equipos de servicio o traslados de equipo o técnicos.
- 5) Código o descripción del subsistema o parte intervenida.

- 6) Identificación de si la tarea es programada (PL) o no programada (BD).
- 7) Motivo de la realización de la tarea (PM, BKL, CC, MN, WA, ACC, etc).
- 8) Identificar si la tarea es tarea principal dentro del evento.
- 9) Descripción de lo realizado o detectado o cualquier comentario relevante.

1.4.7. Medición de indicadores de gestión, metas y desviaciones.

Los KPI (Key Performance Indicators) son los indicadores clave de desempeño de los procesos y variables relevantes de la gestión del mantenimiento y sirven para conocer el cumplimiento de los objetivos planteados. El control y cumplimiento de los diferentes KPI es fundamental para disminuir las desviaciones detectadas.

Los KPI analizados por la Dirección de Operaciones se separan en cuatro dimensiones: Personas, Gestión del Mantenimiento, Financiero y Clientes.

Para el caso de los KPI asociados a la Gestión del Mantenimiento, se controlan y monitorean los siguientes ocho indicadores principales:

- Disponibilidad:

La disponibilidad se refiere al tiempo en que un equipo o flota está disponible para su uso. En general, los contratos están asociados a disponibilidad contractual, que se relaciona a las detenciones de responsabilidad de Komatsu- Cummins.

$$DISPONIBILIDAD = \frac{HORAS NÓMINALES - (MP - RI - EX)}{HORAS NÓMINALES} * 100$$

- Confiabilidad:

La confiabilidad se refiere a las horas de uso entre fallas o MTBF (mean time between failures). Mientras mayor uso tengan los equipos y menos fallas tengan, más confiable es el equipo. En general las metas dependen de cada contrato en base a la flota y edad de los equipos.

$$MTBF = \frac{HORAS DE OPERACIÓN}{NÚMERO RI}$$

- **Mantenibilidad:**

La mantenibilidad se refiere a las horas promedio de trabajo que se requiere para reparar un equipo que presentó una falla. Este indicador se conoce como MTTR (mean time to repair).

$$MTTR = \frac{SUMA DE HORAS EN DETENCIONES IMPREVISTAS}{NÚMERO DE DETENCIONES}$$

- **Relación de tiempos de eventos programados e imprevistos:**

Esta relación se refiere al porcentaje de tiempo que requieren las tareas programadas comparadas con las imprevistas, en esta relación se espera que se logre un 60/40, es decir 60% programado y 40% imprevistos.

- **Desviación de la mantención:**

La desviación de la mantención se refiere al porcentaje de horas desviación de la ejecución de las mantenciones planificadas con respecto al ciclo definido.

El ciclo definido para los equipos de apoyo es 250 horas, el tiempo en horas que avance el contador (horómetro) sin acudir al mantenimiento se lleva a porcentaje del valor del ciclo, como ejemplo para un día de desviación (24 Horas) será:

$$\frac{24}{250} = 9,6 \%$$

- **Cumplimiento plan anual de cambio de componentes:**

El cumplimiento del plan de cambio de componentes se relaciona con cumplir el plan de cambio de componentes definido para cada año fiscal, se mide en porcentaje de cumplimiento.

- **Cumplimiento plan mensual de cambio de componentes:**

El cumplimiento del plan mensual también se mide en porcentaje de cambio de componentes se relaciona con cumplir el plan de cambio de componentes definido para cada mes.

- **Rotación de inventario de repuestos:**

La rotación de inventario de repuestos se relaciona con la medición del consumo de repuestos comparado con el inventario de repuestos de cada faena.

La desviación en el cumplimiento de los KPI mencionados anteriormente genera planes de acción correctivos que deben lograr restaurar los valores dentro de los rangos definidos. En el caso de que varios indicadores estén sufriendo desviaciones y no puedan ser revertidos, se procede a la generación de planes especiales, denominados “planes de sustentabilidad”.

Existen otros indicadores que son controlados por las faenas, sucursales y áreas centralizadas, todos relevantes para procesos específicos asociados a la gestión del mantenimiento.

1.4.8. Mejoramiento continuo

El objetivo del mejoramiento continuo, dentro de la estrategia de mantenimiento de Komatsu Chile, se basa en detectar situaciones que están desviadas de lo definido, corregirlo y modificar los procesos y controles, de manera de reducir su probabilidad de ocurrencia en el futuro. Esto es realizado en base a la generación de planes de acción que permiten implementar las mejoras definidas al proceso normal de ejecución de la estrategia, en la operación de Komatsu Chile.

El mejoramiento continuo asociado a la ingeniería de mantenimiento y confiabilidad se basa en la calidad de la ejecución de las tareas de mantenimiento; la gestión de costos se centra en mantener los costos dentro de los parámetros definidos y estimados para cada contrato; y la optimización de procesos se enfoca en el control y reducción de los recursos asociados a las tareas de mantenimiento.

1.4.8.1. Mejoramiento de la confiabilidad de los equipos

Se entiende por mejoramiento de la confiabilidad, el proceso y acciones que deben ser realizadas para prevenir y evitar fallas en los equipos y aumentar la vida útil de sus principales sistemas y partes. El propósito es maximizar la continuidad operacional de los equipos, reducir los costos y riesgos de ocurrencia de las fallas, por medio de la correcta ejecución de las tareas de mantenimiento definidos en la estrategia.

La gestión de la confiabilidad se encuentra centrada en el control de los diferentes indicadores, como disponibilidad, confiabilidad y calidad de las reparaciones, tanto de equipos, como de componentes y repuestos. Los fundamentos de la mejora continua del proceso de mantenimiento se basan en la búsqueda de la causa raíz de las fallas, de manera de evitar que vuelvan a ocurrir. Este proceso se basa en los siguientes elementos claves:
Registro de la información: La información registrada en los diferentes sistemas oficiales de registro de la Compañía, específicamente R+M Care y SAP, debe contener lo realizado

en cada una de las tareas. Además, dicha información debe ser registrada y codificada en forma oportuna.

- Priorización y análisis de falla: Con la información correcta y oportuna, se pueden priorizar las fallas o eventos a corregir. De esta forma se utilizan diferentes técnicas de priorización y análisis de causa raíz.
- Red de Confiabilidad: El trabajo en equipo entre las diferentes entidades del proceso de confiabilidad de Komatsu, en que tanto las faenas, sucursales y soporte central, tienen roles específicos que cumplir.
- Ejecución y control de planes de confiabilidad: Cada faena ejecuta y controla los planes de acción sobre los equipos y procesos, de manera de disminuir la ocurrencia de fallas en los equipos. De esta manera, las áreas operativas, de planificación y de ingeniería; trabajan en forma conjunta y coordinada sobre los planes definidos.
- Control de resultados: después de implementados los planes de acción, se controla el efecto de lo realizado. De esta forma se confirma si las mejoras implementadas eran correctas. De no ser así, se vuelve a realizar el análisis de causa raíz y a redefinir nuevos planes de acción.

1.4.8.2. Gestión de costos

Se entiende por gestión de costos, el proceso y acciones que se realizan para controlar que los costos se mantengan dentro de los parámetros considerados en el presupuesto mensual, anual y hasta el término del contrato. El propósito es asegurar que el costo de ciclo de vida (LCC), se mantenga dentro de los parámetros acordados con el cliente y que permita la sustentabilidad del negocio de Komatsu. Además, busca controlar que el costo total de propiedad o TCO (por sus siglas en inglés) se mantenga dentro de lo proyectado para el cliente.

La gestión de costos se basa en el control de los diferentes indicadores de costos, como por ejemplo, el presupuesto anual de cada proyecto o faena. Los principales costos controlados son los relacionados con la mano de obra, repuestos, componentes, subcontratos y depreciación.

El control de costos tiene dos aristas, el análisis del costo acumulado del contrato y costo por hora de operación de los equipos o CPH. Al igual que en el caso de la mejora continua de la confiabilidad de los equipos, la calidad de la información es clave para la optimización de procesos, ya que permite eficiencia y efectividad de los planes de acción.

1.4.8.3. Optimización de procesos

La optimización de procesos se basa en el control de consumo de recursos utilizados en la realización de las tareas de mantenimiento, buscando aumentar el uso eficiente de éstos a través de procesos y procedimientos definidos. Las medidas de desempeño analizadas buscan optimizar el uso de dotación, repuestos, componentes, subcontratos y los tiempos de ejecución de las diversas tareas o procesos.

La optimización de procesos se concentra en detectar opciones de mejora, basándose en la comparación con respecto a las metas actuales y definiendo nuevas metas futuras, más exigentes. Al igual que en el caso de la mejora continua de la confiabilidad de los equipos y de la gestión de costos, la calidad de la información es clave para la optimización de procesos, ya que permite eficiencia y efectividad de los planes de acción.

1.4.9. Justificación del estudio

Las áreas de trabajo más críticas para la producción donde se utilizan equipos de oruga en la minera Andina, son los Botaderos (área de almacenamiento del material estéril) en estas área se utilizan cinco modelos Komatsu D375-5, esto debido a que son los modelos más ligeros y pueden ser repartidos en distintos sectores de la mina.

Estos equipos no son nombrados como parte directa del proceso de extracción, pero son de especial importancia, porque de ellos depende la agilidad y continuidad del proceso.

El mantenimiento de caminos, la nivelación de pisos cobran importancia cuando se desea mantener una cierta frecuencia en la operación, durante el 2014 estos equipos presentaron problemas de baja disponibilidad (A) por debajo de 70% y baja confiabilidad (MTBF tiempo promedio entre paradas) por debajo de 25 horas, por lo que se hace necesario el desarrollo de una nueva estrategia de mantenimiento basada en la filosofía del mejoramiento continuo que propone Komatsu, con ese respaldo filosófico se busca implementar las técnicas del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para mejorar la disponibilidad y confiabilidad de estos equipos.

Esta metodología permite estructurar el trabajo de evaluación en forma ordenada, además de establecer los mecanismos e indicadores que ayudan a tomar las mejores decisiones.

La subgerencia de mantenimiento de equipos de apoyo es el encargado de garantizar la funcionalidad de estos activos, sin embargo los modelos específicos Komatsu D375-5, no logran levantar sus indicadores a pesar de que se realice su mantenimiento preventivo, la confiabilidad y disponibilidad son muy bajas.

El mantenimiento de forma reactiva, se ha tornado común en este modelo y las atenciones deben realizarse en el lugar donde se encuentre operando, lo que conlleva a desviar los recursos y exponer a las personas a peligros adicionales.

Según lo observado, el mantenimiento preventivo que se está realizando a este modelo, es de carácter genérico o estándar y no garantiza la funcionalidad de los equipos, los back-log o tareas pendientes que se ejecutan durante el mantenimiento son muy pocos y no están garantizando que el equipo no falle.

Por otro lado, según entrevistas realizadas a los técnicos, ellos declaran que la exigencia del cliente de entregar el equipo lo antes posible sin importar como estén, aquello no tiene respaldo ya que si una tarea se encuentra bien planificada no debe existir motivo para no realizarla, los tiempos para la ejecución deben estar acotados con anterioridad.

La frecuencia de mantenimiento para este equipo es de 250 horas y las están cumpliendo en un periodo de un mes, el mantenimiento normalmente no supera las 12 horas.

Por estas razones es necesario el desarrollo de una nueva estrategia de mantenimiento basada en la filosofía del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) que permita garantizar equipos más confiables optimizando los recursos con que se cuentan, solo se trata de resolver que tipo de actividades se deben realizar para que no falle cumpliendo la función por la cual fue adquirido.

1.5. MARCO TEÓRICO RCM

1.5.1. Mantenimiento centrado en confiabilidad

RCM (Reliability Centred Maintenance) es un proceso usado para determinar sistemática y científicamente qué se debe hacer para asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios desean que hagan. Ampliamente reconocido por los profesionales de mantenimiento como la forma más “costo-eficaz” de desarrollar estrategias de mantenimiento de clase mundial, RCM lleva a mejoras rápidas, sostenidas y sustanciales en la disponibilidad y confiabilidad de planta, calidad de producto, seguridad e integridad ambiental. (Moubray, 2000).

El RCM pone énfasis tanto en las consecuencias de las fallas como en las características técnicas de las mismas, mediante:

1. Integración: de una revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspecto de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento.
2. Atención: en las tareas del mantenimiento que mayor incidencia tienen en el funcionamiento y desempeño de las instalaciones, garantizando que la inversión en mantenimiento se utiliza donde más beneficio va a reportar.

El RCM ha sido usado por una amplia variedad de industrias durante los últimos diez años. Cuando se aplica correctamente produce los beneficios siguientes

- Mayor seguridad y protección del entorno.
- Menor daño secundario a continuación de las fallas de poca importancia (como resultado de una revisión extensa de los efectos de las fallas).
- Mayor Control de los costos del mantenimiento.
- Más larga vida útil de los equipos, debido al aumento del uso de las técnicas de mantenimiento “a condición”.
- Mayor motivación de las personas.
- Mejor trabajo de grupo.

Muchas compañías que han usado ambos sistemas de mantenimiento han encontrado que el RCM les permite conseguir mucho más en el campo de la formación de equipos que en la de los círculos de calidad, especialmente en las plantas de alta tecnología.

Todos estos factores forman parte de la evolución de la gestión del mantenimiento, y muchos ya son la meta de los programas de mejora.

Lo importante del RCM es que provee un marco de trabajo paso a paso efectivo para realizarlos todos a la vez y para hacer participar a todo el personal que tenga algo que ver con los equipos de los procesos.(Mounbray, 2000).

1.5.2. Historia del RCM

En la actualidad es muy aceptado que la aviación comercial resulta ser la forma más segura para viajar. Al presente, las aerolíneas comerciales sufren menos de dos accidentes por millón de despegues.

Sin embargo al final de los 1950s, la aviación comercial mundial estaba sufriendo más de 60 accidentes por millón de despegues. Si en la actualidad se estuviera presentando la misma tasa de accidentes, se estarían oyendo sobre dos accidentes aéreos diariamente en algún sitio del mundo (involucrando aviones de 100 pasajeros o más). Dos tercios de los accidentes ocurridos al final de los 1950s eran causados por fallas en los equipos. Esta alta tasa de accidentalidad, conectada con el auge de los viajes aéreos, significaba que la industria tenía que empezar a hacer algo para mejorar la seguridad. El hecho de que una tasa tan alta de accidentes fuera causada por fallas en los equipos significaba que, al menos inicialmente, el principal enfoque tenía que hacerse en la seguridad de los equipos. (Moubray, 2000).

La historia de la optimización del mantenimiento en la aviación comercial desde un cúmulo de supuestos y tradiciones hasta llegar a un proceso analítico y sistemático que hizo de la aviación comercial “La forma más segura para viajar” es la historia del RCM.

El RCM es uno de los procesos de mantenimiento desarrollados durante los 1960s y 1970s, en varias industrias con la finalidad de ayudar a las personas a determinarlas mejores políticas para mejorar las funciones de los activos físico y para manejar las consecuencias de sus fallas. De estos procesos, el RCM es el más directo.

En lo referente a la Norma SAE JA 1011, se dice que esta no presenta un proceso RCM estándar. Su título es: “Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad”. Este estándar muestra criterios con los cuales se puede comparar un proceso. Si el proceso satisface dichos criterios, se lo considera un “proceso RCM”, caso contrario no lo es. (Esto no significa necesariamente que los procesos que no cumplan con el estándar SAE RCM no resulten válidos para la formulación de estrategias de mantenimiento. Sólo quiere decir que no se le debe aplicar el término RCM a los mismos.)

Por su parte, en la norma SAE JA 1012, se establece que es una guía para la norma del RCM, pero no intenta ser un manual ni una guía de procedimientos para realizar el RCM. Aquellos que desean aplicar RCM están seriamente invitados a estudiar la materia en mayor detalle, y a desarrollar sus competencias bajo la guía de Profesionales RCM experimentados. (Moubray,2000)

1.5.3. Las siete preguntas básicas del RCM

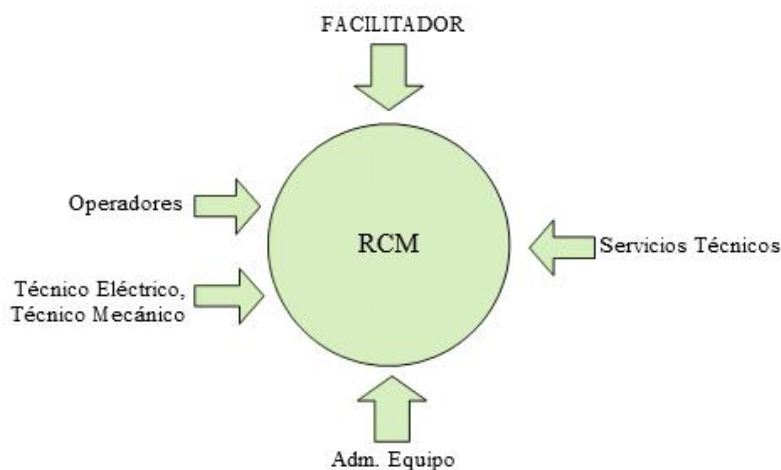
El proceso sistemático del RCM formula siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta revisar:

1. **¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?**
2. **¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?**
3. **¿Cuál es la causa de cada falla funcional?**
4. **¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?**
5. **¿En qué sentido es importante cada falla?**
6. **¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?**
7. **¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?**

1.5.4. Conformación del grupo de análisis RCM

En la práctica el personal de mantenimiento no puede contestar a las siete preguntas por sí solos. Esto es porque muchas de las respuestas sólo pueden proporcionarlas el personal operativo (Técnicos), Ingenieros, Inspectores, o el de producción.

Por esta razón la revisión de los requerimientos del mantenimiento de cualquier equipo debería de hacerse por equipos de trabajo reducidos que incluyan al menos una persona de mantenimiento y otra de Ingeniería. La antigüedad de los miembros del grupo es menos importante que el hecho de que deben de tener un amplio conocimiento de los equipos que se están estudiando. Cada miembro del grupo deberá también haber sido entrenado en RCM. El uso de estos grupos no sólo permite que los directivos obtengan acceso de forma sistemática al conocimiento y experiencia de cada miembro del grupo, sino que además reparte de forma extraordinaria los problemas del mantenimiento y sus soluciones. (Mounbray, 2000).



Fuente: Elaboración propia en base a libro de RCM John Mounbray.

Figura 1-18. La conformación típica de un grupo de revisión RCM

1.5.5. Funciones y parámetros de funcionamiento

Cada elemento que conforma los sistemas de los equipos debe de haberse adquirido para uno o varios propósitos determinados. En otras palabras, deberá tener una función o funciones específicas. La pérdida total o parcial de estas funciones afecta a la organización en cierta manera. La influencia total sobre la organización depende de:

- La función de los equipos en su contexto operacional, o sea la prioridad del equipo dentro del sistema productivo.
- El comportamiento funcional de los equipos en ese contexto.

Las funciones del equipo se dividen pueden en:

- Funciones primarias: Estas resumen el porqué de la adquisición del activo.
- Funciones secundarias: la cual reconoce que se espera de cada activo que haga más que simplemente cubrir sus funciones primarias.

Una vez que se establece el funcionamiento deseado de cada elemento, el RCM pone un gran énfasis en la necesidad de cuantificar los estándares de funcionamiento siempre que sea posible. Estos estándares se extienden a la producción, calidad del producto, servicio al cliente, problemas del medio ambiente, costo operacional y seguridad. Esto remarca la importancia de identificar precisamente qué es lo que los usuarios quieren cuando comienza a desarrollarse un programa de mantenimiento. (Moubray, 2000).

1.5.6. Fallas funcionales

El paso siguiente es identificar cómo puede fallar cada elemento en la realización de sus funciones, lo que es conocido comúnmente como falla funcional, la cual ocurre cuando un activo no puede cumplir una función de acuerdo a al parámetro de funcionamiento que el usuario considero aceptable.

Cuando se presenta una falla funcional el Objeto RCM deja de hacer lo que sus usuarios quieren que haga. Estas fallas sólo pueden ser identificadas luego de haber definido las funciones y parámetros de funcionamiento del activo.

Se deben de definir fallas funcionales por cada función. Una función puede tener varias fallas funcionales, las cuales se deben registrar.

1.5.7. Modos de falla

El próximo paso es tratar de identificar todos los hechos que de manera razonablemente posible puedan haber causado cada estado de falla. Esto permite comprender exactamente qué es lo que puede que se esté tratando de prevenir.

Al realizar este paso, es importante identificar cuál es la causa origen de cada falla. Esto asegura que no se malgaste el tiempo y el esfuerzo tratando los síntomas en lugar de las causas. Resulta importante identificar la causa de cada falla con suficiente detalle para asegurarse de no desperdiciar tiempo y esfuerzo intentando tratar síntomas en lugar de causas reales.

Un modo de falla origina una falla funcional y la función del Objeto RCM se afecta negativamente. Se definen modos de falla por cada falla funcional y cada una de estas puede tener varios modos de falla.

La descripción de un modo de falla debe consistir de un sustantivo y un verbo y debe de ser descrito de manera específica y concisa. Se debe de evitar el uso de expresiones como falla, rotura o mal funcionamiento.

1.5.8. Efectos de las fallas

El siguiente paso del proceso de RCM, enfatiza enlistar los efectos de cada falla, que describan lo que ocurre con cada modo de falla.

Concretamente, al describir los efectos de una falla, debe hacerse constar lo siguiente:

- Qué evidencia existe (si la hay) de que se ha producido una falla.
- De qué modo (si las hay) la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente.
- De qué manera (si las hay) afecta a la producción o a las operaciones.
- Los daños físicos (si los hay) han sido causados por la falla.
- Qué debe hacerse para reparar la falla.

El proceso de contestar sólo a las cuatro primeras preguntas produce oportunidades sorprendentes y a menudo muy importantes de mejorar el funcionamiento y la seguridad, y también de eliminar errores. También mejora enormemente los niveles generales de comprensión acerca del funcionamiento de los equipos (Moubray, 2000).

1.5.9. Consecuencias de falla

El proceso RCM clasifica las consecuencias de las fallas en cuatro grupos:

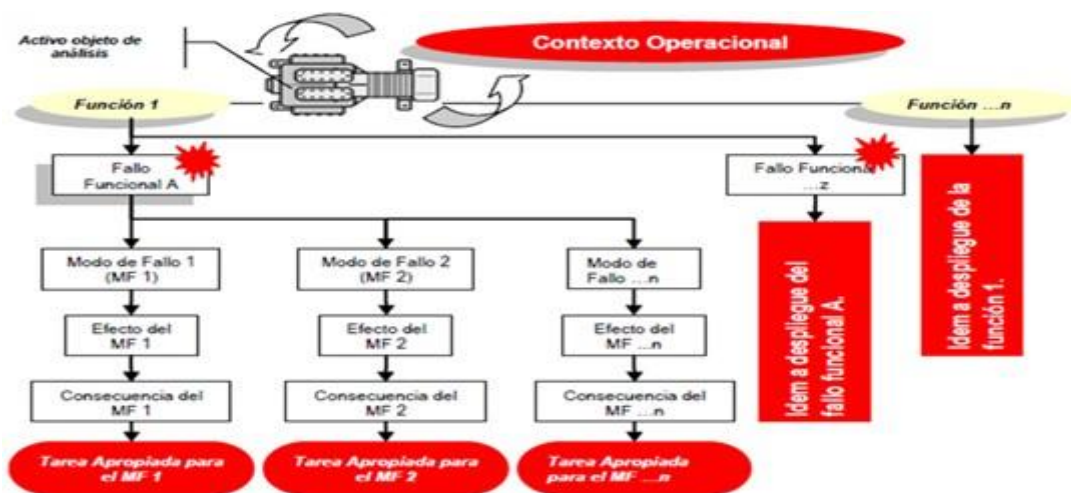
1. Consecuencias Operacionales: una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (capacidad, calidad del producto, servicio al cliente o costos industriales en adición al costo directo de la reparación). Estas consecuencias cuestan dinero, y lo que cuesten sugiere cuanto se necesita gastar en tratar de prevenirlas.
2. Consecuencias no operacionales: las fallas evidentes que caen dentro de esta categoría no afectan ni a la seguridad ni a la producción, por lo que el único gasto directo es el de la reparación.
3. Consecuencias de las fallas no evidentes: las fallas que no son evidentes no tienen impacto directo, pero exponen a la organización a otras fallas con consecuencias serias, a menudo catastróficas. Un punto fuerte del RCM es la forma en que trata las fallas que no son evidentes, primero reconociéndolos como tales, en segundo lugar otorgándoles una prioridad muy alta y finalmente adoptando un acceso simple, práctico y coherente en relación con su mantenimiento.
4. Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente: una falla tiene consecuencias sobre la seguridad si puede afectar físicamente a alguien. Tiene consecuencias sobre el medio ambiente si infringe las normas gubernamentales relacionadas con el medio ambiente. RCM considera las repercusiones que cada falla tiene sobre la seguridad y el medio ambiente, y lo hace antes de considerar la cuestión del funcionamiento. Pone a las personas por encima de la problemática de la producción.

Si una falla tiene consecuencias significativas en los términos de cualquiera de estas categorías, es importante tratar de prevenirlas. Por otro lado, si las consecuencias no son significativas, entonces no merece la pena hacer cualquier tipo de mantenimiento sistemático que no sea el de las rutinas básicas de lubricación y servicio. (Moubray, 2000).

Por eso en este punto del proceso del RCM, es necesario preguntar si cada falla tiene consecuencias significativas. Si no es así, la decisión normal a falta de ellas es un mantenimiento que no sea sistemático. Si por el contrario fuera así, el paso siguiente sería

preguntar qué tareas sistemáticas (si las hubiera) se deben de realizar. Sin embargo, el proceso de selección de la tarea no puede ser revisado significativamente sin considerar primero el modo de falla y su efecto sobre la selección de los diferentes métodos de prevención.

Lo importante del RCM es que provee un marco de trabajo paso a paso efectivo para realizar los trabajos con la participación de todo el personal que tenga algo que ver con los equipos o sea parte del proceso.(Mounbray, 2000).



Fuente: Resumen Norma SAE 1012.

Figura 1-19. Esquema RMC

1.6. FUNCIÓN DEL ACTIVO Y SUS SISTEMAS

1.6.1. Función del Tractor oruga D375-5

El Tractor D375-5 es uno de los tractores más grandes fabricados por Komatsu es usado principalmente de la industria minera y su función principal de diseño es para empujar grandes cargas y romper la roca con el desgarrador (ripper), la capacidad de la hoja topadora es de 34 metros cúbicos, el D375-5 pesa 92.7 toneladas.

Están diseñados para empujar el material y obtiene su máximo rendimiento haciéndolo en forma repetida a una distancia de 30 metros y con una máxima aconsejable de 100 metros, cada 30 metros más su rendimiento baja en un 5%.

Su capacidad depende de la hoja topadora V_s , refiriéndose a la fórmula de la figura 1-20 en metros cúbicos, del largo, altura (h) y el ángulo del material en reposo (x),

ya que con ella hace su mayor número de actividades, es capaz de mover entre 1150 y 1250 toneladas de material estéril por hora, para calcular el rendimiento de un bulldozer o tractor viene dado por la fórmula:

$$R = \frac{Vs * 60 * Fe * Ct * n}{Tc} = m^3$$

Vs es la capacidad de la cuchilla en metros cúbicos de material esponjado.

Fe es el factor de eficacia de la máquina, esta eficacia depende del conductor, estado de la máquina, el estado del terreno, por lo cual no se puede lograr que trabaje de forma continua. El factor de eficacia varía entre un 70% - 80%. Ct es el coeficiente de transformación.

Los valores medios van a ser establecidos la tabla 1-3, según el material que va a ser empujado por la máquina, para que se cubique según su perfil, sea este esponjado o compactado.

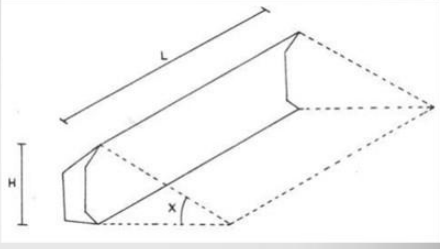
Tabla 1-3. Coeficiente de transformación ct

Clase de terreno	Perfil	Material esponjado	Material Compactado
Tierra	1	1,25	0,9
Arcilla	1	1,4	0,9
Arena	1	1,1	0,95

Fuente: <http://www.ingenieria.unam.mx>.

Tc es el tiempo empleado en el ciclo, el cual va a estar en minutos. Es la suma del tiempo fijo y del tiempo variable.

capacidad de la hoja topadora es:

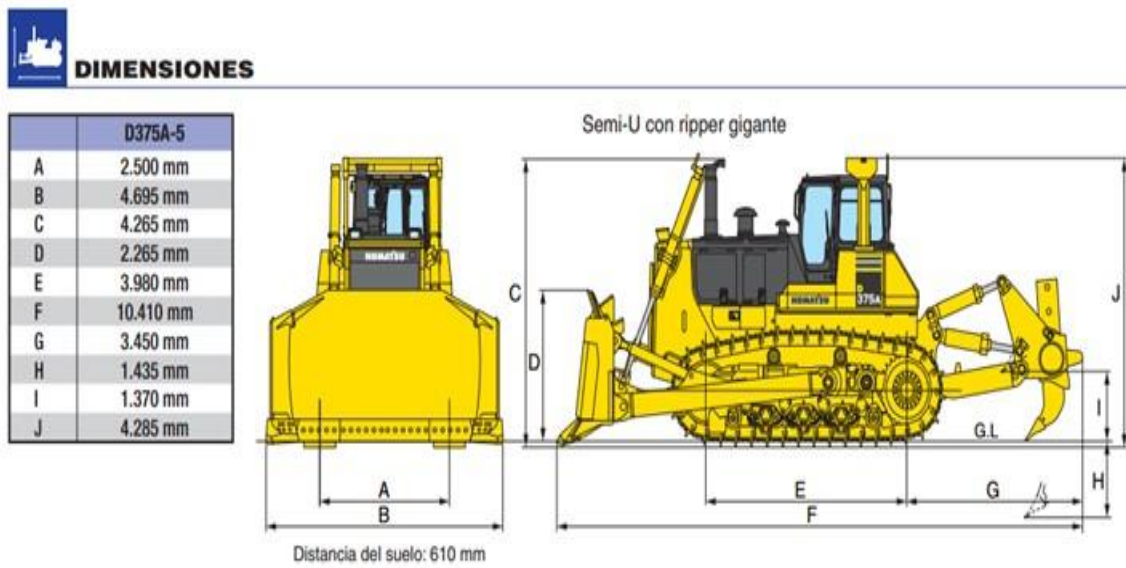
$$Vs = \frac{LH^2}{2 Tg x}$$


V = capacidad de la hoja
L = longitud de la hoja
H = altura de la hoja
x = ángulo de reposo del material

Fuente: <http://www.ingenieria.unam.mx>.

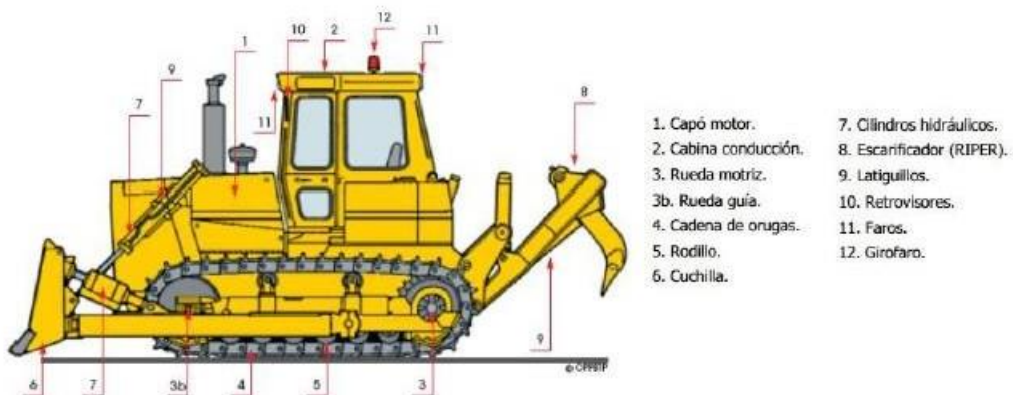
Figura 1-20. Calculo de capacidad de la hoja topadora

La faena Andina cuenta con cinco de este modelo, con una gran versatilidad, estos son usados en los botaderos de estéril donde los camiones de acarreo de 300 toneladas descargan el material este lo esparce dándole forma a botaderos, nivela el piso de los banco de carguío, prepara el piso para la perforación, mantiene los caminos de acarreo, retira las rocas más grandes luego de las tronaduras, forma los pretiles etc.



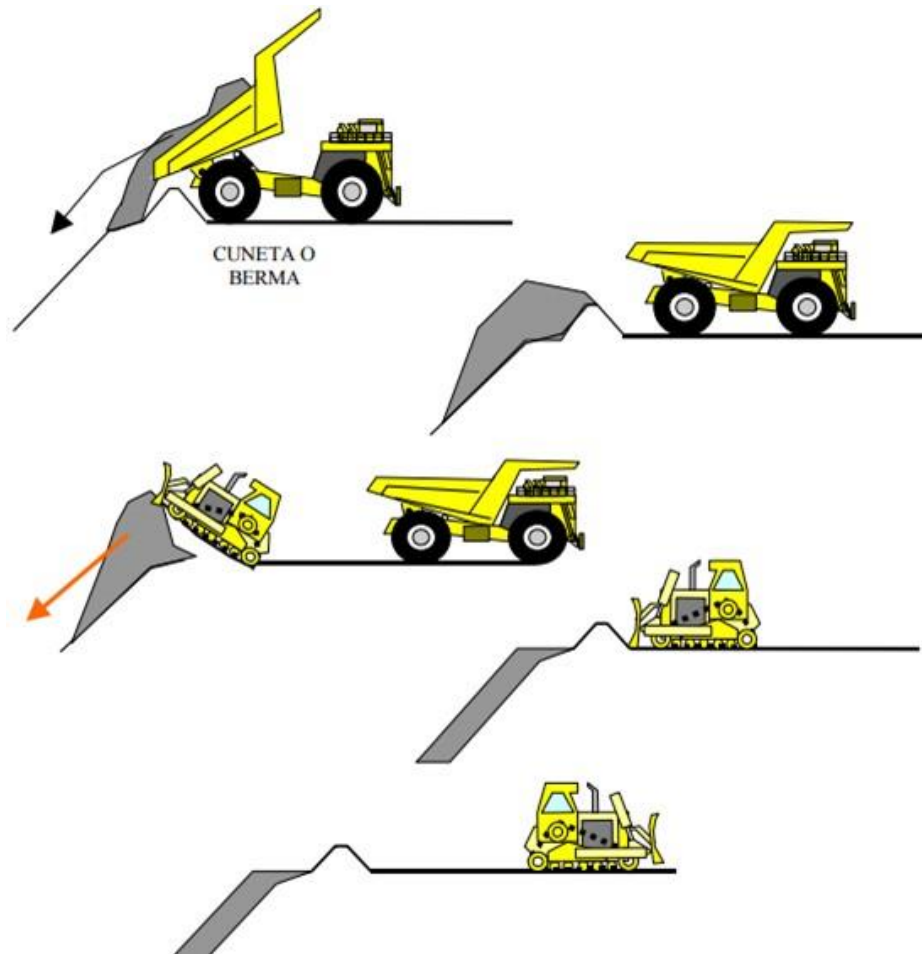
Fuente: www.komatsuarriendo.cl.

Figura 1-21. Dimensiones del equipo



Fuente: www.scielo.br.

Figura 1-22. Identificación de partes



Fuente apuntes minería rajo abierto www.u-cursos.cl.

Figura 1-23. Funciones del equipo en proceso

1.6.2. Análisis funcional de los sistemas críticos

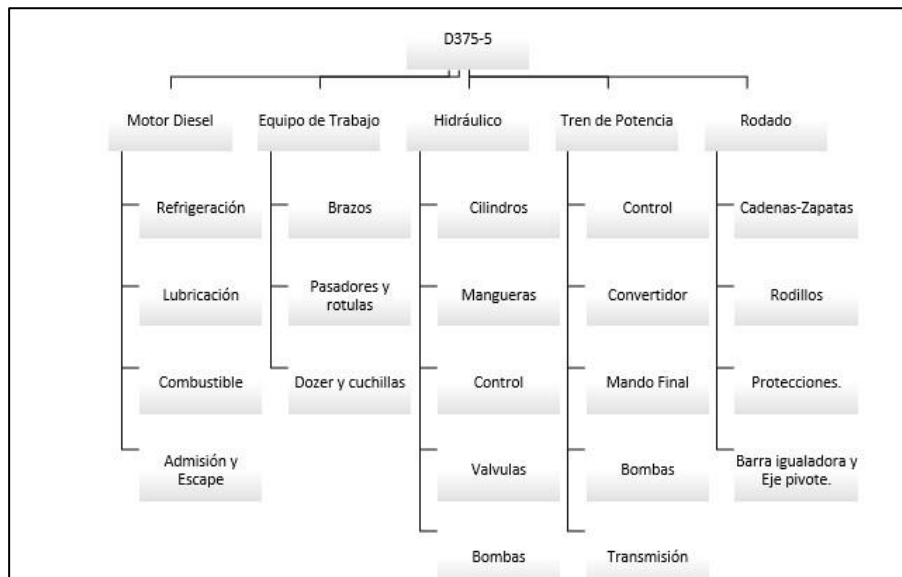
En análisis funcional de los sistemas críticos, se realiza un estudio a estos sistemas más detalladamente, recopilando toda la información posible, los aportes del fabricante, la observación del contexto operacional y del personal con mayor experiencia son de mucha ayuda para buscar las mejores soluciones.

Se asocia directamente el contexto operacional y los sistemas que fallan ya que en forma evidente el fabricante sabe poco de esto y no lo destaca dentro de los protocolos genéricos del mantenimiento, solo lo nombra y debe ser estrategia de la gestión del mantenimiento considerarlo.

Para realizar el estudio, el desglose por sistema facilita las cosas, permite individualizar y orientarnos el origen de los problemas, cada sistema posee su modo de

falla que muchas veces están relacionados y contribuyen a la pérdida de función primaria de este equipo.

El estudio de la descripción y función de ellos nos va proporcionar un conocimiento global clave para el mejor entendimiento del activo y sus funciones, primer paso en



Fuente: Elaboración propia en base a calificación RM+Care.

Figura 1-24. Estructura de sistemas y sub-sistemas del tractor oruga D375-5

1.6.2.1. Descripción y función del Motor diésel

El motor diésel envía potencia desde el volante al convertidor, el motor tiene una capacidad de 524 hp, Los sub sistemas más importantes del motor tiene son cuatro, subsistema de enfriamiento o refrigeración, lubricación, admisión escape y de inyección de combustible:



MOTOR

Modelo	Komatsu SAA6D170E-3
Tipo	Inyección directa de 'common rail', refrigerado por agua, turbocompresor y postenfriado por aire, con control de emisiones de escape
Potencia del motor	
A las revoluciones del motor	1.800 rpm
ISO 14396	452 kW / 606 HP
ISO 9249 (potencia neta del motor).....	391 kW / 524 HP
N° de cilindros	6
Diámetro x carrera	170 x 170 mm
Cilindrada	23,15 l
Controlador	Todas velocidades, electrónico
Tipo ventilador del radiador	Hidráulico
Sistema de lubricación	
Método.....	Bomba de engranajes, lubricación a presión
Filtro.....	Flujo total

Fuente: www.komatsuarriendo.cl

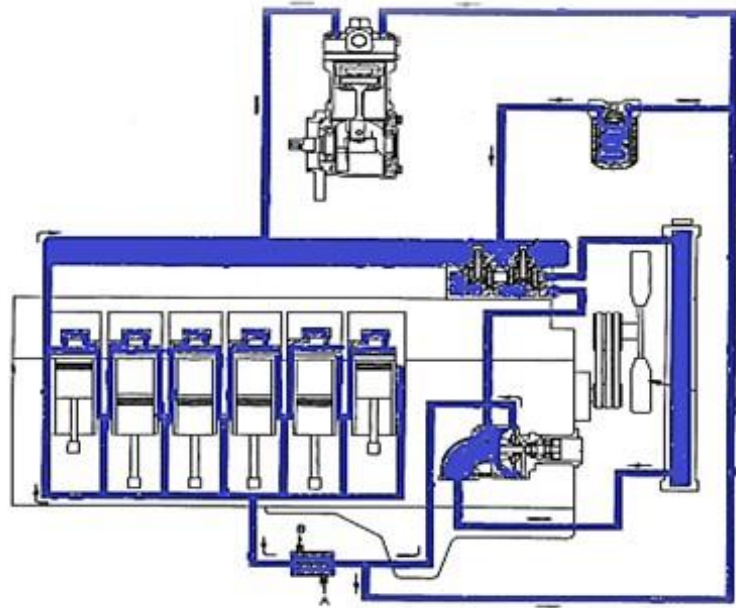
Figura 1-25. Especificaciones motor diésel Komatsu D375-5

1.6.2.2. Descripción y función del sub sistema de refrigeración

Durante la operación todos los motores de combustión interna generan calor, la temperatura de la cámara de combustión en los motores Komatsu pueden alcanzar los 1927°C, sin embargo, solo el 30-40% de esta energía pasa a través del cigüeñal en caballos de fuerza, el 30% sale por los gases de escape, el 7% va directamente a la atmósfera en forma de calor y el 30% restante sale a través del sistema de enfriamiento.

La función del subsistema de enfriamiento es remover el calor del motor para mantenerlo en la temperatura dentro de los rangos de operación deseados, para la correcta operación menor o igual a 85 grados centígrados, esta función es vital para la operación de los motores de combustión interna.

El sistema de refrigeración a su vez se compone de un intercambiador de calor que utiliza como medio de transferencia líquido refrigerante (50% agua destilada y 50% anti-congelante) y un flujo de aire proporcionado por un ventilador de aspas, conducido mediante un conjunto de correas y poleas propulsado por el mismo motor, con velocidad proporcional al mismo, en su conjunto constituyen un sistema de convección forzada. La dirección del flujo de aire es hacia adelante del equipo.



Fuente: En base a manual de servicio Komatsu D375-5

Figura 1-26. Circuito de refrigeración

Un motor que funciona a muy alta temperatura, el calor que es transmitido a la pared de la cámara de combustión no es eliminado rápidamente, las piezas internas por dilatación térmica se deformaran excesivamente, también se rompe la película de aceite lubricante por disminución de la viscosidad de este.

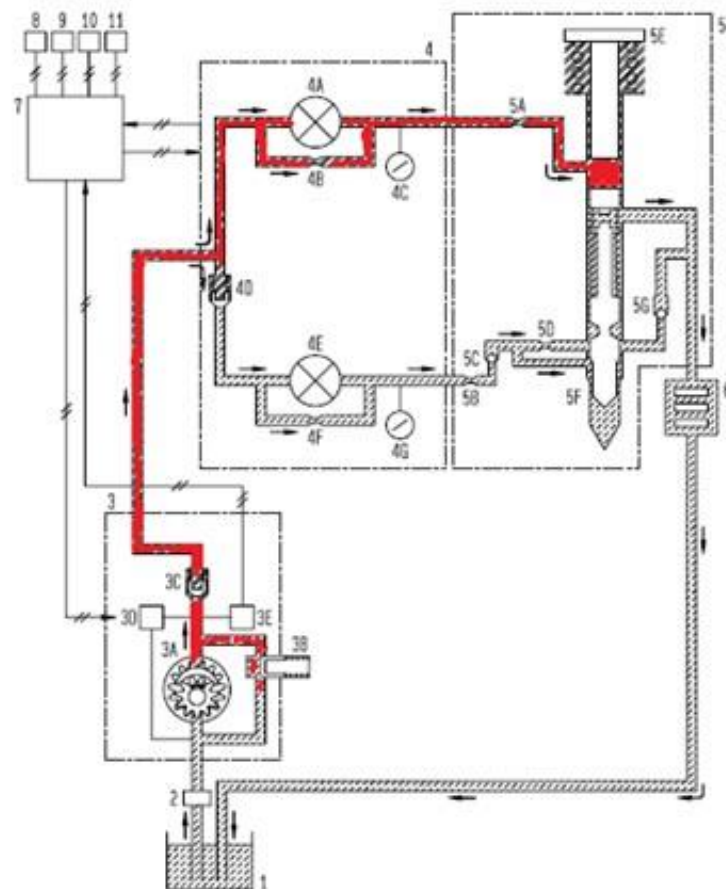
Los daños acumulativos por ineficiencia del sistema de refrigeración causan que el motor no cumpla con las horas de operación esperadas con la consecuencia de un desembolso económico no planificado.

A temperatura normal de funcionamiento, el sistema de enfriamiento debe estar controlado en los niveles apropiados para que todas las partes trabajen en los niveles normales de desgaste, de esta forma el componente podrá cumplir con las horas de operación esperadas, la acumulación de eventos de sobre temperatura tendrán como consecuencia que el aceite no pueda llegar a las horas de operación esperadas y no cumpla con su función primaria.

1.6.2.3. Descripción y función del Sub sistema de control de Combustible

Los componentes del sistema de inyección suministran el combustible adecuado para que se realice el proceso de combustión y se genere el movimiento del motor, Cuando

la carrera del émbolo está en la parte superior, el combustible fluye a través de los conductos de combustible de baja presión en la caja. El combustible fluye entonces al conducto central en el émbolo y a la cámara de bombeo debajo del émbolo. Cuando la carrera del émbolo esté en la parte inferior, el combustible fluye a través de los conductos de combustible de alta presión. El combustible fluye a través de la válvula de cartucho abierta y en los conductos de combustible de baja presión. Cuando la válvula de cartucho está cerrada o activada, se bloquea el flujo de



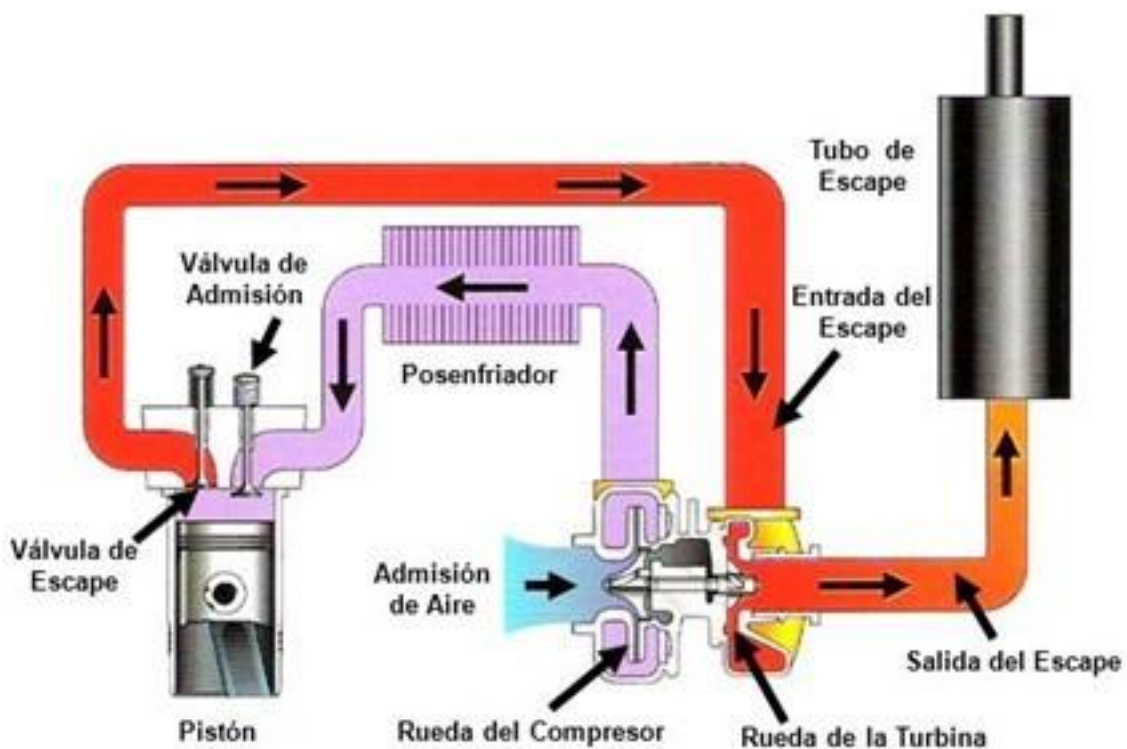
Fuente: en base a manual de servicio Komatsu D375-5

Figura 1-27. Circuito de combustible

1.6.2.4. Descripción y función del Sub sistema admisión y escape

Los componentes del sistema de admisión y de escape controlan la calidad y la cantidad de aire que está disponible para la combustión. Hay turbocompresores y múltiples

de escape separados. Un post enfriador común se encuentra entre las culatas en el centro del motor. El múltiple de admisión es una serie de codos que conectan la cámara del post enfriador a las lumbreras de admisión (conductos) de las culatas. Hay un árbol de levas en cada lado del bloque. Los dos árboles de levas controlan el movimiento de los componentes del sistema de válvulas. Los gases de escape pasan a la entrada del escape Rueda de la turbina. Los gases impulsan los alabes de la rueda de la turbina. La rueda de la turbina y la rueda del compresor giran a velocidades de hasta 90.000 rpm. El aire limpio de los filtros de aire pasa a la admisión de aire al girar la rueda del compresor. La acción de las hojas de la rueda del compresor comprime el aire de admisión y lo hace pasar a través del post enfriador para enfriar el aire que entra a la cámara de combustión. Esta compresión proporciona más potencia al motor porque permite mayor entrada de aire y el motor consume el combustible con mayor eficiencia.



Fuente: Modificado CATERPILLAR, D11N Track-Type Tractor System Operation


Figura 1-28. Esquema de entrada y evacuación de gases

1.6.2.5. Descripción y función del Sub sistema de lubricación

El Subsistema de Lubricación de Aceite de Motor. Se encarga de suministrar aceite para lubricar todas las partes del motor, este subsistema utiliza una bomba de aceite

con tres engranajes. Los engranajes de la bomba son impulsados por el tren de engranajes delantero. La bomba de aceite del motor extrae el aceite del colector de aceite del motor a través de la campana de succión y el codo. La campana de succión tiene una rejilla para poder limpiar el aceite. La válvula de alivio está en la bomba de aceite del motor. La válvula de alivio controla la presión del aceite desde la bomba de aceite del motor. La bomba de aceite del motor empuja el aceite a través del enfriador de aceite del motor y a través de los filtros del aceite al conducto de aceite principal y al conducto de aceite del árbol de levas en el bloque de motor.

1.6.2.6. Descripción y función del sistema de transmisión



TRANSMISIÓN TORQFLOW

Tipo Komatsu TORQFLOW
 Convertidor de par De 3 elementos, 1 etapa, 1 fase, enfriado por agua con bloqueo del convertidor de par
 Transmisión Por embrague de engranaje planetario y múltiples discos, accionada hidráulicamente, lubricada a presión
 La palanca de bloqueo del cambio de velocidad y el interruptor de seguridad en punto muerto evitan que el vehículo pueda sufrir arranques accidentales.

Velocidades de desplazamiento	Marcha adelante	Marcha atrás
1 ^a	3,5 km/h	4,6 km/h
2 ^a	6,8 km/h	9,2 km/h
3 ^a	11,8 km/h	15,8 km/h

Fuente: www.komatsuarriendo.cl.

Figura 1-29. Especificaciones técnicas de la transmisión

1.6.2.7. Descripción del sistema Hidráulico

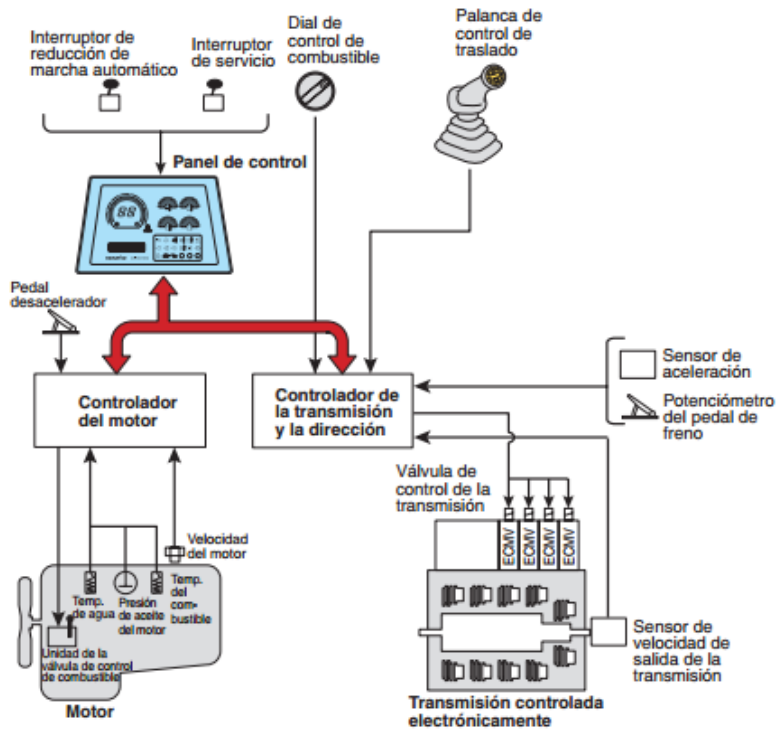
SISTEMA HIDRÁULICO

Tipo	Sistema Load Sensing de centro cerrado
Todas las válvulas de carrete están montadas junto al depósito hidráulico.	
Bomba principal	Bomba de engranajes
Máximo caudal de la bomba	405 l/min
Tara de las válvulas de descarga	210 kg/cm ²
Válvulas de control de carrete para hoja en semi-U y hoja en U	
Subir hoja	Levantar, mantener, bajar y flotar
Inclinar hoja	Derecha, mantener e izquierda
Válvula de control adicional requerida para ripper	
Levantar ripper	Levantar, mantener y bajar
Inclinar ripper	Aumentar, mantener y disminuir
Cilindros hidráulicos	
Número de cilindros x diámetro	Doble acción, pistón
Subir hoja	2 x 150 mm
Inclinar hoja (única inclinada)	1 x 225 mm
Levantar ripper	2 x 225 mm
Inclinar ripper	2 x 200 mm

Fuente www.komatsuarriendo.cl.

Figura 1-30. Especificaciones técnicas del sistema hidráulico

1.6.2.8. Sistema de control



Fuente: www.komatsuarriendo.cl

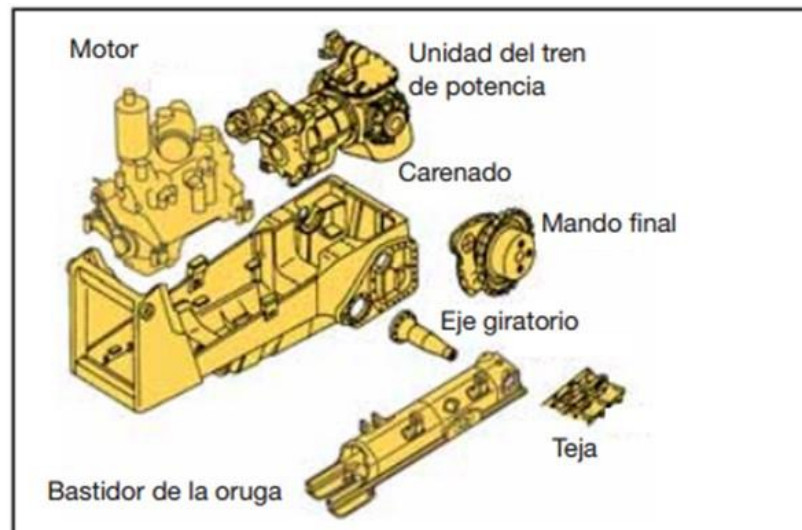
Figura 1-31. Esquema de sistema de control

1.6.3. Descripción y función del tren de rodado

El costo del tren de rodaje puede llegar hasta un 60% del costo de mantenimiento y reparación del equipo.

Los componentes del tren de rodaje están sellados en un diseño modular que permite el desmontaje y montaje de dichos componentes sin derramar aceite.

El sencillo diseño del chasis principal de la estructura, aumenta la durabilidad y reduce la concentración de tensión en zonas críticas.



Fuente: www.komatsuarriendo.cl.

Figura 1-32. Desembalaje modular

1.6.3.1. Función del Bastidor de rodado

Los bastidores son dos y sostiene a las orugas de ambos lados, aloja los demás componentes del rodado, el conjunto de la rueda tensora y rodillos. Están unidos al chasis mediante un eje articulado llamado eje pivote y entre sí con una barra llamada igualadora que es soportada en su parte central al chasis, la que permite la articulación independiente con amplio movimiento y adaptación al terreno.



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada en taller Andina.

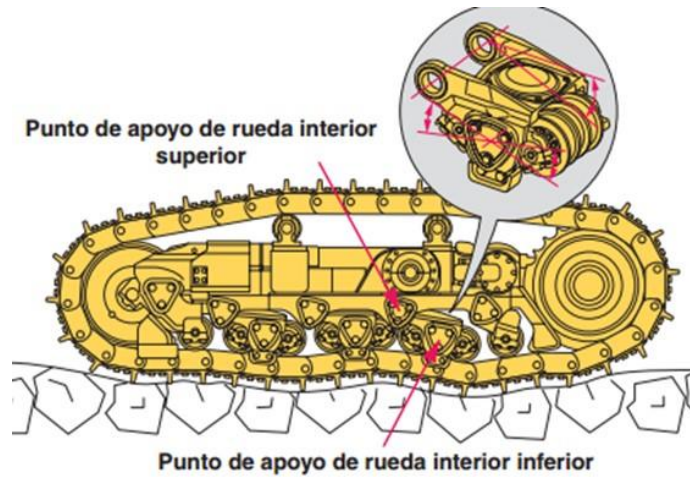
Figura 1-33. Desmontaje bastidor de oruga D375-5

1.6.3.2. Descripción y función del sistema de tren de rodaje

El sistema de tren de rodaje de tipo K-bogie está construido con un piñón fijo y rodamientos de oruga flexibles. Los rodamientos de la oruga están montados por pares en un sistema de bogie gemelo, permitiendo un amplio movimiento vertical del rodamiento de la oruga.

Características del sistema tipo bogie K• El sistema tipo bogie K proporciona un apoyo excelente en el ensamblaje de la articulación, incluso en condiciones de trabajo difíciles:

- El ensamblaje de la articulación está siempre en contacto con el suelo, ofreciendo la mejor transferencia de la fuerza de tracción Se reduce la carga por impacto en los componentes del tren de rodaje y se aumenta ampliamente la durabilidad de los mismos
- Se mejora el confort en la conducción al reducir las vibraciones y las sacudidas, incluso sobre terrenos abruptos
- El nuevo diseño de los 8 rodillos del carro y guías tensoras de montaje flexible dota a la oruga de una importante longitud neta real de contacto con el suelo, combinado con la suave conducción sobre terreno desigual



Fuente: www.komatsuarriendo.cl.

Figura 1-34. Detalle del funcionamiento y diseño del tren de rodaje

1.6.3.3. Descripción y función de las cadenas de la oruga

Las cadenas de la oruga son del tipo selladas y lubricadas tienen eslabones de oruga escariados y sellos de poliuretano en el escariado del eslabón de la oruga que hacen contacto con los extremo del cojinete cuando los eslabones de la oruga están comprimidos, los sellos de poliuretano mantienen la lubricación entre los pasadores y los bujes, y no dejando que los materiales abrasivos penetren. La lubricación proporciona una película de aceite entre las superficies de contacto internas de la pasador y el cojinete, de esta manera, se reduce la fricción y se elimina virtualmente el desgaste interno el pasador y el buje, la eliminación de la extensión de apertura retrasa el desgaste de los dientes de la rueda y el desgaste del diámetro externo del cojinete.



Fuente: Komatsu America.

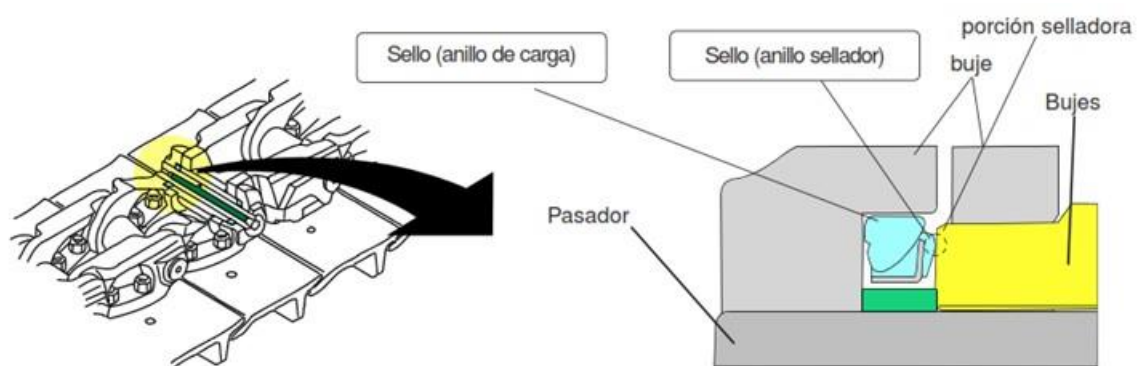
Figura 1-35. Apoyo de apoyo conjunto pasador y rueda dentada

La vida útil de la cadena sellada y lubricada es aproximadamente 50 por ciento más larga que la de la cadena de la oruga sellada (no lubricada). La cadena de la oruga sellada y lubricada no solo reduce el desgaste del diámetro externo del cojinete y el desgaste de los dientes de la rueda, sino que también reduce los ruidos y aumenta la eficiencia del combustible de la máquina. Independientemente del tipo de cadena de la oruga, las clavijas de la oruga giran aproximadamente 180 grados en la superficie del diámetro interno de los cojinetes, mientras que la cadena de la oruga gira dentro y fuera de la rueda y de las ruedas guía.

En la cadena de la oruga sellada, el desgaste ocurrirá en alrededor de 180 grados del diámetro externo del pasador de la oruga y del diámetro interno del cojinete. En la cadena de la oruga sellada y lubricada, este desgaste se elimina virtualmente.

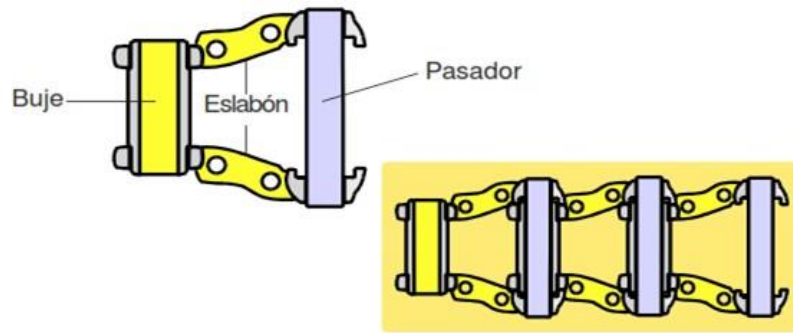
Los pasadores están fabricados con acero al boro de bajo carbono, formado por extrusión en frío para que conserve sus propiedades mecánicas como la tenacidad flexibilidad, con una superficie endurecida resistente al desgaste, esto solo se consigue con un acero de alto carbono por cementación, este tratamiento térmico consiste en introducir el buje en un horno con una atmosfera rica en carbono inyectando carbono en la superficie, luego del templado esta pieza es capaz de soportar por muchas horas el desgaste por abrasión. Para este modelo de equipo son perforados longitudinal y transversalmente lubricados y sellados, esto consigue disminuir el desgaste entre pasador y buje. Finalmente se realiza el maquinado para adaptar las piezas con precisión.

Esta pieza entra en contacto con el segmento de la rueda motriz soportando esfuerzos combinados durante el tiempo en operación.



Fuente: Manual Komatsu América.

Figura 1-36. Detalle de la construcción de los pasadores de oruga

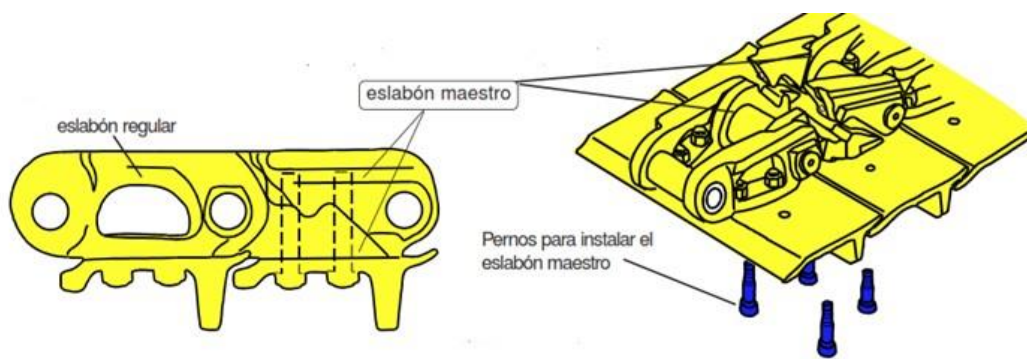


Fuente: manual Komatsu América.

Figura 1-37. Detalle de buje y pasador de oruga

Los eslabones tienen formas complicadas, las propiedades esenciales que se buscan en los eslabones es que la superficie de rodamiento no se desgaste muy rápidamente. Una cadena no es más fuerte que su eslabón más débil. Por lo tanto, un eslabón no debe romperse fácilmente, los eslabones sirven también como la pieza de unión de la oruga, llamada ésta eslabón maestro.

El tipo de eslabón maestro de KD375-5 está dividido en secciones y asegurado mediante cuatro pernos, los mismos que aseguran la zapata.

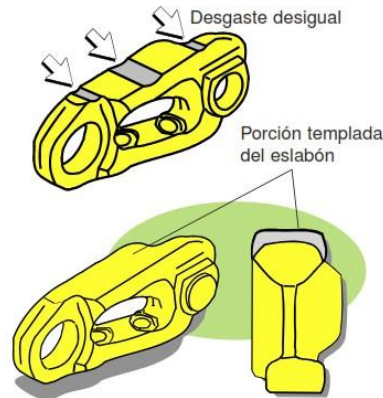


Fuente: Komatsu America.

Figura 1-38. Ejemplo de eslabón maestro

Los eslabones son fabricados de acero de endurecimiento profundo con alto contenido de boro son forjados para mantener la tenacidad del núcleo, resisten altos impactos sin agrietarse y la fatiga por cargas repetitivas, el tratamiento térmico se realiza en un horno libre de oxígeno, luego enfriado y revenido para conseguir las propiedades necesarias, la superficie también es endurecida por un nuevo tratamiento térmico para que

la pieza pueda soportar las cargas de choque y la abrasión, también son maquinados en forma precisa para adaptar los bujes y pasadores.



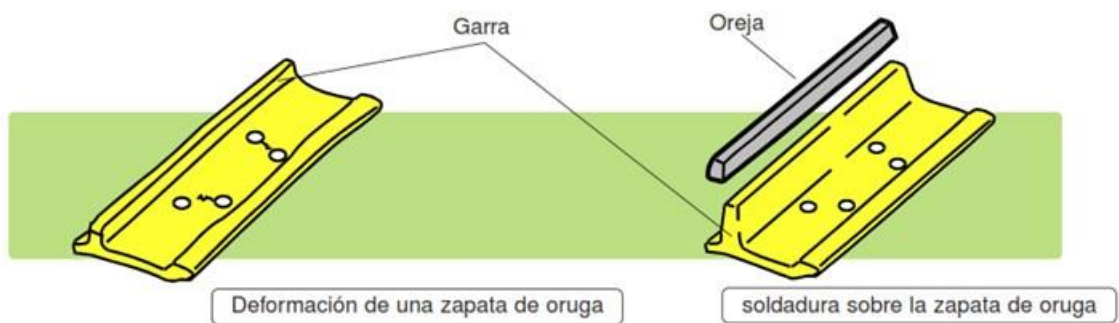
Fuente Komatsu América.

Figura 1-39. Ejemplo del desgaste eslabones

Las garras actúan como placa de refuerzo, la zapata tiende a deformarse y romperse cuando la garra se ha desgastado.

Cuando se deforma la plancha de la zapata, se aflojan los pernos y los eslabones de la oruga pueden dañarse debido a esfuerzos inesperados que reducen la duración de las piezas del tren de rodaje.

Cuando una zapata de oruga se desgasta dentro de su límite de reparación, se debe reemplazar por una nueva zapata en la oruga o lo más habitual es que se reacondicione soldando una oreja de refuerzo en la zapata para darle otro ciclo de desgaste.



Fuente: Komatsu América

Figura 1-40. Método de reacondicionamiento de zapata de oruga



TREN DE RODAJE

Suspensión	Barra compensadora de oscilación y eje pivoteador
Chasis de rodamiento de oruga	Monocasco, sección grande, construcción duradera
Rodamientos y piñones	Rodamientos de orugas lubricados
Tren de rodaje tipo K-bogie	Los rodillos lubricados de las orugas están firmemente montados al bastidor mediante una serie de rodillos tipo K-bogie
Orugas	Lubricadas, totalmente selladas
Tensión	Combinación de unidad hidráulica y resorte
Número de tejas (a cada lado)	41
Altura de la garra (garra simple)	93 mm
Ancho de la zapata (estándar).....	610 mm
Área de contacto con el suelo	48.560 cm ²
Rodillos de rodadura (cada lado).....	8
Rodillos superiores (cada lado)	2

Fuente: www.komatsuarrienda.cl.

Figura 1-41. Especificaciones técnicas tren de rodado

1.6.3.4. Protecciones de rodado

En condiciones de roca abrasiva se deben utilizar protectores de roca o comúnmente nombrados como bota piedras, evitan los impactos directos con los componentes del rodados desviándolos hacia fuera. Cuando se trabaja con materiales rocosos; las rocas y materiales más grandes no se depositarán tan fácilmente entre los dientes de la rueda y los cojinetes de la oruga o entre los eslabones de la oruga y la banda de rodadura de la rueda guía. Los protectores de rocas también ayudan a orientar a las orugas en el caso de aplicaciones extremas en la ladera.

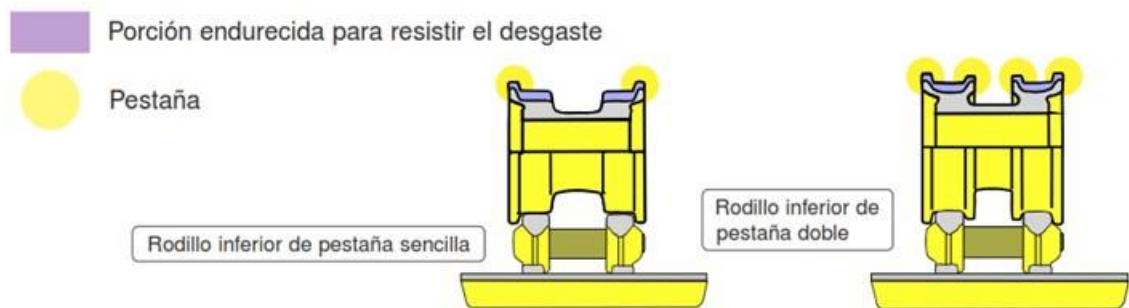
Se debe controlar periódicamente los niveles de desgaste para que sigan cumpliendo su función y eviten el desgaste del bastidor en donde están unidas mediante pernos.

1.6.3.5. Los rodillos de oruga

Los rodillos de oruga son del tipo lubricados están montados sobre el bastidor de manera flexible con un sistema de bogie en forma de K cuyo movimiento oscilatorio es amortiguado mediante tacos de caucho. Los rodillos inferiores son un total de 14, siete por lado, más 4 superiores, dos por lado. Estos aseguran el contacto con el suelo con plena adaptación, guían la cadena en su giro de traslación.

Están contruidos mediante forjado en acero de alto contenido de boro son maquinados, soldados y termo tratados deben tener dureza uniforme, tenacidad y resistencia al desgaste por abrasión. Los rodillos son fijados al bastidor mediante bancadas

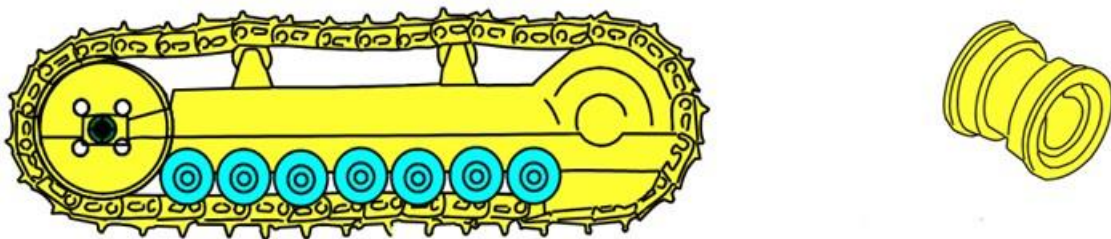
llamadas soportes de rodillos tomadas en los extremos de sus ejes, los ejes de rodillo soportan el peso del equipo, deben girar libremente dentro de los cojinetes con poca fricción y soportar las cargas de choque externas.



Fuente: Komatsu América.

Figura 1-42. Desgaste de rodillos en pestaña doble o simple

Los ejes de los rodillos, deben ser inspeccionados periódicamente, verificando que no existan decoloraciones, desgastes irregulares o fugas de lubricante. El diseño y fabricación asegura un desgaste equilibrado por lo tanto se planificar su cambio cuando lleguen a sus medidas límites.

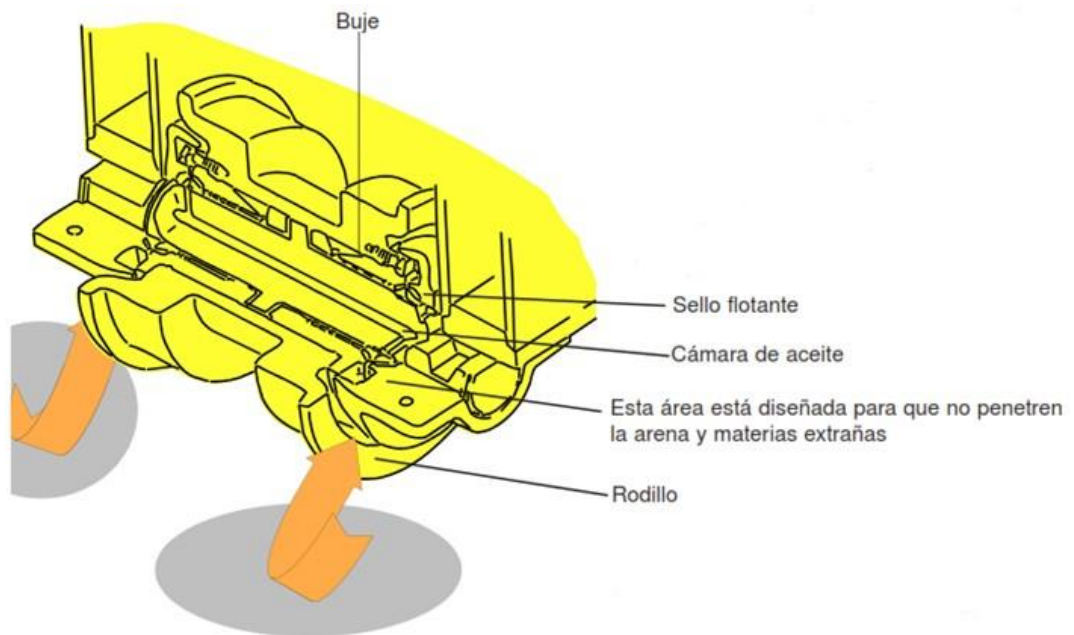


Fuente: Komatsu America.

Figura 1-43. Rodillos inferiores

Hay dos tipos de rodillos inferiores instalados al bastidor de orugas: el de pestaña sencilla y el de pestaña doble. Los rodillos ruedan sobre el conjunto de eslabones de la oruga sometidos a la carga pesada de la máquina. Los rodillos se encuentran instalados, no para envolver los eslabones de la oruga, sino para soportar el peso de la máquina y distribuirlo uniformemente sobre las zapatas de la oruga. El buje y eje del rodillo están lubricados por aceite. Los rodillos inferiores inmediatos a la rueda delantera y la rueda

dentada son del tipo de pestaña sencilla. El orden de instalación de los rodillos de pestaña sencilla o doble, depende del tamaño de la máquina.

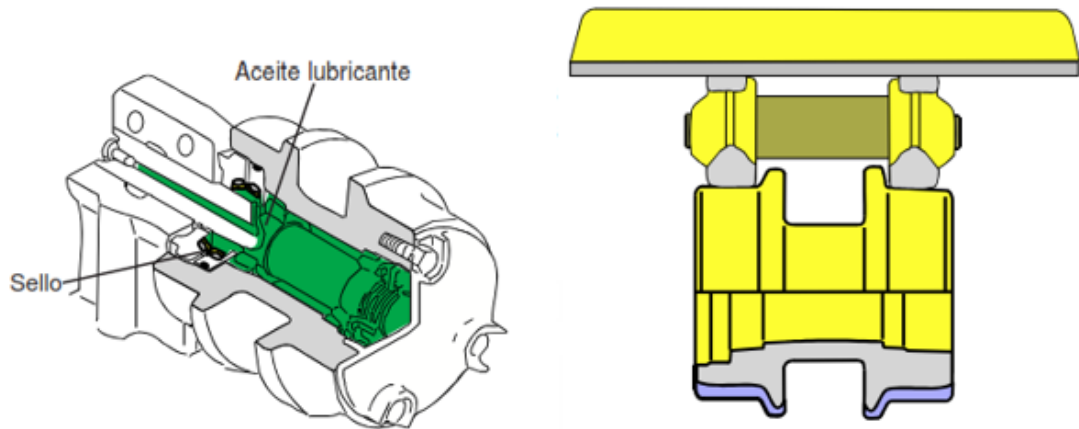


Fuente: Komatsu América.

Figura 1-44. Detalle en corte de rodillo inferior

1.6.3.6. Rodillos superiores

Hay dos tipos de rodillos superiores, el tipo de rodillo con pestañas y el tipo liso. El tipo de rodillo con pestañas se usa en bulldozers y palas cargadoras de mediano y gran tamaño. El tipo de rodillos lisos se usa en las excavadoras hidráulicas de pequeño tamaño. Como los rodillos superiores solamente soportan el conjunto de la oruga, la estructura es menos complicada en comparación con los rodillos inferiores. Sin embargo, la acumulación de arena y tierra alrededor de los rodillos superiores también provocará la erosión.



Fuente. Komatsu América.

Figura 1-45. Rodillo superior en corte y detalle de la zona de desgaste

1.6.3.7. Rueda tensora

La rueda tensora, como su nombre lo dice la función de una tensora es tensar la cadena a un nivel óptimo para prevenir el descarrilamiento de la misma y evitar un daño en los rodillos inferiores y superiores. Las ruedas tensoras son fabricadas mediante fundición y mecanizado y tratadas térmicamente para la tenacidad de su núcleo y dureza superficial resistente al desgaste.



Fuente: Komatsu américa.

Figura 1-46. Rueda guía

1.6.3.8. Mandos finales

Los mandos finales de doble reducción con engranajes rectos y planetarios ajustados para aumentar la fuerza de tracción y reducir el esfuerzo sobre los dientes de los engranajes, lo cual aumenta la vida útil de las reducciones finales. En ellos se encuentran los segmentos de la rueda dentada, cada diente se encarga de transmitir el movimiento a la cadena apoyándose en los pasadores de cada eslabón adaptándose a la forma de los contornos de ambas piezas. Esta rueda dentada se gasta más rápidamente que el pasador, debe ser reemplazada y desechada regularmente, el sistema de segmentos unidos por pernos y tuercas facilitan su reemplazo.



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada en taller Andina y especificaciones de www.komatsuarriendo.com.

Figura 1-47. Mando final y segmentos

Con el monitoreo, control y análisis meticuloso se pueden realizar el seguimiento periódico del desgaste del tren de rodaje, se puede coordinar una estrategia de mantenimiento que minimiza el tiempo muerto, reduce el desgaste acelerado, extiende la vida de los componentes, y facilita la programación del mantenimiento.

CAPÍTULO 2: APLICANDO EL PROCESO RCM

2. APLICANDO EL PROCESO RCM

Para aplicar el proceso RCM, primero se debe conformar el grupo multidisciplinario que participara en los análisis, determinar qué activo tiene el mérito del análisis y realizar sobre una base formal una serie de pasos, en busca de la implementación de prácticas de mantenimiento con la mayor precisión posible, a partir de las decisiones y acuerdos que surjan del resultado.

Para la ejecución de RCM en Faena Andina, fue necesario gestionar recursos humanos y materiales para garantizar el cumplimiento de cada objetivo planteado.

El Grupo Natural de Trabajo debía contar con personal estratégico de operación, mantenimiento y administración del equipo. Por su parte para que las reuniones fueran efectivas fue requerido contar con espacio adecuado, donde se pudiera proyectar las presentaciones de los indicadores, más adelante se detalla el recurso humano requerido para implementar un plan de RCM.

2.1. CONFORMACIÓN DEL GRUPO DE ANÁLISIS

Como se nombró en el capítulo anterior la conformación del grupo de análisis es vital para orientar de buena forma el proceso RCM. El objetivo de un grupo de análisis es armar un equipo de personas que puedan proveer toda la información acerca del equipo o sistema en cuestión, se debió preparar a un grupo indicando los alcances del método y conseguir el apoyo necesario.

Para el análisis RCM de la flota de Tractores sobre oruga D375-5 el grupo se conformó de la siguiente manera:

- Facilitador: Patricio Palma R (Estudiante).
- Supervisor de Mantenimiento: Luis Rozas H.
- Mecánico Komatsu: Carlos Valdivia D.
- Técnico Especialista Komatsu: Glauco Juacida C.

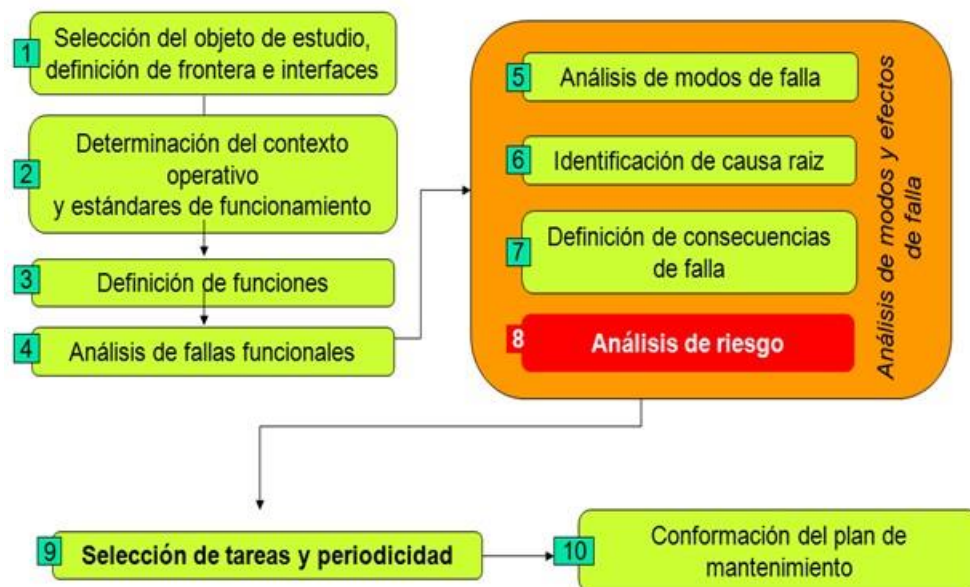
La función primaria de un facilitador de RCM es aplicar la filosofía RCM, con una misión integradora, haciendo preguntas moderando las intervenciones del grupo de personas que fueron seleccionadas por su conocimiento del activo o del proceso específico, asegurando que el grupo llegue a un consenso de respuestas.

La función del supervisor de mantenimiento es tener una visión global de la empresa, con conocimiento del negocio y del equipo a analizar. La función del mecánico dentro del grupo de análisis es aportar todo el conocimiento técnico y experiencia del equipo a analizar.

La Función del técnico especialista es validar la información aportada desde la mirada de los protocolos de mantenimientos y documentación técnica dados por el fabricante del equipo.

Las informaciones y decisiones de cada caso se irán registrando en los formatos que indica el RCM.

Para facilitar la conducción de la metodología se resume en los que se muestran a continuación.



Fuente: Memorias Curso Mantenimiento Centrado en Confiabilidad - RCM. Daniel Ortiz Plata.

Figura 2-1. Pasos del RCM

A medida que se avanza en cada uno de estos pasos se logra contestar las 7 preguntas claves, que el proceso define.

2.1.1. Hoja de información

La hoja de información es parte de la estructura que propone Moubray en su libro RCM II y es uno de los formatos entregables que se ocupará para el registro de los sistemas

que más afectan a la confiabilidad del equipo D375-5, definiendo sus funciones y el análisis de modos de fallas y sus efectos (AMFE).

Consiste en tomar en consideración las ocurrencias de fallas, definir los modos o el por qué ocurren y de manera sistemática evaluar a las causas y los efectos que estas producen, priorizando sobre cuales se va actuar, evitando que vuelvan a ocurrir o mitigar sus efectos.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM	SISTEMA/ACTIVO	SISTEMA Nº	FACILITADOR	Fecha	Hoja
	SUB-SISTEMA/COMPONENTE	SUB-SISTEMA Nº	Auditor	Fecha	De
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la Falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)	
1		A	1		

Fuente. Elaboración propia en base al libro de John Moubray RCM II.

Figura 2-2. Ejemplo de hoja de información

2.1.1.2. Índice de severidad

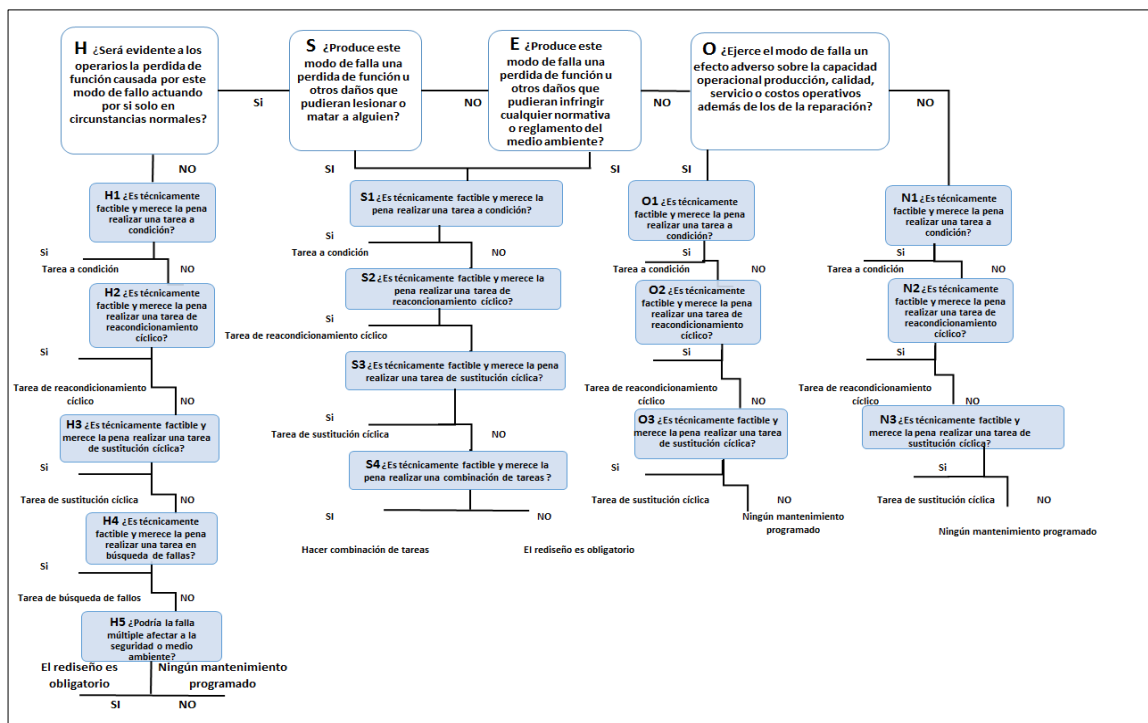
La norma SAE J1739 sugiere una tabla de criterios según su severidad para la evaluación de confiabilidad y riesgo, de manera de obtener resultados cuantitativos y métodos de mitigación en las etapas de diseño, montaje, operación y mantenimiento. Esta metodología desarrolla una metodología estándar para contextos operativos similares, con énfasis en la rapidez y facilidad de aplicación, orientando el uso del tiempo al análisis. La metodología se basa en tomar definiciones y criterios preestablecidos, con el objetivo de:

- Contar con un proceso sistemático y secuencial que brinde resultados cuantitativos de confiabilidad y riesgo.
- Justificar y ponderar técnica y económicamente diferentes alternativas de tecnologías de mantenimiento y operación.
- Ponderar el factor humano.

La misma metodología se puede aplicar para registrar ordenadamente el conocimiento adquirido en las operaciones, relativo a las causas probables y probadas de fallas imprevistas. Al orientar la metodología para obtener resultados cuantitativos en riesgo y costo, la aplicación en etapas de diseño y montaje optimiza el análisis económico si se introduce el concepto de ciclo de vida

2.1.3. Diagrama de decisión

El diagrama de decisión integra todos los procesos en una estructura estratégica única, y esquematizada, aplicable a cada uno de los modos de fallas de la hoja de información, busca guiar el esquema de trabajo evitando desviaciones, los puntos de vista o los paradigmas de cada uno de los integrantes del grupo de análisis se revelan en esta etapa con cada una de las preguntas y la facilidad o dinámica de avance, va a estar dada por la concordancia en los criterios, dirigidos por el facilitador apuntando a las mejores soluciones.



Fuente: <http://www.mailxmail.com/curso-confiabilidad-operacional>

Figura 2-3. Diagrama de decisión

2.1.4. Hoja de decisión

La hoja de Decisión de RCM, integra todos los procesos de decisión en un marco de trabajo estratégico y estructurado que contiene las tareas propuestas los intervalos y responsables de la ejecución:

La hoja de decisión es el producto final del proceso aplicable y auditable a cada uno de los modos de fallas, aquí se completa las últimas tres preguntas de la siete que

indica la filosofía y debe ser completada en una estructura estratégica única del diagrama de decisión RCM II, ver figura 2-3.

Una vez realizado el análisis de modos de fallos y efectos (FMEA) y llenado de la hoja de información, se procede a la evaluación de consecuencias de cada modo de fallo. Para ello se puede emplear el diagrama de decisión que reflejará adecuadamente la respuesta a la pregunta 5 del proceso RCM ¿Qué importancia tiene cada fallo? En síntesis, el diagrama de decisión presenta las siguientes características:

Se trata de una representación gráfica que considera los fallos clasificados en ocultos (**H**) y evidentes, (**E**), que indica convenientemente el tipo de tarea, o tareas, a desarrollar en función de las consecuencias del fallo que se analiza.

Establece cuatro tipos de consecuencias y según el orden de importancia son:

Para la seguridad (**S**), para el medio ambiente (**E**), operacionales (**O**) y no operacionales (**N**).

Según el tipo de consecuencia predominante para un modo de fallo analizado, ya sea oculto o evidente, se intentará dar respuesta a una serie de interrogantes codificadas con la letra que identifica el tipo de consecuencia (o fallo para el caso de fallos ocultos), más un número de orden consecutivo. Por ejemplo:

S3 es la interrogante 3 cuando se trata de un fallo con consecuencias predominantes para la seguridad.

El diagrama de decisión por sí mismo NO PERMITE DECIDIR la posibilidad de proponer una tarea, dado que no aporta los criterios para la evaluación y selección de una posible tarea para atender un modo de falla:

- Que mantenimiento de rutina será realizado, con qué frecuencia será realizado y quién lo hará.
- Que fallas son lo suficientemente serias como para justificar el rediseño.
- Los casos en que se toma una decisión de dejar que ocurran las fallas.

HOJA DE DECISIÓN RCM	SISTEMA/ACTIVO:				SISTEMA Nº	FACILITADOR:	Fecha:	Hoja Nº	
	SUB-SISTEMA/COMPONENTE:				SUB-SISTEMA Nº	Auditor:	Fecha:	De	
Referencia de Información	Evaluación de las consecuencias			H1 H2 H3 S1 S2 S3 O1 O2 O3	Tareas "a falta de"	Tareas Propuestas		Frecuencia inicial	A realizar por
F FF MF H S E O	N1	N2	N3	H4 H5 S4					

Fuente: Elaboración propia en base al libro de John Moubray RCM II.

Figura 2-4. Ejemplo de hoja de decisión a completar

2.2. PROCESO DE SELECCIÓN DEL ACTIVO PARA EL ANÁLISIS

Antes de poner en práctica la metodología se describirá la forma de cómo se seleccionó el activo o sistema a investigar mediante la metodología RCM.

Para la selección del activo o equipo, se realizó teniendo acceso al historial de fallas registrado en el software de mantenimiento R+M Care.

Mediante la herramienta de análisis Jack nife, se tomó el recuento de fallas imprevistas y los tiempos que fueron requeridos para reparar para determinar que equipo de la flota de apoyo había presentado más problemas y en donde existía oportunidad de mejora.

Los diagramas Jack knife resuelven varias de las limitantes de un análisis de Pareto clásico para la priorización de análisis de modos de falla. Los resultados respetan los resultados obtenidos con Pareto, pero además entregan información muy interesante respecto de la frecuencia de las fallas y la duración de su reparación. Los gráficos permiten la identificación de problemas de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad.



Fuente: Pagina web <http://kaizen-group.com.ar/>

Figura 2-5 Interpretación del grafico Jack Knife

Las fallas crónicas, son aquellas que se repitan en el tiempo, estas deben ser posibles de rescatar del software informático de apoyo como RMCare, para ello se debe gestionar los datos necesarios que deben ser alimentados constantemente para posterior a esto realizar los análisis.

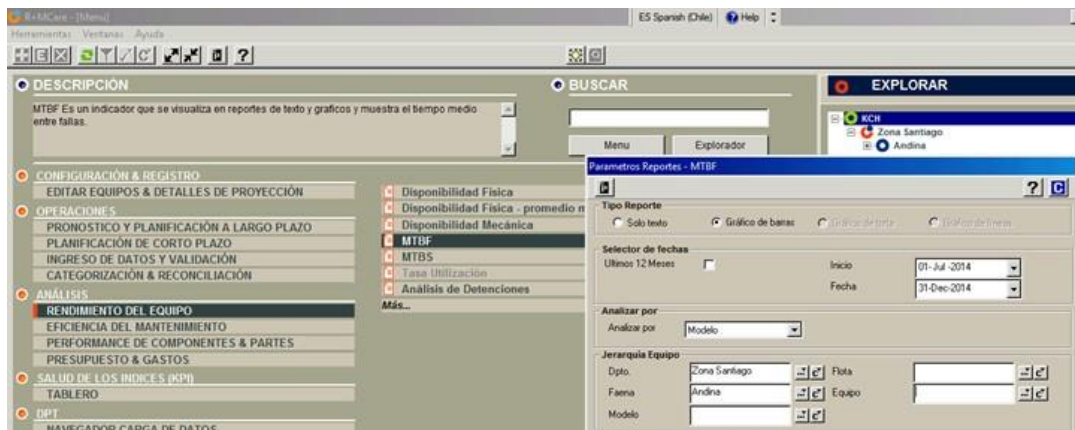
Las fallas consideradas agudas tienen relación al mucho tiempo que se empleó para ser reparadas y eso habla de la mantenibilidad del equipo directamente al MTTR.

2.2.1. Análisis estadístico de flotas segundo semestre 2014

Para seleccionar que activo es el que necesita la aplicación del RCM o la flota de equipos en donde las estrategias de mantenimiento no estaban teniendo resultados, se requirió de la información registrada en el programa R+M Care, aquí se recoge la estadística de rendimiento de todos los modelos de equipos para el periodo a analizar, segundo semestre del 2014, detallado en los sub capítulos siguientes.

Como el trabajo está orientado a la confiabilidad y para poder realizar una clasificación se considera el número de fallas que suma cada modelo ya que es uno de los factores que el KPI del tiempo medio entre fallas o (MTBF), el que indica con qué frecuencia falla un equipo.

De esta forma la atención se orientará hacia los sistemas de motor diésel y chasis-rodado, para ellos se continuara con el análisis RCM



Fuente: impresión de pantalla software.

Figura 2-6. Imagen del menú del software RM+Care

Tabla 2-1. Resumen estadístico por modelo 2do semestre 2014

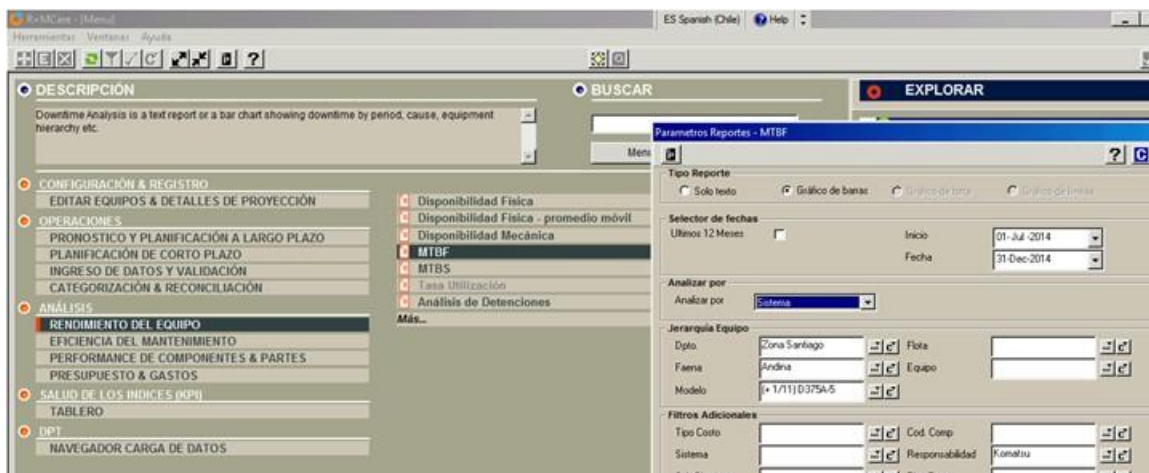
Descripción	Horas	Detenciones	MTRR
HD785-7	1.787,5	47	38,0
WD600-3	1.815,4	49	37,0
WD900-3A	798,6	49	16,3
D375A-5	4.446,9	177	25,0
GD825A-2	3.235,4	209	15,5
WA500-6	691,2	45	15,4
D475A-5E0	1.364,4	108	12,6
Promedio	2.019,9	98	22,8
Total	14.139,4	790	17,9

Fuente: Elaboración propia en base a descarga de datos R+M Care Komatsu.

2.2.2. Análisis de sistemas

Una vez que se obtuvo el modelo de equipo, ya que para este modelo se encuentra con un bajo MTBF considerado esto malo para la gestión del mantenimiento, se realiza un nuevo análisis considerando esta vez los sistemas que lo componen, a partir de la herramienta Pareto se ordenaran por número de detenciones para realizar la gráfica y separar los pocos vitales y los muchos triviales.

En el Software de mantenimiento la clasificación por sistemas y sub sistemas está hecha, lo que facilita en buena forma el análisis en profundidad.



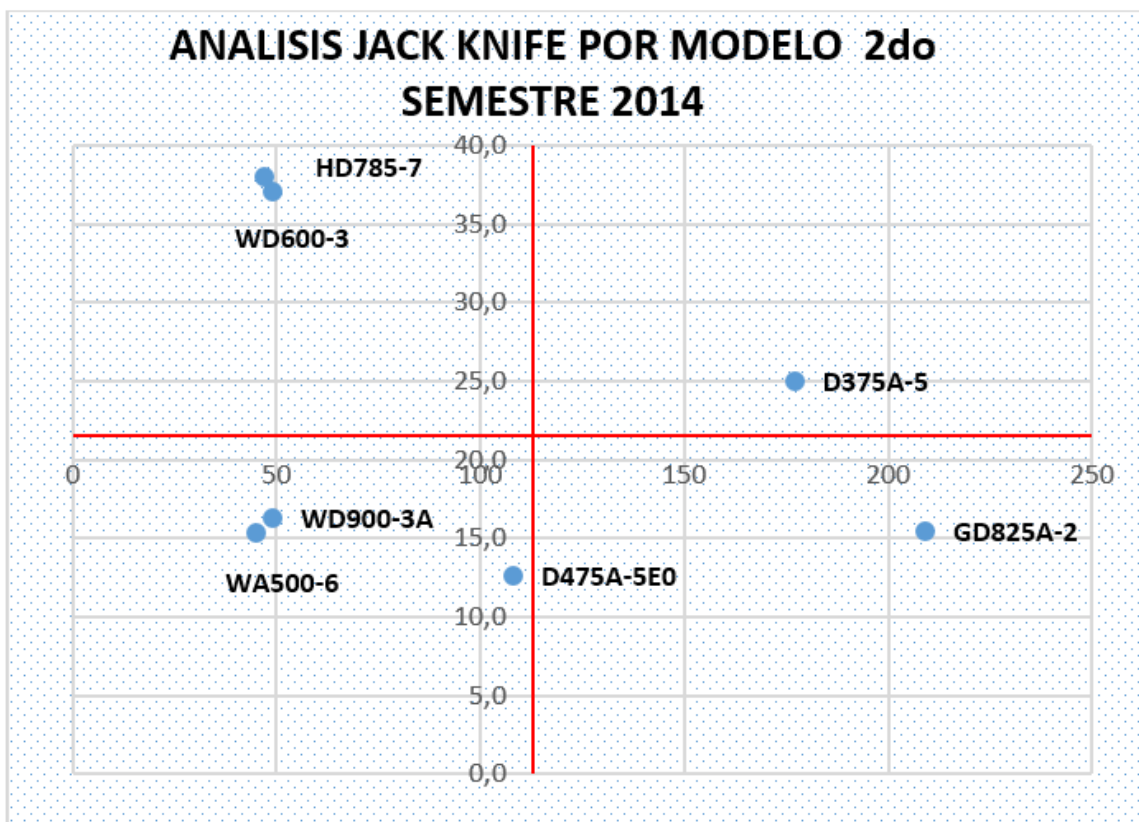
Fuente. Menú de R+M Care.

Figura 2-7. Obtención de MTBF clasificación por sistemas

Tabla 2-2. Resumen de resultados obtenidos en análisis segundo semestre 2014

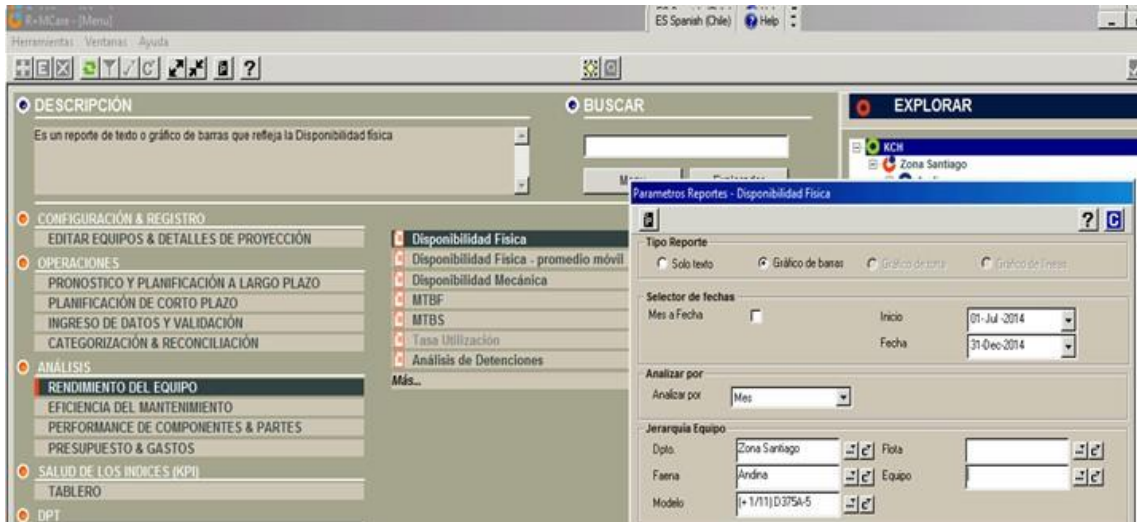
Descripción	Horas	Detenciones	MTRR
Inspecciones	1,6	1	1,6
Estructuras/UC/Ruedas/Equipo de Trabajo	1.030,0	50	20,6
Motor	1.863,8	100	18,6
Tren de Potencia/Alto Voltaje	206,1	25	8,2
Hidraulicos/Cilindros	108,9	27	4,0
Reparaciones Generales/Electricos	333,5	88	3,8
General Repairs	13,6	7	1,9
Promedio	508,2	43	8,4
Total	4.862,6	342	14,2

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos en RM+Care.



Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos del R+M Care.

Grafico 2-1. Análisis Jack Knife segundo semestre 2014

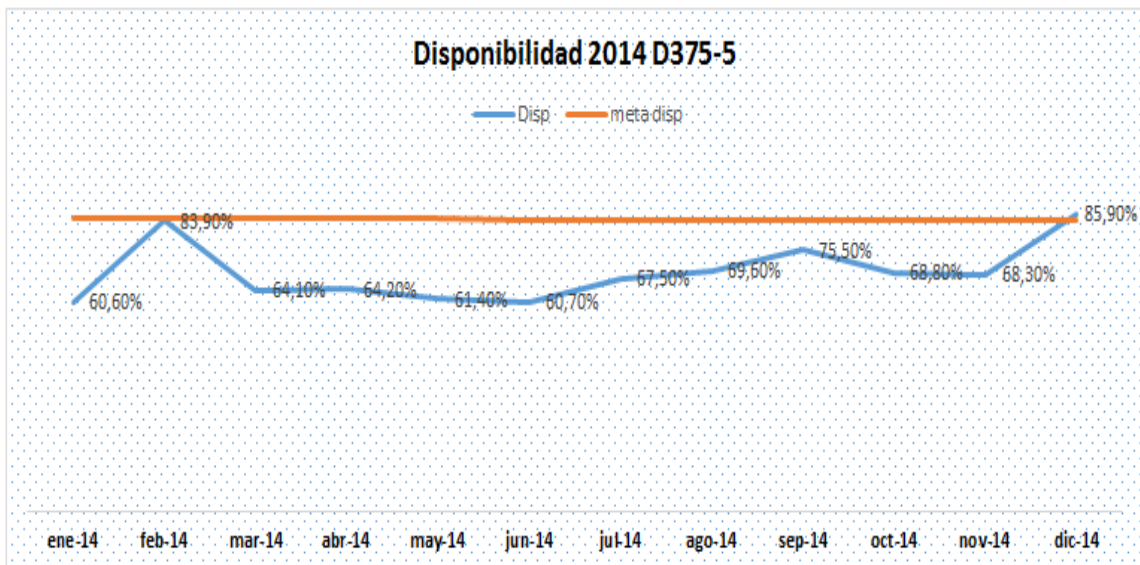


Fuente menú de R+M Care.

Figura 2-8. Obtención de disponibilidad por sistemas

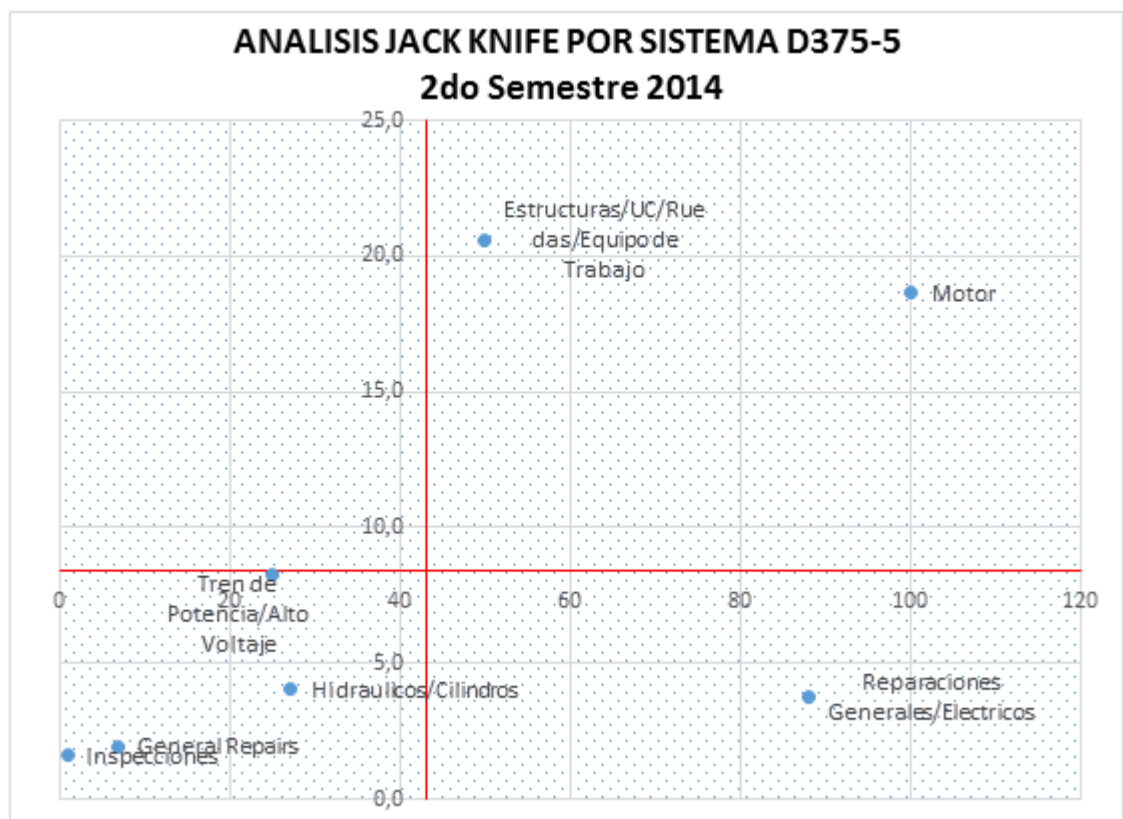
Para tener una buena muestra, se consideró un periodo de 6 meses y todos los modelos de equipos de apoyo que operan en la faena.

Una vez teniendo elegido el equipo se separó por los sistemas que lo componen, opción presente en el software RM+Care.



Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos en R+M Care.

Grafico 2-2. Disponibilidad D375-5, mensual 2014



Fuente. Elaboración propia en base a datos obtenidos en R+M Care.

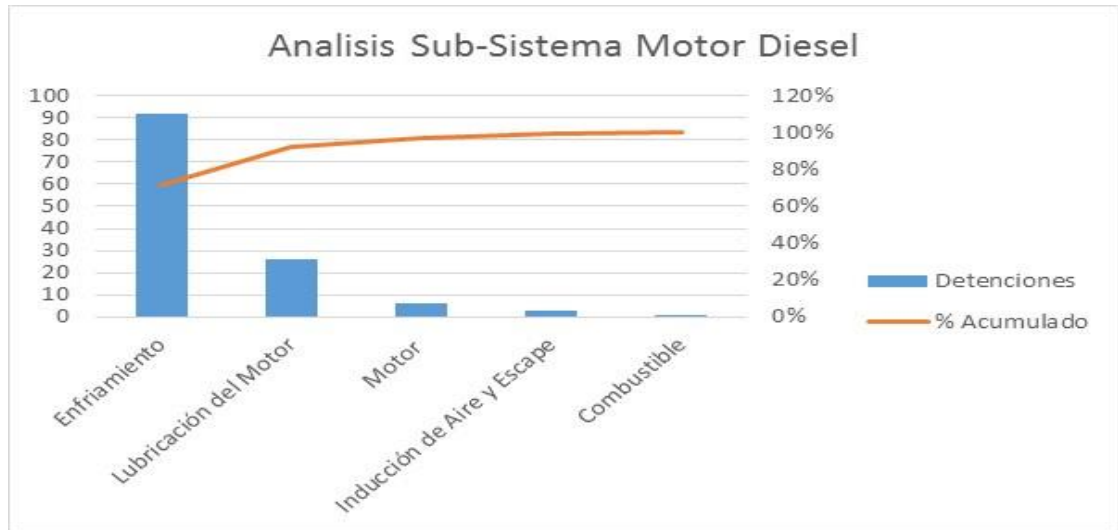
Grafico 2-3. Jack Knife de sistemas D375-5 2do semestre 2014

2.2.3. Análisis de subsistemas

Tabla 2-3. Resumen de resultados obtenidos en análisis de sub sistemas del segundo semestre 2014

Análisis Sub-Sistemas Motor diesel					
Descripción	Uso	Detenciones	%	% Acumulado	MTBF
Enfriamiento	9.876,0	92	72%	72%	107,3
Lubricación del Motor	9.876,0	26	20%	92%	379,8
Motor	9.876,0	6	5%	97%	1.646,0
Inducción de Aire y Escape	9.876,0	3	2%	99%	3.292,0
Combustible	9.876,0	1	1%	100%	9.876,0
	9.876,0	128	100%		77,2

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos en RM+Care.



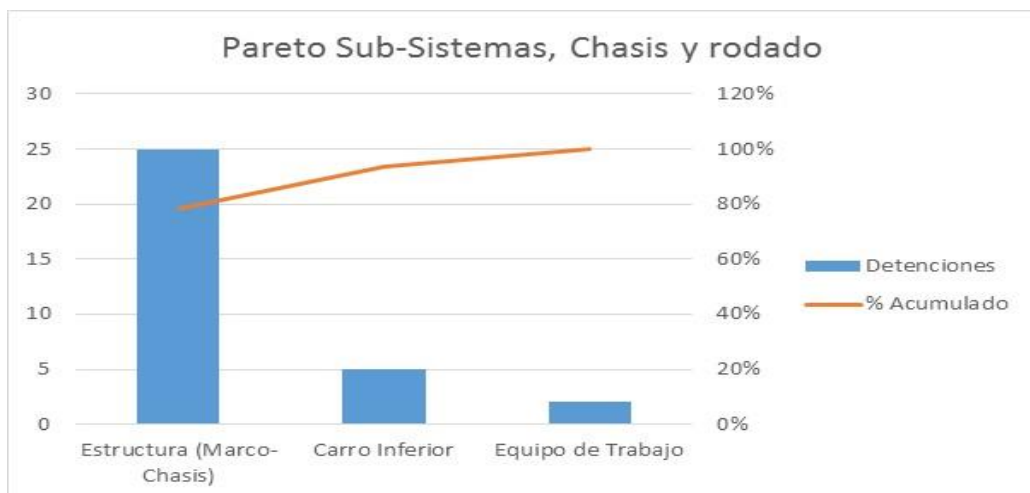
Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos en R+M Care.

Grafico 2-4. Pareto de Sub-sistemas de motor diésel 2do semestre 2014

Tabla 2-4. Resumen de resultados obtenidos en análisis de sub sistemas del segundo semestre 2014

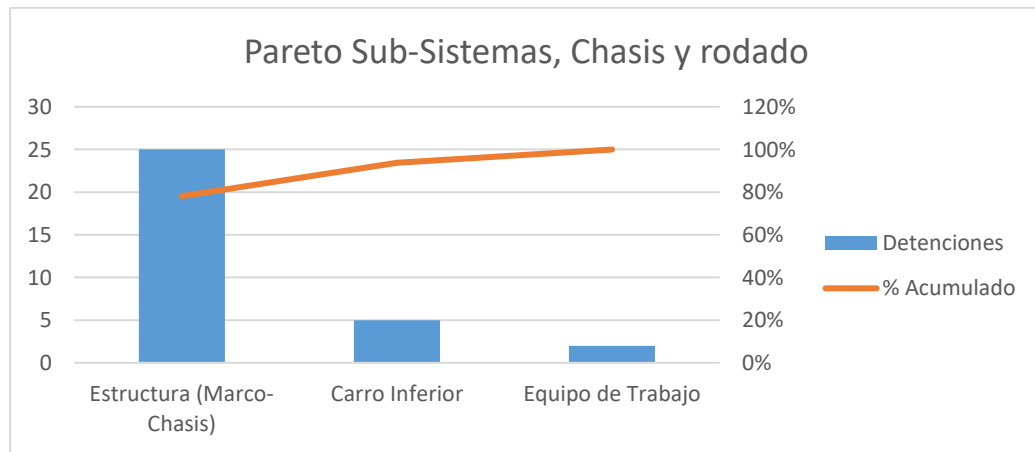
Análisis Sub-Sistemas Chasis, rodado					
Descripción	Uso	Detenciones	%	% Acumulado	MTBF
Estructura (Marco-Chasis)	9.876,0	25	78%	78%	395,0
Carro Inferior	9.876,0	5	16%	94%	1.975,2
Equipo de Trabajo	9.876,0	2	6%	100%	4.938,0
	9.876,0	32	100%		308,6

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos en RM+Care.



Fuente propia en base a datos obtenidos en R+M Care.

Grafico 2-5. Pareto de Sub-sistemas rodado D375-5 2do semestre 2014



Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos en R+M Care.

Grafico 2-6. Pareto de Sub-sistemas D375-5 2do semestre 2014

2.3. ANÁLISIS DE EL CONTEXTO OPERACIONAL

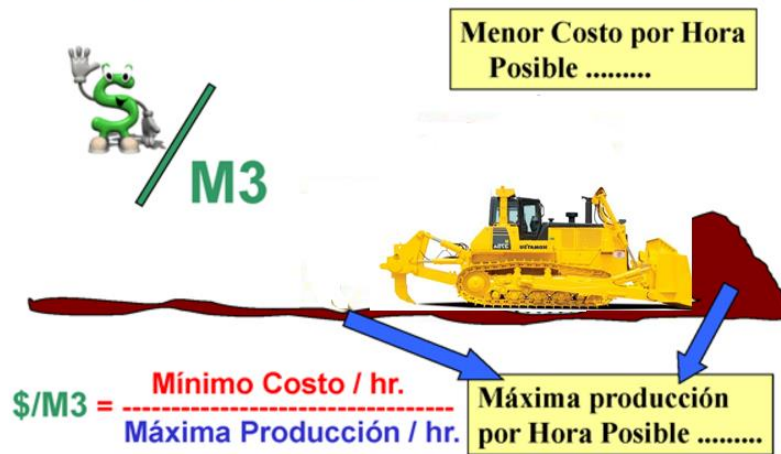
El contexto operacional es el entorno donde funciona el activo, equipos iguales pueden tener distintas estrategias de mantenimiento si su contexto operacional es diferente. El contexto operacional es un proceso utilizado para determinar los requerimientos del mantenimiento, las estrategias de mantenimiento deberían ser distintas en el caso de que equipos (iguales en diseño) estén instalados en ambientes diferentes, en esta etapa se formulan que tipo de estrategias se deben utilizar para que el activo cumpla con sus funciones por las cuales fue adquirido, los que adquieren la maquina buscan sacar su máximo rendimiento, pero se ven enfrentados a inconvenientes inherentes al medio en que operan.

Por lo tanto es preciso realizar una investigación mediante observaciones en terreno y si es posible cuantificar todo lo observado.

Por lo general las condiciones son difíciles de cambiar por lo tanto se debe reorientar el mantenimiento considerando dichos factores para minimizar los efectos que puedan tener en el equipo, los equipos sufren daños no previstos y desgaste acelerado de piezas.

A partir de esto se podrá responder la pregunta del libro de Moubroy, “¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociado al activo en su actual contexto operacional?”.

Concepto -Rendimiento Óptimo



Fuente: modificada de <http://www.monografias.com/trabajos104/movimiento-suelo/movimiento-suelo>

Figura 2-9. Concepto de rendimiento

En Faena andina operan 5 tractores oruga de este modelo, operando a aproximadamente a 4000 MSNM, y en condiciones extremas, temperaturas que pueden oscilar entre los -20°C a 38°C , las condiciones climáticas cambian abruptamente según las estaciones del año, desde marzo a Octubre condiciones de nieve y barro, de noviembre a Febrero polución por polvo en suspensión.

La geometría de la mina, pendientes distancias suelo, tipo de roca son relevantes para considerarlos en el contexto operacional ya que es un factor importante a considerar al momento de analizar una falla funcional.

2.3.1. Distancias de traslado muy extensas

Debido al diseño de la mina se puede constatar que los traslados pueden variar de uno a varios kilómetros si no se cuenta con algún equipo que los transporte dentro de la mina.

Las distancias de traslado son de considerar ya que el equipo no está diseñado para tal efecto, se deben trasladar en lo posible en cama baja. Las distancias extensas producen un desgaste acelerado de los elementos del rodado.

El funcionamiento a alta velocidad acelera el desgaste de todos los componentes del tren de rodaje. El desgaste de la oruga, elementos del rodado y las protecciones que por diseño están siempre en contacto con la roca abrasiva son directamente proporcional a la velocidad, hora de uso y el tipo de suelo y se deben tener en cuenta para las proyecciones de cambio.

Esto se evidencia gracias a un sistema de monitoreo que guarda códigos de falla cuando el equipo opera en tercera marcha por un tiempo prolongado.



Fuente. Informe de monitoreo centralizado Komatsu.

Gráfico 2-7. Tendencia de las distancias recorridas por los equipos estando en F3

2.3.2. Condiciones de clima y de la superficie en que opera

Otra condición observada del terreno que forma parte del contexto operacional es el tipo de material que debe mover la máquina, que cambia continuamente según las temperaturas ambiente durante el día y según las estaciones del año.

En verano el suelo es seco en muchas zonas, polución de polvo en suspensión alta, lo demuestra el consumo de filtros de aire que no alcanzar a durar 250 horas sin saturarse de polvo. Fundamental resulta que los equipos de servicios mina actúen conforme a las necesidades de la operación, por ejemplo un camino bien mantenido sin mucho polvo en suspensión permitirá desarrollar mejores maniobras a los equipos de carguío y transporte, por lo tanto mejorará su rendimiento, además de disminuir el desgaste de neumáticos de los camiones (baja el costo), la adecuada preparación de la zona de carguío permitirá una maniobrabilidad óptima de los equipos y garantizará la buena operación mecánica de ellos (menor probabilidad de daños en los equipos).

La condición invernal es la más prolongada se manifiesta con nevadas intensas y bajas temperaturas, en condición de tormenta, los equipos les es imposible transitar por la mina por lo tanto quedan detenidos y en muchos casos cubiertos de nieve y sus sistemas de combustible congelados.

Con el derretimiento de la nieve en el cambio de estación, en la zona podemos ver que el suelo cambia de barro acuoso a barro solidificado según la temperatura ambiente, marcada entre el día y la noche, esto trae todo tipo de consecuencias.



Fuente. Elaboración propia en base a fotografía tomada en terreno.

Figura 2-10. Equipo con problemas de arranque por bajas temperaturas

El material es del tipo abrasivo en las frentes de carguío y botaderos, hielo, barro, nieve, actuando en forma combinada aceleran el desgaste del equipo especialmente del rodado, por lo tanto se debe analizar con más detalle qué tipo de consecuencias y considerarlo para la estrategia del mantenimiento. La mantención de caminos, canaletas, cunetas, etc., son parte de la operación diaria de estos equipos, la estabilidad de botaderos, caminos y otros sectores de la mina son fundamentales para garantizar una operación segura del personal y equipos.

Si la penetración de la aspereza o partícula abrasiva sobre pasa cierto valor crítico; si la dureza de las partículas abrasivas es superior a la del material y si se sobrepasa el límite de rotura del material se produce el micro corte de las capas superficiales; generando partículas de desgaste.

2.3.3. Operación e instrucción de los operadores

Se debe declarar que en algunos casos los operadores a pesar de haber tenido una instrucción en la operación de los equipos, descuidan algunas funciones y llevan al equipo a sobrepasar sus estándares o límites de operación y este al no ser capaz lo consideran como falla, por ejemplo encontrar que el equipo tiene baja potencia al tratar de mover una carga sobredimensionada.

Este constituye un tema muy delicado, por lo cual se debe tratar con los instructores de la operación en reuniones planificadas para evidenciar estas malas prácticas y tomar acuerdos que busquen proteger a los equipos.

Se les debe mantener informado sobre las malas prácticas operacionales, con evidencia contundente y formal. Esta evidencia es obtenida a partir de las descargas de datos que guardan los controladores a bordo del equipo.

La ergonomía es también un tema importante y también es considerado en estas reuniones.

2.3.4. Altura geográfica

A grandes alturas, se reduce la densidad del aire, comparado a nivel del mar el peso del aire en un mismo volumen es menor. Es por eso que una máquina que cuente con un motor a combustión interna y es utilizada a grandes alturas encontrará falta de aire dando por resultado una reducción de potencia, aumento de humo negro en el escape y aumento de temperatura en la combustión.

La altura sobre el nivel del mar afecta la potencia útil de los motores arriba de los 1,500 mts, del orden del 1% por cada 100 mts de altura, así una máquina trabajando a 3,000 mts tendría una pérdida del 15%,

El ajuste de combustible es necesario a grandes alturas difiere según el modelo de cada motor y hasta con el mismo modelo. En términos generales, el ajuste de combustible es necesario para alturas superiores a los 1000 M.S.N.M.

Las condiciones reales de trabajo del equipo están en las cotas de 3500 a 4200 M.S.N.M, por lo tanto estos ajustes fueron realizados en todos los equipos, en las cotas superiores se debe tener en cuenta que a pesar de haber realizado tales ajustes de combustible en el motor diésel y considerando que es un motor turbo alimentado, el aporte calórico de la combustión por exceso de combustible, exige que el sistema de refrigeración opere a su máximo rendimiento, transformando a este sistema como crítico.

2.3.5. Normativa SERNAGEOMIN y riesgos a la seguridad

Se consideró la normativa de seguridad un factor o parte del contexto operacional porque la normativa de seguridad sobre el mantenimiento de caminos, los pisos de perforación y los estándares de los botaderos, hace de vital importancia que este tipo de equipo mantenga una disponibilidad alta y a la vez sea considerado crítico para estas operaciones mineras y la confiabilidad operacional necesaria exige mayores esfuerzos para satisfacer dichos requerimientos.

El objetivo del proceso es mantener la faena en condiciones operativas, garantizando que las operaciones de carguío y transportes se realicen con el mejor rendimiento y el mínimo riesgo.



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada en terreno

Figura 2-11. Incidente en zona de descarga en botadero

2.3.6. Tronaduras mal realizadas

Otro factor que influye en el estado del equipo es el buen resultado de la tronadura y esto tiene mucho que ver con las características de la roca que componen la mina, la granulometría menor hace más fácil la operación de carguío.y el trabajo de los equipos de apoyo son mínimos.

El rendimiento de los equipos de carguío y de empuje mejorará según la granulometría del material a cargar, lo cual significará menores actividades de preparación de la zona de carguío y retiro de rocas de gran tamaño, con ello menor interrupciones del proceso de carguío y transporte.



Fuente. Descarga de internet <https://luipermom.wordpress.com>.

Figura 2-12. Equipo empujando roca

2.3.7. Geología de la mina

La geología de la mina influirá en lo que es selección del material en el carguío y empuje, la dureza y lo abrasivo del material influirá en los costos por el desgaste de los aceros de los equipos. La densidad del material también hará variar los costos y la capacidad de los equipos.

Este factor es uno de los más relevantes en el contexto operacional, los costos asociados son muy altos y exige mucho tiempo de mantenimiento.

Las estrategias de mantenimiento tienen que ir dirigidas al reemplazo de piezas de sacrificio en forma oportuna, para garantizar la disponibilidad de estos equipos, que están en contacto permanente con el suelo abrasivo.

Es importante tener el conocimiento de las características físicas y las condiciones ambientales presentes en la interacción de las superficies que están en contacto, conociéndose el cuerpo y contra cuerpo, elemento intermedio, ambiente.

El desgaste abrasivo como definición es el desplazamiento de material causado por la presencia de partículas duras (o protuberancias), entre o incorporadas, en una o ambas superficies en movimiento.



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada en terreno.

Figura 2-13. Muestra de desgaste por la acción abrasiva de la roca

2.4. FALLAS FUNCIONALES

Los objetivos de mantenimiento se definen por las funciones y las expectativa de funcionamiento asociadas del activo.

El único suceso que es probable que evite que un activo tenga una performance de acuerdo con el estándar que requieren sus usuarios es alguna forma de falla. Sin embargo, antes de que podamos aplicar una mezcla apropiada de herramientas de administración de fallas, necesitamos identificar qué fallas pueden ocurrir.

El proceso RCM hace esto en dos niveles, en primer lugar, identificando qué circunstancias se acumulan para conducir a un estado de falla para luego preguntando qué sucesos pueden causar que el activo entre en un estado de falla.

En el mundo del RCM, los estados de falla se conocen como fallas funcionales porque ocurren cuando un activo no es capaz de cumplir con la función de acuerdo con un estándar de funcionamiento que sea aceptable para el usuario. Además de la incapacidad total de funcionar, esta definición abarca fallas parciales cuando un activo todavía funciona pero en un nivel de performance inaceptable (incluyendo aquellas situaciones en las que el activo no puede sostener niveles aceptables de calidad o precisión).

La identificación de fallas funcionales se realiza a partir de la información digitalizada histórica rescatada del R+M Care, en la sección ingreso de datos y validación status de equipo, filtrando el periodo a analizar, aquí se encuentra el detalle de la intervención o dicho de otra forma “lo que el técnico detallo en su hoja de reparación” y entrevistas realizadas al personal de mantenimiento involucrado o con más experiencia.

Las fallas funcionales constituyen la detención del equipo y el tiempo asociado corresponden a los datos para el cálculo de indicadores y categoriza la consecuencia por frecuencia e impacto operacional que tuvieron.

Para el sistema Motor diésel el modo de falla contestando la pregunta del RCM “¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?”, en el histórico, indicó que el aumento de temperatura del sub sistema de refrigeración asociadas al sub-sistema “radiador”, es la principal causa de falla de este sistema y detención del equipo.

2.4.1. Alarmas y códigos de falla

Las alarmas constituyen un aviso para el operador de que algún parámetro se salió de los valores permitidos para la operación. Él se encuentra entrenado para que al momento de presentar una alarma detenga la máquina y solicite atención de inmediata, usualmente esto sucede de esta forma.

Dentro de las alarmas en el equipo son las que avisan por altas temperaturas, niveles, presiones etc.

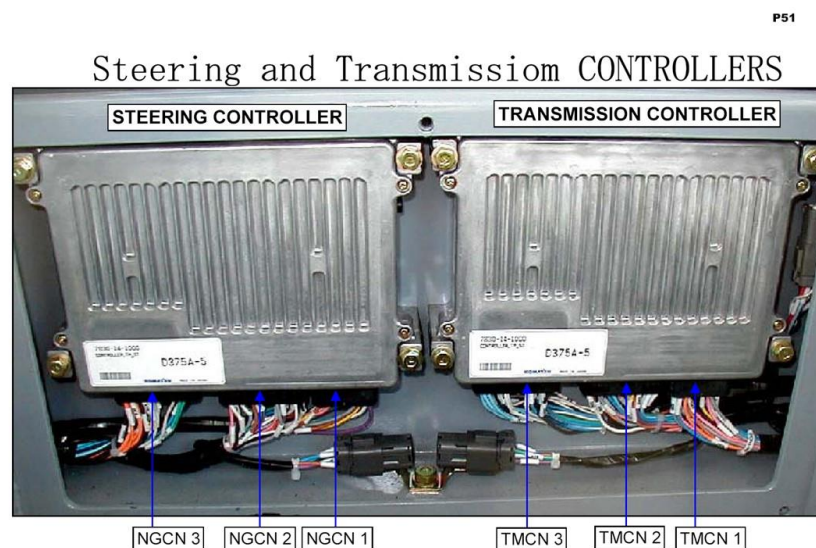
Unos controladores reciben esta información a partir de sensores instalados en distintas ubicaciones para censar cada variable, a partir de su algoritmo de control actúa sobre válvulas proporcionales para el control de la máquina y también al recibir señales de los sensores instalados dan paso a la emisión de las alarmas, en forma visual y sonora.



Fuente: Presentación manual de servicio Komatsu America.

Figura 2-14. Panel de alarmas

Además los controladores interpretan las señales y proporciona un código para cada falla lo que facilita el diagnóstico de la máquina.



Fuente: Presentación manual de servicio Komatsu America.

Fecha Caida /	Flota	Eqp	Fecha Caida /	Horas	O'Due	Descripcion	B. Plan	Tarea	Código Componente	Est.
10/8/2014 9:02:42 PM	AND D 375A-5	341 18991	07-Oct-2014 15:16	3.1		sistema de rodado reapete por 3 vez de pemos se...	<input type="checkbox"/>	MN - MN-ReparaciónMenor	5400 - Protección Desgaste	5
10/9/2014 9:06:26 AM	AND D 375A-5	341 18991	08-Oct-2014 21:02	0.6		Sistema de Rodado. se repone pemos de segmento y...	<input type="checkbox"/>	UN - UN-SinAsignar	3200 - Cadena	5
10/9/2014 11:14:35 AM	Fuera de Servicio And	342 18992	09-Oct-2014 09:06	0.7		Sistema de Rodado. reposicion guia de cadena	<input type="checkbox"/>	UN - UN-SinAsignar	4@CE - Enlace de Orugas	5
10/9/2014 8:00:38 PM	AND D 375A-5	341 18991	09-Oct-2014 11:14	2.4		Sistema de Rodado. Reposicion pemos zapata maestra	<input type="checkbox"/>	UN - UN-SinAsignar	4@CE - Enlace de Orugas	5
10/9/2014 11:33:50 PM	AND D 375A-5	341 18991	09-Oct-2014 20:00	2.3		Sistema de rodado, reapete y reposicion pemos de s...	<input type="checkbox"/>	UN - UN-SinAsignar	4@CE - Enlace de Orugas	5
10/10/2014 9:40:33 AM	AND D 375A-5	344 18994	09-Oct-2014 23:33	0.1		Sistema de rodado, reapete pemos de segmento	<input type="checkbox"/>	UN - UN-SinAsignar	4@CE - Enlace de Orugas	5
10/22/2014 1:30:59 AM	AND D 375A-5	341 18991	22-Oct-2014 01:30	9.5		Sistema de Rodado. falla tensado de orugas	<input type="checkbox"/>	MN - MN-ReparaciónMenor	4@CE - Enlace de Orugas	5
10/22/2014 9:36:05 PM	AND D 375A-5	341 18991	22-Oct-2014 21:36	0.6		Sistema de Rodado. se repone perno eslabon maestro	<input type="checkbox"/>	UN - UN-SinAsignar	3200 - Cadena	5
10/22/2014 10:50:19 PM	Fuera de Servicio And	343 18972	22-Oct-2014 22:50	0.3		Sistema Estructural. Cambio punta de ripper	<input type="checkbox"/>	UN - UN-SinAsignar	K@29 - Estructuras	5
10/23/2014 12:03:58 AM	AND D 375A-5	344 18994	23-Oct-2014 00:03	1.8		Sistema de Rodado. se repone perno eslabon maestro	<input type="checkbox"/>	UN - UN-SinAsignar	3200 - Cadena	5
10/23/2014 10:00:32 PM	AND D 375A-5	345 18827	23-Oct-2014 22:00	0.3		Sistema de Rodado. se repone guia de cadena	<input type="checkbox"/>	UN - UN-SinAsignar	3200 - Cadena	5
10/25/2014 12:52:43 AM	Fuera de Servicio And	343 18972	25-Oct-2014 00:52	29.6		Sistema Estructural. brazo de equipo de trabajo rh rot...	<input type="checkbox"/>	UN - UN-SinAsignar	K@29 - Estructuras	5
10/27/2014 7:40:12 PM	AND D 375A-5	341 18991	27-Oct-2014 19:40	11.0		Sistema de Rodado. reposicion de pemos zapata	<input type="checkbox"/>	UN - UN-SinAsignar	3200 - Cadena	5

Fuente: Elaboración propia en base a captura de pantalla de software RM+Care.

Figura 2-17. Descarga de historial de eventos de falla de sistema de rodado

2.4.1.1. Alta temperatura de refrigerante motor diésel

El motor diésel por su sistema de control y monitoreo se protege ante eventos de alta temperatura de refrigerante, alerta al operador con una alarma audible y visible. Estas alarmas quedan registradas en forma de códigos en la memoria interna del controlador de motor.

Al mismo tiempo los equipos de este modelo están equipados con un sistema de monitoreo satelital, que permite rescatar datos directamente del equipo cada 24 horas, visualizados a través de una página web denominada como Komtrax y también con la alternativa de ser rescatados directamente en el equipo. Estos datos pueden ser analizados y usados para la programación del mantenimiento.

Cada evento de alta temperatura da origen a una detención imprevista, el operador informa al personal de mantenimiento de la condición los que deben acudir al punto donde se ubica al equipo.

Normalmente esta detención demora mucho, ya que por seguridad el personal debe esperar que se enfríe el equipo y luego intervenirlo.

Bajo esta condición se debe efectuar un protocolo de revisión para determinar la causa falla, que si no está muy claro concluirá en una detención mayor.

Es muy importante destacar que cada evento de alta temperatura va disminuyendo la vida útil del componente, acelera el desgaste o puede concluir en una falla catastrófica. Las fallas catastróficas conducen al reemplazo, encarecen la reparación o pueden terminar en que el activo sea irrecuperable.

Aparte de los análisis por registro de intervenciones, el recuento de códigos de este tipo de falla, es muy útil para saber si la falla es de carácter crónico y poder evitar que siga ocurriendo.

2.4.1.2. Alta temperatura de transmisión

Otra falla que da origen a una detención imprevista y de alto impacto operacional son las alzas de temperatura del aceite de la transmisión, normalmente esto corresponde a una operación incorrecta cuando el equipo se traslada, también este tipo de falla queda almacenada mediante un código.

Para ser vinculada a un problema de operación incorrecta, se debe relacionar con el recuento de códigos operacionales.

2.4.1.3. Alarmas por bajos niveles de fluido

Las alarmas de bajo nivel de refrigerante son muy comunes y constituyen una detención imprevista, normalmente están acompañadas de un evento de sobre temperatura anterior, mantenimiento deficiente o por alguna filtración de líquido.

Lo importante que si no son anunciadas por el operador, también se puede contar con un registro de eventos almacenados en la memoria.

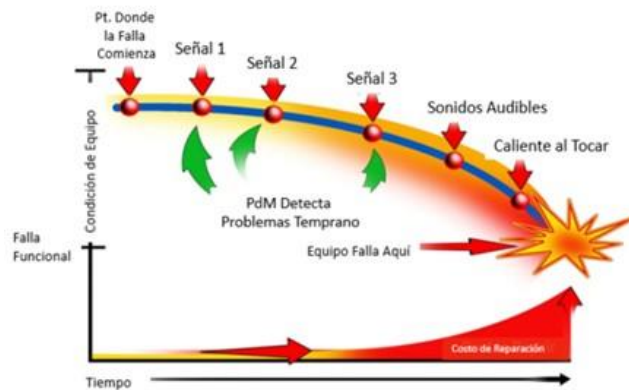
2.5.2. Fallas por condición estructural

Dentro de las fallas funcionales, se pueden ubicar las observaciones del operador del equipo, ya sea fugas de fluidos o niveles del mismo, daños estructurales, desgastes o ruidos.

Estas condiciones constituyen a una detención imprevista, en donde se debe desplegar un equipo de mantenedores a verificar lo observado por el operador del equipo y realizar las reparaciones, rellenos o cambios que correspondan o programarlas.

Todo es anotado en las bitácoras u hojas de reparación que posteriormente alimentaran con información clave al software de gestión del mantenimiento.

Se debe tener siempre en cuenta que las performance del equipo o lo que es capaz de realizar por diseño no deben ser sobrepasadas, normalmente para este equipo, categorizado como un equipo de empuje, es que a veces se pretende que haga trabajos sobredimensionados y a la apreciación del operador pareciera como una baja potencia, por lo tanto las comprobaciones y testeos deben bien realizados por los técnicos que atienden el equipo.



Fuente: Página internet <http://31.media.tumblr.com>

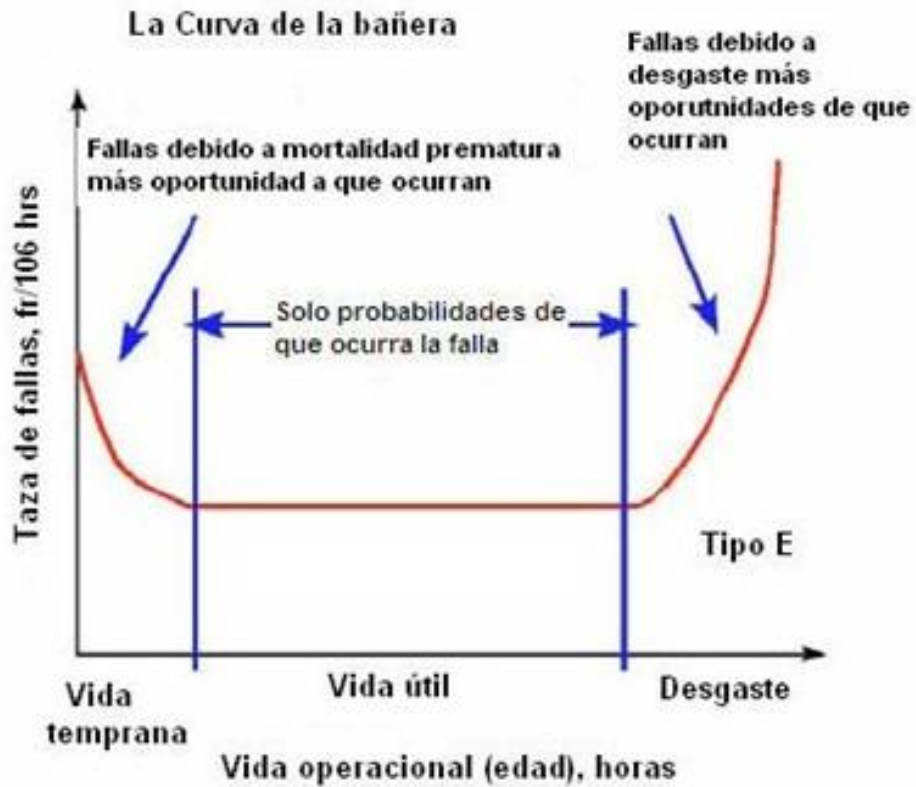
Figura 2-18. Diagrama P-F representa la evolución de una falla

2.5.3. Fallas relacionadas con la edad

Las fallas relacionadas con la edad también deben ser consideradas, pero no es objeto de este estudio, pero, solo por mencionarlas son aquellas fallas que tienen que ver con las horas en operación. Esta estrategia es la que propone el mantenimiento preventivo específicamente el cambio de componentes.

La idea es anticiparse a la falla sustituyendo la pieza o componente en forma cíclica basándose en un estudio que combina varios factores, que finalmente determina un patrón y tiempo, no obstante puede ser que por el contexto operacional, la pieza o componente se anticipe de alguna forma a la falla, es por eso que se debe estar atento a los síntomas que vaya presentando.

Las fallas por desgaste, en este equipo son habituales, el equipo de trabajo o materiales o piezas de sacrificio tienen un comportamiento de falla cíclico, las piezas que van en contacto directo con el suelo o materiales abrasivos se van desgastando, en donde la única forma de anticiparse a un imprevisto es la observación y mediciones que permitan tener una proyección de cambio de estos elementos. La sustitución planificada mejora los tiempos de respuesta o ejecución de los trabajos de reemplazos de las piezas.



Fuente. http://confiabilidad.net/assets/uploads/art/RCA/enfoque_2.JPG

Figura 2-19. Representación del ciclo de vida de un equipo o componente

2.6. IDENTIFICACIÓN DE LOS MODOS DE FALLA

Para identificar el modo de falla o el ¿Por qué? Esto obliga a investigar más a fondo la información registrada y en los historiales de alarmas relacionadas con motor diésel, para tener más certeza en focalizar los planes de acción.

Siempre se debe tener en cuenta para todo efecto que un mantenimiento inadecuado o mal realizado es un potencial importante de falla.

Una vez identificada la falla funcional, el paso siguiente es tratar de identificar todos los sucesos que tienen una probabilidad razonable de causar dicho estado de falla, estos sucesos se denominan modos de falla.

Los modos de falla de ‘probabilidad razonable’ incluyen aquellos que hayan ocurrido en ese equipo o uno similar operando en el mismo contexto, fallas que están

siendo prevenidas actualmente por tareas de mantenimiento existentes y fallas que no han ocurrido aún pero que se considera que son posibilidades reales en el contexto en cuestión.

Es también importante identificar la causa de cada falla con suficiente detalle como para que sea posible identificar una política adecuada de administración de fallas, es por eso se incluye una descripción detallada de cada sistema seleccionado para de alguna manera mostrar gráficamente los conocimientos del grupo de análisis.

Tabla 2-5. Hoja de información para las falla de motor diésel

HOJA DE INFORMACIÓN RCM	SISTEMA/ACTIVO: Tractor sobre oruga Komatsu D375-5		SISTEMA N° 0	FACILITADOR	Fecha: Dic 2014	Hoja: 1
	SUB-SISTEMA/COMPONENTE: Todos		SUB-SISTEMA N° 0	Patricio Palma	Fecha: Dic 2014	De: 1
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la Falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)			
Empujar y Esparcir el Material Estéril Descargado por los Camiones de 300 Toneladas en el Botadero a razón de 1150 y 1250 toneladas por hora con una disponibilidad del mínima mensual del 85%, en frentes de carguío retira rocas de gran tamaño que la pala no puede levantar; nivela piso de perforación, acerca material para que la pala lo pueda cargar con mayor facilidad.	No puede Empujar ni Esparcir el Material Estéril o hacerlo por debajo de las 1150 toneladas por hora y la Disponibilidad del equipo cae por debajo del 85%.	1	Falla en el Motor	Todos los modos de falla descritos constituyen una detención del equipo, generan gastos en repuestos y de recursos todo tipo, según la frecuencia y el tiempo empleado en reparar disminuyen la confiabilidad y disponibilidad del equipo y la flota en general, aparte de alterar o retrasar el proceso productivo global.		
		2	Falla en el Radiador			
		3	Falla en el Sistema Eléctrico			
		4	Falla en la Transmisión			
		5	Falla en el Convertidor de Torque			
		6	Falla en el Diferencial (caja de transferencia)			
		7	Falla en Mando Final			
		8	Falla en el Rodaje			
		9	Falla en el Sistema de Frenos			
		10	Falla en el Sistema de Dirección			
		11	Falla en el Sistema Hidráulico			
		12	Falla en Cilindros Hidráulicos			
		13	Falla en Hoja Topadora			
		14	Falla en el GET Herramienta de Corte			
		15	Falla en el Chasis, Estructura / Chasis			
		16	PM - Mantenimiento Preventivo			
		17	Falla en el Sistema de Engrase			
		18	Reemplazo de componentes			
		19	Falla en la Operación			

Fuente. Elaboración propia en base descarga de información RM+Care y modelo Libro RCM John Moubay

Tabla 2-6. Hoja de información para las falla de motor diésel sub sistema refrigeración

HOJA DE INFORMACIÓN RCM	SISTEMA/ACTIVO: MOTOR DIESEL		SISTEMA N° 0	FACILITADOR	Fecha: Dic 2014	Hoja: 1
	SUB-SISTEMA/COMPONENTE: REFRIGERACION		SUB-SISTEMA N° 0	Patricio Palma	Fecha: Dic 2014	De: 1
FUNCIÓN	FALLA	MODO DE FALLA (Causa de la Falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)			
Mantener una temperatura de funcionamiento adecuada de funcionamiento del motor diésel 85-90 grados Celsius.	Operador detiene el equipo por alarma de alta temperatura de refrigerante de motor diésel	1	Alta Temperatura Refrigerante motor	Todos los modos de falla descritos constituyen una detención del equipo, generan gastos en repuestos y de recursos todo tipo, según la frecuencia y el tiempo empleado en reparar disminuyen la confiabilidad y disponibilidad del equipo y la flota en general, aparte de alterar o retrasar el proceso productivo global.		
		2	Rotura en correas de ventilador - Cambio Correas			
		3	Base de pala cunetera quebrada + Tanque de expansion roto.			
		4	Sistema de potencia y transmisión alarma de motor call E03			
		5	Sistema de potencia y transmisión			
		6	Fuga refrigerante por rotura de manguillo conexión enfriador de transmisión.			
		7	Filtro de aire saturados, se cambia filtro.			
		8	sistema de potencia y transmisión relleno de aceite			
		9	Motor Diesel- Chequeo			
		10	Alta Temperatura Refrigerante - Limpieza Radiador			
		11	fuga de aceite de transmisión y refrigerante			
		12	Alarma de temperatura de motor transmisión			
		13	PM de 500 hrs + Alta Temperatura Motor Diesel.			
		14	Cambio de filtros de aire. Equipo presenta pérdida de potencia, filtros de airesaturados			
		15	Alta T° de motor			
		16	Sistema de motor diesel exceso de t° de motor			
		17	Baja potencia motor, se cambian filtros de combustible.			
		18	Sistema Potencia y Transmisión, falla en motor diesel empaquetadura de culatas			
		19	Sistema de Potencia y Transmisión, falla motor diesel se pasa compresion de motor al refrigerante			
		20	Sistema de Potencia y Transmisión, Equipo presenta alta temperatura motor, se cambian filtros aire satura			
		21	Sistema de potencia y transmisión, temperatura de refrigerante + subir al area para sacar enfriador			
		22	T° DE MOTOR Y TRASMISION			
		23	Sistema de potencia y Transmisión, temperatura de refrigerante			
		24	Sistema de Potencia y Transmisión, eliminar fuga de refrigerante			
		25	motor diesel - Cambio de Turbo			
		26	Cambio de oring de filtro de dirección y freno deteriorado.			

Fuente. Elaboración propia en base descarga de información RM+Care y modelo Libro RCM John Moubray

Tabla 2-7. Hoja de información para las falla de tren de rodado

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		SISTEMA/ACTIVO: Estructuras/UC/Ruedas/Equipo de trabajo	SISTEMA N°2	FACILITADOR Patricio Palma	Fecha: Dic 2014	Hoja: 1
		SUB-SISTEMA/COMPONENTE: TREN DE RODADO	SUB-SISTEMA N°1	Auditor R. Lineros	Fecha: Dic 2014	De: 1
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la Falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)			
1	1	1 Perno de Rueda Guía cortado	Operador no puede y tampoco le está permitido mover el equipo en cualquiera de las condiciones nombradas, debe solicitar atención de mantenedores los cuales deben desplegar mucha logística para realizar la reparación o trasladar con camión cama baja hasta los talleres, es un trabajo que necesita herramientas especiales y técnicos en soldadura especializados.			
		2 Perno de Rodillo cortado				
		3 Tapa de Rueda Guía Faltante				
		4 Tapa de Rodillo Faltante				
		5 Rueda Guía Fugando /Alta temperatura/ Frenado				
		6 Rodillo Fugando / Alta temperatura / Frenado				
		7 Rodillo Perdido				
		8 Cadena Partida o por romperse Buje roto				
		9 Cadena Partida o por romperse eslabón maestro suelto- Instalación Incorrecta				
		10 Cadena Descarrilada Cadena Estirada				
		11 Cadena Descarrilada Segmentos con alto desgaste				
		12 Cadena Descarrilada Tensor con fuga				
		13 Cadena Descarrilada Resorte partido				
		14 Cadena No tensiona/ tensor con fuga - Instalación Incorrecta				
		15 Zapatas perdidas- Instalación Incorrecta				
		16 Fuga por Sello Eje Pivote- Instalación Incorrecta				
		17 Fuga por Carcaza de Bastidor por grietas				
		18 Juego en los alojamientos de la Barra Ecuilibradora por Falta de lubricación				

Fuente. Elaboración propia en base descarga de información RM+Care y modelo Libro RCM John Moubray

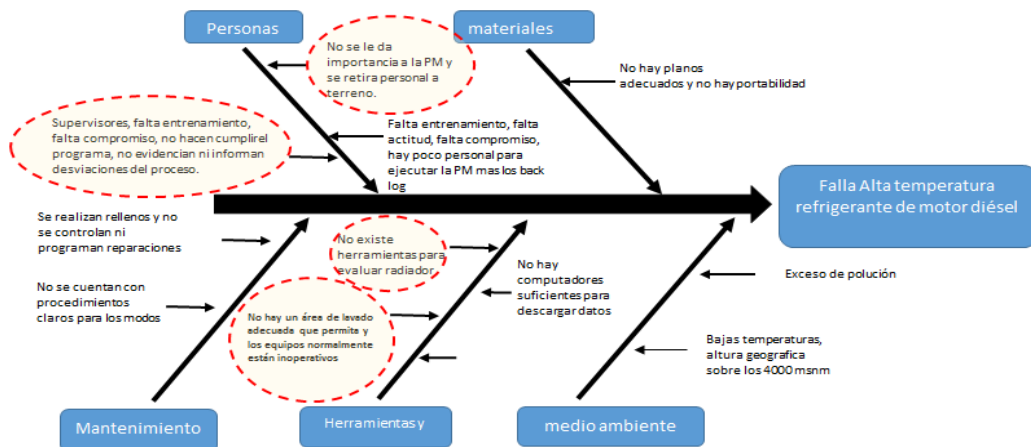
En la determinación del por qué ocurre una falla, entra en juego algunos paradigmas personales de cada técnico, especialmente a los que llaman a la memoria, normalmente cuando no se ha concluido anteriormente con una causa raíz real del suceso.

Es importante tener la mayor cantidad de información posible, guiándose por las especificaciones y guías de resolución de problemas que propone el fabricante y asociar siempre la falla al contexto operacional.

Una vez determinado los modos de fallo posibles, es necesario determinar qué tareas de mantenimiento podrían evitar o minimizar los efectos de un fallo. Pero lógicamente, no es posible realizar cualquier tarea que se nos ocurra que pueda evitar un fallo. Cuanto mayor sea la gravedad de un fallo, mayores recursos podremos destinar a su mantenimiento, y por ello, más complejas y costosas podrán ser las tareas de mantenimiento que tratan de evitarlo.

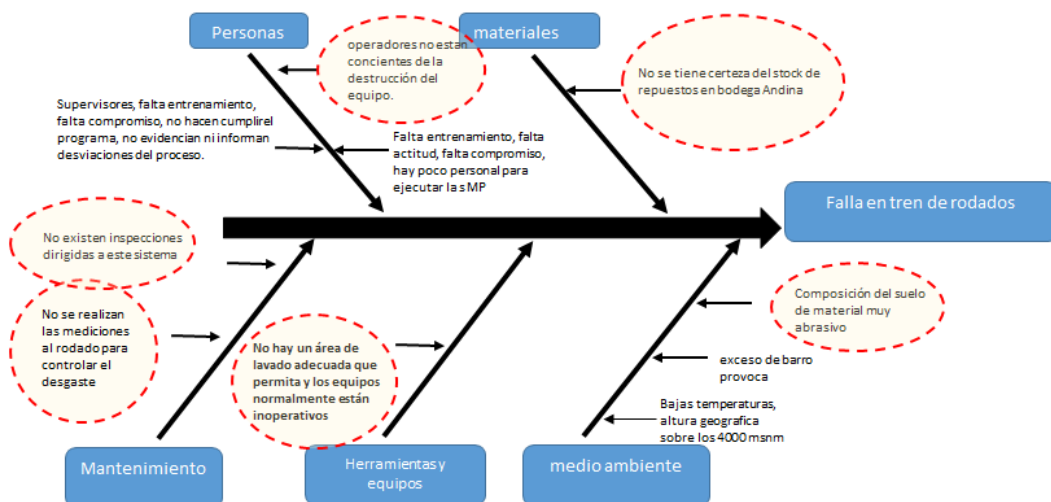
Las listas más tradicionales de modos de falla incorporan fallas causadas por deterioro o desgaste por el uso normal. Sin embargo, la lista debería incluir fallas causadas por errores humanos (por parte de operadores y mantenedores) y defectos de diseño, de modo que todas las causas razonablemente probables de falla de equipos pueden ser identificadas y se puede lidiar con ellas de manera apropiada.

Ante los eventos sucesivos y de carácter crónico como las de alarmas de temperatura de refrigerante de motor, los modos de falla en forma común identificados para este contexto operacional, fueron la obstrucción o contaminación del panel del radiador, componentes del sistema de refrigeración del motor diésel.



Fuente. Elaboración propia con apoyo del grupo de análisis

Figura 2-20. Análisis de causa raíz modelo espina de pescado ante los problemas de alarma de temperatura de refrigerante



Fuente: Elaboración propia con apoyo del grupo de análisis

Figura 2-21. Análisis de causa raíz ante los problemas de obstrucción del panel de radiador de motor diésel

La investigación de la causa raíz es clave para resolver en un plan de acción acorde a lo que se necesita evitar.

El por qué se resuelve por una parte analizando en detalle la forma de realizar el mantenimiento o limpieza, aquí se encontró que no existía una forma o procedimiento documentado para realizar esta tarea, el personal no se encontraba bien capacitado y tampoco existía una forma de generar una evidencia del trabajo bien realizado ni menos cuantificada, ya que las pruebas en taller no llevan al equipo a simular condiciones reales de funcionamiento.

En cuanto al desgaste este modo se falla es inevitable y parte de la esencia del contexto operacional, aquí se busca ser más preciso en el programa de sustitución de piezas, la planificación es clave para evitar imprevistos de alto impacto a la operación.

En cuanto a las fallas del tren de rodado, especialmente de los elementos rodantes no existía una forma de anticipar la falla por problemas de rodamientos internos o falta de lubricación solo se ocupaba el mantenimiento reactivo, en esta situación las fallas aumentaban en su flexibilidad operacional, con consecuencias en otros elementos

Se podría concluir que se trataba de un mantenimiento inadecuado o mal realizado, de todas formas lo era, esto fue difícil reconocerlo por los involucrados y con responsabilidad en todas las partes tanto el que la ejecutaba como el que pedía que se realizara (Planificación).

Esto prueba que cuando no se cuenta con instructivos claros o precisos difícilmente las tareas se realizaran como se espera. Solo se incluía la cartilla genérica en idioma inglés y que no resultaba amigable para los que realizaban la tarea y poco concluyente para el que debía interpretarla, por lo tanto mientras más detalles tengan los procedimientos y las cartillas o pautas de revisión se adapten a la realidad del contexto operacional se evitaran este tipo de fallas.

- Acumulación de material y limpieza.

La acumulación de barro, polvo, nieve son parte del contexto operacional y poco eran incluidos como fuentes generadoras de falla, basto observar cómo se encontraba por limpieza en las situaciones el equipo fallaba y a cuantas horas se encontraba de la última limpieza realizada.

Las prácticas de limpieza de lo que corresponde al rodado en primera instancia son parte es de responsabilidad del operador, la misión de este es mantenerla limpia después de operar el equipo,

Lo que tiene que ver con la limpieza de los intercambiadores de calor este ciertamente corresponde al mantenimiento preventivo, pero por no contar con un procedimiento adecuado no se realizaba de buena forma.



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada en terreno

Figura 2-22. Radiador de motor diésel obstruido por acumulación de sedimento se evidencia falta de lavado

2.7. EFECTOS DE LAS FALLAS

El cuarto paso en el proceso RCM involucra hacer un listado de efectos de fallas, que describa lo que sucede cada vez que ocurre una falla.

Estas descripciones deberían incluir toda la información necesaria para respaldar la evaluación de las consecuencias.

Los efectos de la falla son analizados a partir de las consecuencias determinadas por los factores los anteriores y deben ponderarse para conducir a la toma de decisiones.

El diagrama de decisión hace las preguntas necesarias para conducir al grupo en el análisis, las evidencias, si es una amenaza a la seguridad, de qué forma afecta a la producción, si ha causado algún daño físico y las acciones correctivas que son necesarias.

La mayoría de los efectos de falla están anunciados por el fabricante del equipo, pero en la operación siempre hay cosas que este desconoce, por lo tanto difícilmente lo anticipara.

Normalmente, como lo mencionamos antes el operador de la maquina es el que más conoce los síntomas que anteceden a una falla, es la mejor fuente de información ya que convive con ella día a día, sería clave su participación en el grupo de análisis, pero por una razón operacional y logística se hace imposible, la única opción es realizar entrevistas que permitan recolectar y contar con esta información en el grupo de análisis.

El origen de los llamados para atender la maquina parte por indicaciones del operador, es por eso que es clave saber por qué lo hace y que espera de un buen funcionamiento de esta.

2.8. CONSECUENCIAS DE LAS FALLAS

El criterio para responder las últimas tres preguntas del proceso RCM, tiene una estructura estratégica única, clasifica las consecuencias de las fallas en cuatro grupos y son conducidas a partir de la respuesta del grupo de análisis a cada una de las preguntas del diagrama de decisión RCM II de la figura 2-3, a cada uno de los modos de falla., la naturaleza y la gravedad de los efectos definen las consecuencias.

Si las consecuencias son serias, entonces valdrá la pena realizar esfuerzos necesarios para evitar, eliminar o reducir sus consecuencias.

Si las consecuencias son menores, quizá se tome la decisión de no hacer nada y esperar que la falla ocurra.

También permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, y permite direccionar el esfuerzo y los recursos a las áreas donde es más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad y administrar el riesgo al no hacer nada, en definitiva en cada caso las consecuencias son diferentes.

Esto agrega otro nivel de clasificación de la falla que permite contar con un orden de prioridad o atención en complemento con el análisis de causa efecto (AMFE).

“Una tarea proactiva merece la pena si reduce las consecuencias del modo de falla asociado a un grado tal que justifique los costos directos e indirectos de hacerla”.

Jonh Moubrey RCM II:

- Consecuencias de las fallas ocultas e evidentes.

Las fallas ocultas, no tienen un impacto directo, pero exponen a la organización a fallas múltiples con consecuencias graves, estas fallas no son evidentes por los operadores de la máquina ya que no causan una pérdida de función.

Las fallas evidentes están asociadas a los dispositivos de seguridad o de alarma y harán que el operador detenga la máquina y solicite atención.

Para saber lo que se debe hacer, el proceso las clasifica a ambas con la letra **H** con la pregunta ¿será evidente a los operadores la pérdida de función causada por este modo de falla actuando por sí solo en circunstancias normales?

Las respuestas sí o no conducen al grupo a buscar las alternativas para prevenirlas ya que siempre están asociadas a una falla múltiple, siendo siempre necesario evaluar la factibilidad técnica o si merece la pena realizar algún tipo de mantenimiento.

- Consecuencias operacionales y no operacionales

Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción, calidad, servicio al cliente o costos operativos además del costo directo de la reparación, todo se relaciona al tiempo de detención en definitiva cuánto cuesta la falla cada vez que ocurre.

Por lo tanto la frecuencia de ocurrencia del evento es el factor multiplicativo de la consecuencia y se determina por el número de eventos de un periodo determinado.

“Para los modos de falla con consecuencias operacionales, merece la pena realizar una tarea proactiva si a lo largo de un periodo de tiempo, cuesta menos que el costo de las consecuencias operacionales más el costo de reparar la falla que pretende evitar” John Moubray RCM II.

Lo estratégico siempre va ser reducir la frecuencia a un nivel económicamente tolerable, teniendo esto en cuenta el proceso de decisión será responder la pregunta ¿si el modo de falla ejerce un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional?

- Consecuencias sobre la seguridad y el ambiente

Una falla tiene consecuencias de seguridad si puede herir o matar a alguien. Tiene consecuencias ambientales si incumple alguna norma ambiental corporativa, regional, nacional o internacional.

La valoración del riesgo cobra y merece una atención especial

2.9. ANÁLISIS DE RIESGO

El análisis de riesgo, es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones.

Para realizar un análisis de riesgo se debe definir un alcance y propósito, establecer los criterios de evaluación y seleccionar un método de evaluación para jerarquizar la selección de los sistemas objeto del análisis.

El riesgo se determina cuantitativamente, multiplicando la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de una falla por la suma de las consecuencias de la misma, establece rangos de valores para homologar los criterios de evaluación.

Para realizar en Análisis de riesgo se debe seguir los siguientes pasos:

- Definir el nivel de análisis

Se deberán definir los niveles en donde se efectuará el análisis: instalación, sistema, equipo o elemento, de acuerdo con los requerimientos o necesidades de jerarquización de activos:

- Definir el riesgo

La estimación de la frecuencia de falla y el impacto total o consecuencia de las fallas se realiza utilizando criterios y rangos preestablecidos, el número de intervenciones imprevistas dentro de un periodo determinado otorgara una ponderación que puede ser clasificando por esto como pésimo, malo, regular y promedio, esta información se encuentra siempre disponible en el sistema de control del mantenimiento RM+ Care.

La tabla 2-10. Muestra los criterios para estimar la frecuencia.

Se busca otorgar un número tal que pondere que tan ocurrente es la falla.

Para la estimación de las consecuencias o impactos de la falla, se considera el impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación y los impactos en seguridad y ambiente.

La consecuencia va ser cuantificada por el resultado de la multiplicación del ponderado del impacto operacional e la flexibilidad, más la suma de los costos y el impacto a la seguridad.

$$\mathbf{Riesgo = Frecuencia * consecuencia}$$

$$\mathbf{Consecuencia = (IO * Flexibilidad) + Costos + Impacto en Seguridad}$$

- Impacto Operacional (IO)

Los impactos operacionales se cuantifican con las consecuencias que generan los eventos no deseados sobre el negocio. Este criterio se evaluara considerando si la detención afecta la disponibilidad del periodo en decir cuánto tiempo emplea en su reparación y si afecta a la producción interrumpiéndola de alguna forma.

- Flexibilidad operacional

La flexibilidad operacional está dada por niveles de pronta respuesta a dar solución a un imprevisto, ya sea capacidad de diagnóstico, que existan los repuestos necesarios y los tiempos empleados en su desarrollo.

La logística de repuesto es muy importante, por el motivo que al ocurrir un imprevisto en el cual la flexibilidad operacional se vio alterada por espera de repuesto, debe quedar como precedente para estudiar si merece la pena generar una nueva estrategia en stock de bodega.

- Costo de mantenimiento

El costo de mantenimiento es un factor importante y debe ser considerado ya que el comúnmente se pasa por alto durante la intervención del equipo, debe estar muy ligado a un informe de falla que asegure que los diagnósticos se hicieron con los protocolos que existen. Esta ponderación indica dos niveles de costos asociado inferiores y superiores a 1100 US\$.

- Impacto a la seguridad, ambiente e higiene

La variable de seguridad es muy sensible a la hora de clasificar la riesgo, prácticamente pondera por sí sola, si esta recibe valores en sus niveles máximos pasa directamente como crítico dejando a tras las otras ponderaciones de medición de la consecuencia.

Por lo tanto se estima si en el impacto en seguridad la asignación es 6 (valor más alto), el cálculo pondere 200 que es la valoración más alta para el riesgo

Tabla 2-8. Ponderación de los factores que afectan los niveles de riesgo

Factor de frecuencia del fallo (recurrencia eventos)		Costo de mantenimiento.	
	Asignación.		Asignación.
Pésimo mayor a 4 eventos al mes	4	Mayor o igual a 1100 USD.	4
Malo de 1 a 4 fallas al mes.	3	Inferior a 1100 USD.	3
Regular 0,5 a 1 fallas al mes.	2		
Promedio 0,25 a 0,5 fallas al mes	1		
Impacto operacional:		Impacto en seguridad ambiente e higiene:	
	Asignación.		Asignación.
Detención de producción	10		
Impacta a niveles de producción y calidad	8	Riego alto de perdida de vida, daños graves a la salud & ambiente sobre los limites permitidos.	6
Repercute en costos operacionales asociados a disponibilidad	6		
Parada parcial del equipo	4		
No genera ningún efecto sobre la operación y producción.	1	Riesgo mínimo a la perdida de vida y afección a salud, incidente ambiental menor, derrames fáciles de contener.	4
Flexibilidad operacional:			
	Asignación.		
No existe opción de producción y tiempos de reparación y logística excesivos > 9 Hrs	4	No existe ningún riesgo a la pérdida de la vida ni a la salud, daños ambientales controlados.	3
Tiempos de reparación medios altos >3 hrs < 9hrs	3		
Tiempos de reparación medios bajos >1hrs < 3hrs	2		
Tiempos de reparación y logística pequeños < 1 hrs	1		

Fuente: Elaboración propia en base a información obtenida desde página a web, <http://aprendizajevirtual.pemex.com/>.

2.9.1. Matriz de valoración del riesgo

Una vez obtenido el valor de la criticidad, se busca en la Matriz de Criticidad diseñada, para determinar el nivel de criticidad de acuerdo con los valores y la jerarquización establecidos.

Esta tabla completa el requerimiento de la hoja de decisión de la metodología RCM.

Matriz de Riesgo

4	Bajo	Medio	Grave	Grave
3	Bajo	Medio	Grave	Grave
2	Bajo	Medio	Medio	Medio
1	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	20	30	40	50

Fuente: Elaboración propia en base a información obtenida desde página a web,
<http://aprendizajevirtual.pemex.com/>.

Figura 2-23. Matriz de riesgo

La valoración del nivel de riesgo y la identificación de los activos más críticos permitirá orientar los recursos y esfuerzos a las áreas que más lo ameriten, así como dirigir las acciones de mitigación del riesgo en elementos subsistemas, considerando su impacto en el proceso.

Dentro de las acciones o actividades que se recomiendan, aquí es donde se incluye la metodologías de Confiabilidad, con el objeto de identificar las causas raíz de los eventos de deseados y recomendar acciones que las eliminen mediante el Análisis Causa Raíz.

Tabla 2-9. Ponderación de matriz de riesgo

ANÁLISIS DE RIESGO										
Modo de falla	Total periodo	Frecuencia promedio (fallas mes)	Factor de frecuencia	Consecuencia	Costo del mantenimiento	impacto operacional	Flexibilidad operacional	Impacto en seguridad ambiente e higiene	Valoración del Riesgo.	Leyenda
Motor	129	22	4	31	3	6	4	4	124	Grave
Estructuras/UC/Ruedas/Equipo de Trabajo	88	15	4	31	3	6	4	4	124	Grave
Reparaciones Generales/Electricos	35	6	4	25	3	6	3	4	100	medio
Servicio Mantenión	30	5	4	25	3	6	3	4	100	medio
Hidraulicos/Cilindros	27	5	4	25	3	6	3	4	100	medio
Tren de Potencia/Alto Voltaje	25	4	3	25	3	6	3	4	75	medio
General Repairs	7	1	1	25	3	6	3	4	25	bajo
Inspecciones	1	0	1	25	3	6	3	4	25	bajo

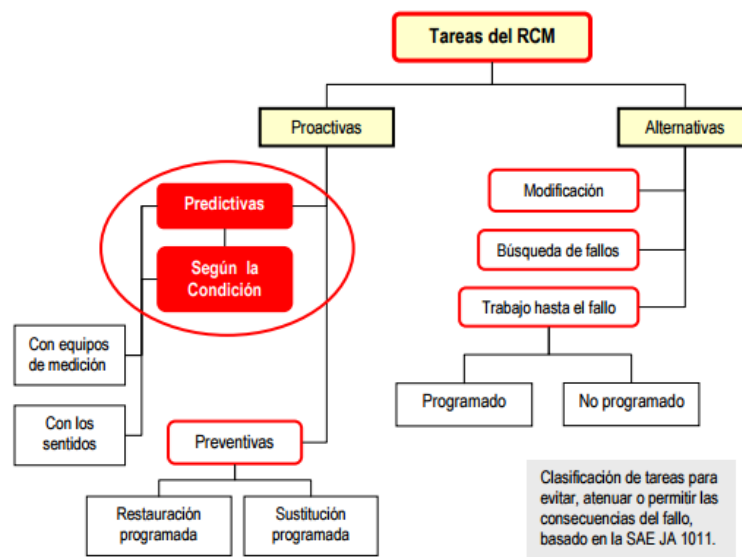
Fuente: Elaboración propia en base a información obtenida software informático RM+Care

CAPÍTULO 3: SELECCIÓN DE TAREAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3. SELECCIÓN DE TAREAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS PROPUESTAS DEL RESULTADO RCM

Las tareas apropiadas para mitigar los efectos y consecuencias de los modos de falla y frecuencias por medio de las aplicaciones de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), se debe diseñar una estrategia documentable que forme parte de las actividades de rutina, esto puede ser durante un periodo o en forma indefinida.



Fuente: Imagen de internet, <http://www.mantenimientomundial.com/>

Figura 3-1. Clasificación de tareas según RCM, Fuente SAE JA 1011

Un análisis detallado RCM da tres resultados tangibles:

- Planes de mantenimiento a ser realizados por el departamento de mantenimiento.
- Procedimientos de operación revisados.
- Una lista de cambios que deben hacerse al diseño del activo físico, o a la manera en que es operado para lidiar con situaciones en las que no puede proporcionar el funcionamiento deseado en su configuración actual.

Dos resultados menos tangibles son que los participantes del proceso aprenden mucho acerca de cómo funciona el activo físico, y que ellos tienden a funcionar mejor como miembros de un equipo y se consolida una forma estandarizada de enfrentar las detenciones imprevistas.

Al definir las estrategias de mantenimiento centrada en confiabilidad las reuniones de planeación estratégica con los supervisores, planificadores y líderes de la flota, fueron claves para lograr reorganizar las áreas de trabajo y las funciones específicas en cada área de trabajo.

3.2. MODOS DE FALLA SELECCIONADOS

Los sistemas para los modos de falla seleccionados como resultado de los análisis realizados, considerando la viabilidad técnica, logística y los que la organización permitió, finalmente fueron, el sistema de motor diésel, por la alta frecuencia de falla y el sistema de rodado por el alto impacto operacional.

Las estrategias se dirigirán a programar en la forma anticipada posible los cambios de elementos de rodado y obstrucción de radiadores.

Las implementación de las rutinas van a exigir disciplina en la medición de desgastes y la inclusión de un monitoreo predictivo de condición mediante termografía infrarroja, implementando también las inspecciones dirigidas en terreno.

3.2.1. Descripción de las tareas a realizar al sistema de refrigeración de motor diésel

Con el uso de la hoja de decisión para los sistemas seleccionados, facilito en gran medida en encausar las reuniones y precisar la toma de decisiones, principalmente el determinar si valía la pena realizar alguna actividad con los recursos disponibles o la introducción de otros y comprometer responsables de la tarea.

Tabla 3-1. Hoja de decisión para el sistema de refrigeración de motor diésel

HOJA DE DECISIÓN RCM	SISTEMA/ACTIVO: Motor Diesel							SISTEMA Nº 1	FACILITADOR: Patricio Palma	Fecha: Dic. 2014	Hoja Nº		
	SUB-SISTEMA/COMPONENTE: Refrigeración.							SUB-SISTEMA Nº 2	Auditor: Inspector técnico	Fecha: Dic. 2014	De		
Referencia de Información	Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"	Tareas Propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por		
F	FF	MF	H	S	E	O	S1					S2	S3
1	1	2	N	S			S						
										Verificar la limpieza del radiador mediante el uso de anemómetro	Cada 250 Horas	Inspector de calidad	

Fuente: Elaboración propia en base a libro RCM II John Moubray.

Para levantar la confiabilidad en el sistema Motor diésel se considera que se debe principalmente prestar atención al sub sistema de refrigeración, ya que el mantenimiento realizado no está teniendo los resultados que se esperan bajo el contexto operacional descrito.

La eficiencia de este sistema se torna critico bajo ciertas condiciones de operación que exige que se acerque al 100%, por lo tanto durante el mantenimiento requiere que se realicen las inspecciones y mediciones necesarias para asegurar que cumpla las estas expectativas, la mayoría de estas son recomendaciones del fabricantes, pero se concluye que deben mejorar, para que consideren el contexto operacional.

Principalmente se busca definir el cuándo el equipo necesita una limpieza más acabada del radiador del sistema de refrigeración que asegure el libre paso de aire.

Para el sistema de refrigeración obstruido se programaron inspecciones dirigidas en terreno en forma periódica, con el fin de cuantificar la velocidad del aire que atraviesa el panel de radiador en puntos específicos. Se introduce al mantenimiento una técnica o herramienta predictiva con el uso de un anemómetro digital.

El patrón de medición se confeccionó con los valores de velocidad del aire que se obtuvieron en un radiador limpio en óptimas condiciones, al cual se debían ser comparadas con las mediciones del Inspector Técnico. Con estos valores se programa un lavado cuando es necesario hacerlo, esto va evitar imprevistos por este motivo y también ganar tiempo en el mantenimiento preventivo.

De igual forma esta práctica se considerada como un punto de verificación de la efectividad o calidad de este lavado, teniendo el registro del antes y el después.



Fuente. Elaboración propia en base a fotografía tomada en terreno

Figura 3-2. Radiador obstruido por acumulación de suciedad

Se confecciono un procedimiento para el desarrollo de la actividad y una cartilla de inspección para contar con los registros necesarios para el programa.

Esta misma herramienta les sirvió también a los técnicos que atienden el imprevisto para agilizar el diagnóstico y la toma de decisiones.

La frecuencia del lavado va depender de la condición, otorgando tiempo de realizar otras tareas en caso de no haber necesidad. Inicialmente la verificación con anemómetro será cada 250 horas.



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada aplicando el procedimiento de verificación de limpieza.

Figura 3-3. Incorporación del anemómetro como herramienta predictiva para verificar la limpieza del radiador

3.2.2. Descripción de las tareas a realizar del tren de rodado

El desgaste del sistema de tren de rodado, se considera inevitable o normal dentro del contexto operacional, se tipificó como un sistema crítico ya que durante el periodo analizado fue causa de muchas detenciones imprevistas, por eso fue incluido en el proceso de mantenimiento, centrado en la confiabilidad, principalmente por una falta de control.

Tabla 3-2. Hoja de decisión para el sistema de rodado

HOJA DE DECISIÓN RCM		SISTEMA/ACTIVO: Tren de rodado										SISTEMA N° 2	FACILITADOR: Patricio Palma	Fecha: Dic. 2014	Hoja N°	
		SUB-SISTEMA/COMPONENTE: Elementos de desgaste										SUB-SISTEMA N° 1	Auditor: Inspector técnico	Fecha: Dic. 2014	De	
Referencia de Información	Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"				Tareas Propuestas			Frecuencia inicial	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4				
2	1	3	N				S						Realizar mediciones de elementos de desgaste del rodado según procedimiento, registrar valores en formato establecido.	Cada 250 Horas	Inspector de calidad	

Fuente: Elaboración propia en base a modelo del libro RCM II John Moubray.

En los acuerdos tomados, en la busca de evitar que esta detención sea imprevista, se incorporan mediciones periódicas y sistemáticas que nos permita tener una base estadísticas y poder realizar un cálculo de duración más preciso de los elementos del rodado, que dentro de la investigación se concluye que era realizado no muy eficientemente.

De esta forma los trabajos se realizaron en forma planificada con el mínimo de desviaciones, impactando directamente en los indicadores de gestión especialmente en la confiabilidad y disponibilidad.

Para la cadena que es un elemento de alto costo y reutilizable nos permitió entregar un informe más detallado al taller reparador, el que inicialmente no consideraba todos los tipos de desgaste que el elemento estaba sometido, los límites de desgaste y trabajos requeridos en el reacondicionamiento.

Con todo esto, el componente se pudo utilizar el tiempo esperado con una mayor confiabilidad y a la toma de decisión para cuando era necesario desechado.

Para aplicar la mejora se debió ser más riguroso con las cartillas de medición del rodado, debiendo en algunos casos capacitar nuevamente al personal en metrología mecánica.


Se introducen procedimientos que aclaran conceptualmente la importancia de medición y seguimiento del sistema rodado.

La responsabilidad final estará bajo un encargado del sistema (Inspector de Estructuras), que periódicamente informará a los planificadores y encargados de recursos las fechas proyectadas para el cambio de los elementos de rodado.



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada en taller Andina

Figura 3-4. Procedimiento de medición de rodado

KOMATSU				
INFORME DE RODADOS Departamento de ingeniería faena Andina Mayo de 2015				
1.-Resumen de proyección de rodados de faena (de acuerdo a desgaste de zapata).				
equipo	Proyección de cambio (hrs)	Perfil de uso (hrs/mes)	última medición de altura de zapata	Proyección cambio de cadena
341	2778	340	10-05-2015	10-01-2016
342	1250		04-04-2015	23-07-2015
343	2222		14-03-2015	26-09-2015
344	2556		15-05-2015	26-12-2015
345	2222		20-04-2015	02-11-2015

Fuente. Elaboración propia en base a informe de medición de rodado

Figura 3-5. Informe mensual de desgaste y proyección de duración de zapatas

3.2.3. Termografía infrarroja en la detección temprana de fallas en rodado

El mantenimiento en terreno que se venía realizando, era un mantenimiento netamente correctivo, se limitaba a corregir una falla cuando esta se presentaba y no se

tenía una buena documentación de las causas de las fallas al realizar reuniones de RCM con los supervisores y técnicos de PM.

De esta forma se le asigna al Grupo de terreno las inspecciones de las causas más frecuentes de falla específicamente en las fallas de Motor y rodado, de esta forma anticipar y planificar con mayor precisión el mantenimiento programado.

También se puso en práctica una técnica predictiva de la fotografía infrarroja, ya que se contaba con el recurso y solo faltaba buscara alguna aplicación, confirmando que esta técnica permitía también anticipar la falla de los elementos rodantes.

El uso de la cámara termografía permitió la detección temprana por falta de lubricación o fallas en rodamientos que fueron corregidas durante el mantenimiento programado.

Los patrones se determinaron también bajo la observación del equipo trabajando en las condiciones del contexto antes descritas, la referencia de lo considerable normal partió bajo ese estudio, finalmente las diferencias de temperatura muy marcadas eran indicio de falla de rodamiento o falta de lubricación.



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía infrarroja en terreno

Figura 3-6. Se aprecia a la izquierda falla de rodamiento de rodillo que pudo ser evitada con el uso de termografía infrarroja

3.2.4. Programa de sustitución cíclica de bastidor y oruga

Para el elemento bastidor no existía una estrategia de sustitución cíclica debido a que para este elemento el contrato no tenía claridad de quien era el responsable de su reparación, por lo tanto no estaba clasificado como un activo o componente para Komatsu.

El elemento de rodado constituye aproximadamente el 40 % del valor del equipo y se estaba dejando a destrucción.

Tabla 3-3. Hoja de decisión para el sub sistema bastidor

HOJA DE DECISIÓN RCM		SISTEMA/ACTIVO: Tren de rodado										SISTEMA N° 2	FACILITADOR: Patricio Palma	Fecha: Dic. 2014	Hoja N°		
		SUB-SISTEMA/COMPONENTE: Bastidor										SUB-SISTEMA N° 2	Auditor: Inspector técnico	Fecha: Dic. 2014	De		
Referencia de Información		Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	Tareas "a falta de"				Tareas Propuestas			Frecuencia inicial	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4					
2	1	4	N				N	S					Reemplazo de bastidores de rodado bajo monitoreo de condición			cada 4000 Hrs	Inspector de calidad

Fuente: Elaboración propia en base a libro RCM II John Moubray

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

La estrategia que se optó fue invertir en la adquisición de un par de bastidores usados para mantenerlos en rotación, antes que los que están en uso se destruyeran por completo.

Los bastidores retirados son enviados a una maestranza especializada los recupera en plazos establecidos, los costos de la reparación corren por cuenta de cliente, El tiempo de reparación de este componente depende del nivel de daño estructural que se tenga, pero existe un significativo ahorro de tiempo al proceder al cambio.

A partir de esta forma este debió implementar un sistema de control de daños y desgaste. Este control busca planificar gastos, tener un orden de prioridad y programar su reemplazo con la mayor anticipación posible.

Esta acción preventiva notoriamente va disminuir la frecuencia de reparaciones imprevistas y los tiempos de respuesta en los trabajos programados.



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía taller Andina

Figura 3-7. Cambio programado de bastidor del sistema de rodado

3.2.5. Planificación de tareas propuestas

La planificación de las tareas propuestas debe conversar con el programa tradicional, inicialmente que se quiso tener una desviación de recursos muy marcada, para luego a partir de los primeros resultados. Para ello los mismos participantes del grupo de análisis ejecutaron las primeras tareas de medición e inspecciones, bajo estos resultados se fueron planificando en forma sistemática todos los requerimientos.

Para instaurar el sistema se solicitó la confección de una carta Gantt que indicara las tareas a desarrollar en concordancia del mantenimiento preventivo y cambios de componentes.

Queda implementada la inspección en terreno entre el mantenimiento preventivo, dirigida a los sistemas que más dieron problemas en el periodo. Dada la precisión de servicio cada equipo entra al mantenimiento con la frecuencia de un mes, por lo tanto a los primeros 15 días debe ser inspeccionado.

Tabla 3-4. Planificación de actividades

		Planificación estratégica folta tractores sobre oruga D375-5																														
		Enero																														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Id Equipos	Técnicos	Comienzo																														
1 inspección termografica tren de rodado 341	1		MP 250																													
2 inspección termografica tren de rodado 342	1																															
3 inspección termografica tren de rodado 343	1																															
4 inspección termografica tren de rodado 344	1																															
5 inspección termografica tren de rodado 345	1																															

Fuente. Elaboración propia en base a estrategia del grupo de análisis

3.3. SEGUIMIENTO CONTROL Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Después de la selección de las acciones de mejora en las frecuencias de ocurrencia de los eventos y mitigación de impactos se debe crear y establecer en Seguimiento y Control, para garantizar el monitoreo de la ejecución de las acciones seleccionadas y el cumplimiento de las recomendaciones:

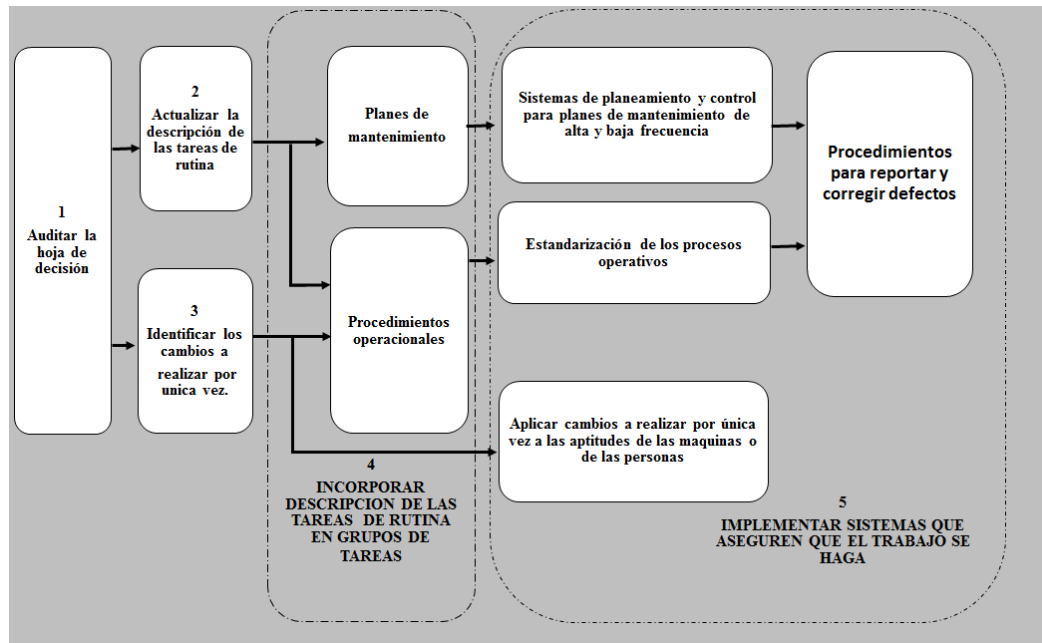
El Seguimiento y Control de las actividades propuestas, pasan a ser muy importantes, desde el punto de vista de trascender en el tiempo y permitir abarcar otros temas y no quedarse estancado nos conllevan a realizar las siguientes acciones:

- Asegurar la continuidad en el tiempo de la aplicación de los planes de acción resultantes de la aplicación según la metodología de análisis
- Promover la cultura del dato fiable en todos los niveles de la empresa, no solo por cumplir un formato.
- Monitorear los cambios o mejoras que pueden derivarse de la aplicación de las acciones generadas como resultados de los análisis y abrirse a la posibilidad de que se requiere un nuevo análisis.
- Crear un expediente, con los registros y documentos resultantes de la aplicación de los Análisis realizados a los sistemas, equipos y elementos.

Si se aplica correctamente el proceso RCM creara una estructura y modelo concreto de trabajo que permitirá formular estrategias aterrizadas. Sin embargo las acciones dependen mucho de los mejores esfuerzos de las personas y es ahí donde está la debilidad de todo, en querer que otros hagan o concreten las iniciativas del proceso.

Para eso la misión de los supervisores cobra un papel muy relevante, pero lo que se debemos procurar desde el punto de vista de la ingeniería, es que los trabajos que se encomienden contengan los instructivos claros sin lugar a cuestionamiento, la planificación sea lo más acotada posible y rescatar toda la información de las desviaciones que pudo haber en la ejecución.

El diagrama 3-1. Facilita la auditoria de la hoja de decisión y la presenta la auditoria al RCM como proceso, la idea es asegurar la ejecución de las tareas.



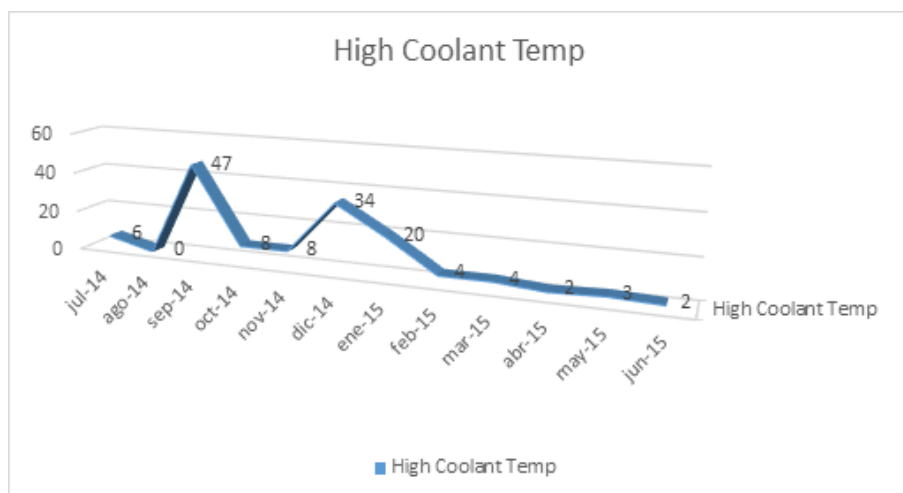
Fuente. Elaboración propia en base a Libro RCM, John Moubray.

Diagrama 3-1. Seguimiento y control de las tareas registradas en la hoja de decisión

3.3.1. Análisis de resultado primer semestre 2015

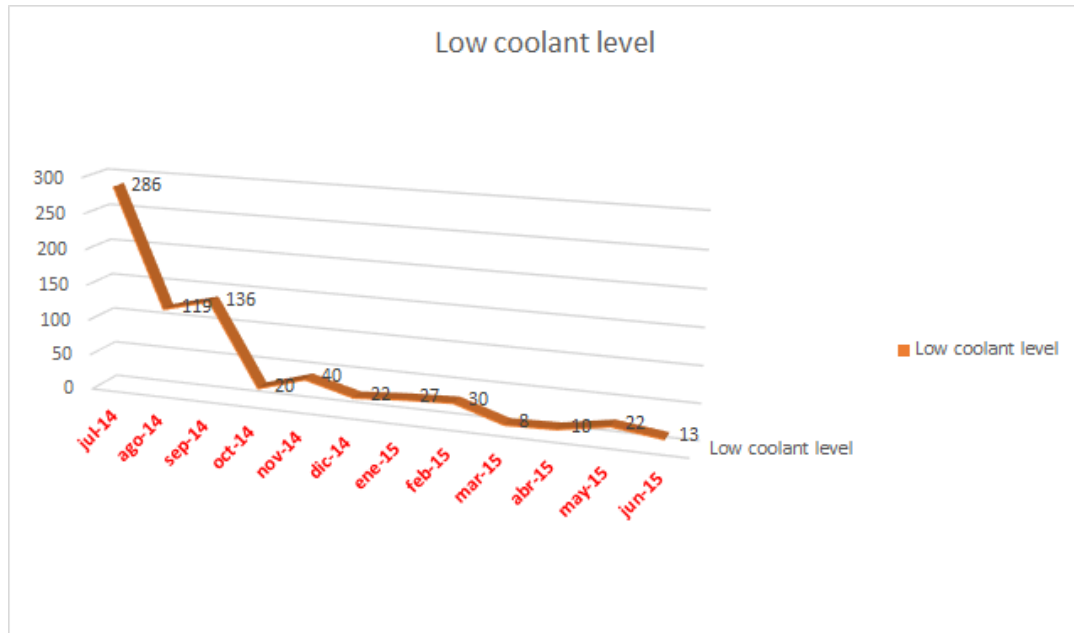
Para mostrar los resultados se analizó el primer semestre del 2015, se realizó la descarga de información para visualizar los indicadores del periodo.

Se realizó un recuento de las alarmas registradas por alta temperatura de motor diésel, comparativas con el semestre anterior, las que fueron disminuyendo notablemente a partir de la programación de los lavados de radiador.



Fuente. Elaboración propia en base a descarga de datos en equipo

Gráfico 3-1. Evolución de alarmas por alta temperatura refrigerante de motor

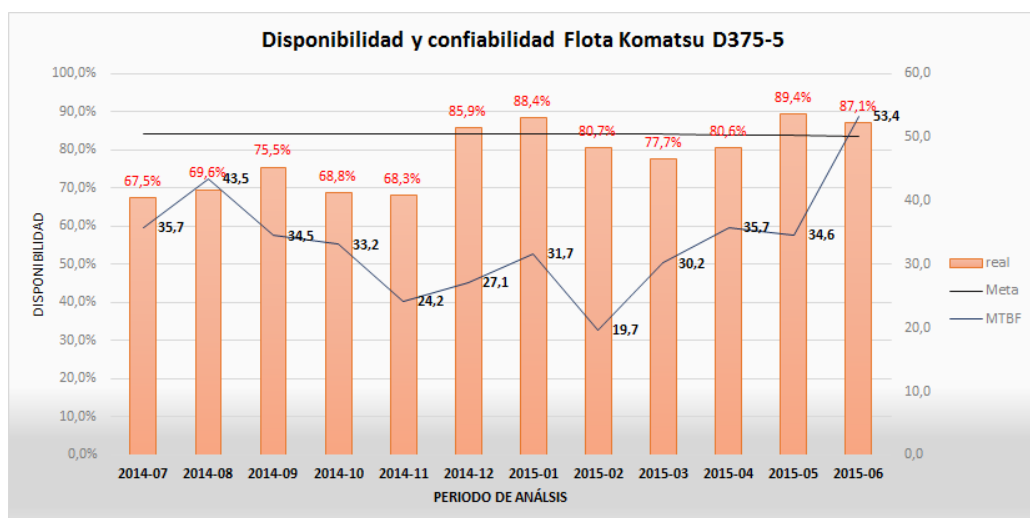


Fuente. Elaboración propia en base a descarga de datos en equipo

Grafico 3-2. Evolución de alarmas por bajo nivel de refrigerante de motor

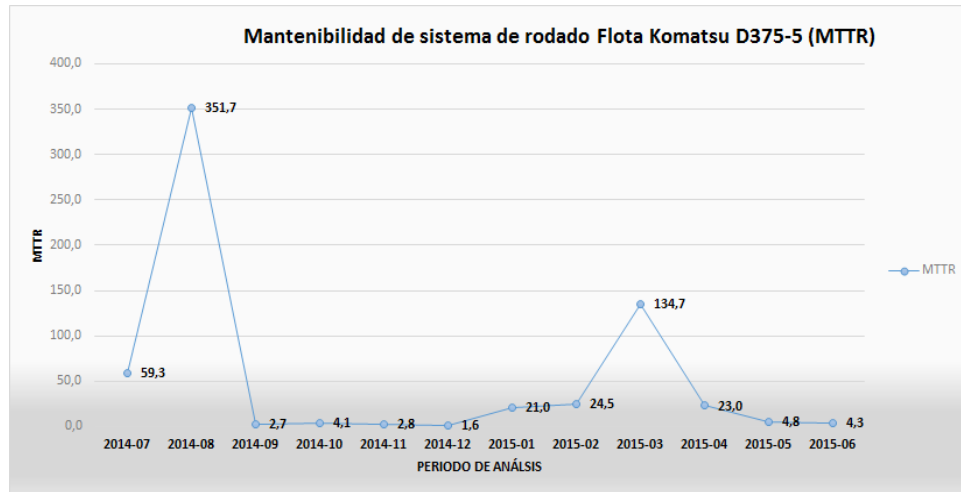
En cuanto al sistema de rodado se logra anticipar los recursos y planificar de mejor forma, los buenos resultados radicaron convertir esta actividad en programada mejorando los tiempos de ejecución de los trabajos.

Se mejora la gestión de recursos en la solicitud de los elementos que componen el rodado, con la inspecciones se logra detectar el desgaste prematuro o indicios de daños,



Fuente. Elaboración propia en base a datos descargados de software RM+Care

Grafico 3-3. Evolución de indicadores de gestión



Fuente. Elaboración propia en base a datos descargados de software RM+Care

Grafico 3-4. Evolución de la mantenibilidad del sistema tren de rodado

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la elaboración de este trabajo se ha tenido en cuenta la metodología para el Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), considerado como un procedimiento que identifica las funciones de los sistemas, la forma en la que estas funciones pueden dejar de cumplirse y que establece con cierta precisión las actividades apropiadas del mantenimiento preventivo, basadas siempre en decisiones y consideraciones que tienen que ver con las consecuencias que la ocurrencia de los fallos traen consigo.

El objetivo del primer capítulo, fue mostrar la organización de Komatsu en faena Andina y sus estrategias para el mantenimiento preventivo, las fallas relacionadas a la operación y el marco teórico del mantenimiento centrado en la confiabilidad, bajo este contexto se evidencia los problemas de confiabilidad de la flota de tractores sobre oruga y la necesidad de soluciones, motivo para desarrollar e implementar este trabajo. No obstante el RCM en faena Andina se presentó como una alternativa de análisis y acciones, no se trató de imponer, siempre con la idea de mostrar a la organización que existen formas y técnicas para conducir y precisar las actividades en pos de la confiabilidad del equipo.

Como recomendaciones generales, si se está en la búsqueda de innovaciones o de hacer cosas distintas, en pos de la mejora del mantenimiento, considerando una implantación del RCM, principalmente se debe contar con el apoyo de la dirección de la organización, es decir, la implantación del RCM debe considerarse dentro de la estrategia de la empresa y no como una iniciativa aislada del área de mantenimiento, no pretender resolver los problemas en forma individual, sacar provecho a los recursos humanos que cuenten con la formación y experiencia adecuada.

En el segundo capítulo se logra constituir el grupo de análisis con el recurso humano asignado, esencial para el desarrollo de la metodología RCM, destacando el rol del facilitador, que sin ser especialista en algún equipo o sistema, puede conducir al grupo a una muy bien orientada toma de decisiones, cabe destacar, que en esta etapa fue una difícil misión involucrar en este proceso al personal del mantenimiento, asimismo, en la formación en la metodología, se debió lograr motivar a estas personas, generado en ellas el compromiso y disciplina necesario para la implementación. El tratar de aplicar al pie de la letra el RCM, como la norma lo indica, requirió un esfuerzo adicional de parte del grupo, ya que cada uno estaba acostumbrado a su propio estilo tratar los problemas de la confiabilidad operacional, principalmente, porque la contingencia de la faena casi siempre rompía los esquemas, desviaba los recursos y la planificación. De aquí surge otra recomendación en la aplicación de la metodología, se debe tener conciencia en no sobrecargar de tareas a las anteriores rutinas de mantenimiento, ya que durante el proceso

en algunos casos, para realizar estas actividades, los equipos necesitaron más tiempo de lo que se estaba acostumbrado, esto bajo ciertas miradas hacía peligrar el cumplimiento de los programas, por lo tanto, para las actividades que surgen de la puesta en marcha del RCM, deben ser muy justificadas y fundamentadas.

Se logra concluir que la calidad de la información e involucrar a los técnicos es fundamental para asegurar un buen análisis, es esencial contar con una buena base de datos con detalles relevantes de las actividades preventivas y correctivas asociadas a cada equipo en forma particular, esto se confirmó durante el proceso y fue esto uno de los problemas principales en el desarrollo.

El RCM resume y documenta el conocimiento de la organización sobre las condiciones de los sistemas y sus modos de fallo en el contexto operacional. Fue clave el uso del recurso informático *RM+Care*, en él se adicionaron las primeras actividades, el seguimiento y la retroalimentación del proceso, esto evitó que este conocimiento cayera en el olvido o quedara solo en algunos miembros y logró alinear a las distintas áreas de la organización.

Se consigue que las tareas propuestas lograran el objetivo principal del trabajo, que era mejorar la confiabilidad de la flota en comparación del anterior periodo (segundo semestre 2014), el tiempo medio entre fallas MTBF, aumentó como promedio 13,1 horas, causado por la reducción de la frecuencia de falla en los sistemas identificados y el aumento de las horas en operación.

Al incluir nuevas actividades al mantenimiento preventivo, en un principio hacía pensar que iban a reducir o comprometer la disponibilidad de la flota, pero por el hecho de que estas condiciones o actividades se detectaban anticipadamente, seleccionadas en forma precisa y consideradas en la planificación, hizo mejorar la mantenibilidad general de los equipos y que el indicador experimentara un aumento de 11,3 %.

Desde el punto de vista económico, la implementación y las actividades no requirieron gastos adicionales, se ocuparon solo los recursos disponibles.

Contractualmente se evitaron multas por incumplimiento de indicadores y la satisfacción del cliente.

Los equipos mostraron un aumento cerca de 1.200 horas operacionales, esto generó por un lado ganancias directas, debido a que el contrato estipula una tarifa por cada hora que opera el equipo y de paso hizo que disminuyera el costo del mantenimiento por hora.


En definitiva cualquier proceso que se tome en pos de la confiabilidad de los equipos siempre tendrá un resultado positivo. Se espera que en un futuro, se pueda usar este trabajo como base, en caso que la organización requiera replicar el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) a otros modelos de equipos.

BIBLIOGRAFÍA

1. JOHN MOUBRAY. RCM II. (Reliability-centred maintenance). Mantenimiento centrado en confiabilidad. Segunda edición. Publicado por Aladon LCC. Asheville, North Carolina. USA. 2000
2. Manual de servicio Tractor oruga Komatsu D375-5. Disponible en Komatsu Chile S.A. Americo Vespucio 0301. Santiago. Chile
3. SAE INTERNATIONAL. Norma para vehículos aeroespaciales y de superficie SAE JA1011. [en línea]. [Consulta: Noviembre de 2015]. Disponible en: http://standards.sae.org/ja1011_199908/
4. FACULTAD DE INGENIERÍA – UNIVERSIDAD DE TALCA. Confiabilidad operacional de equipos, metodologías y herramientas /Fernando Espinosa Fuentes. [en línea]. [Consulta: Noviembre de 2015]. Disponible en: <http://campuscurico.utalca.cl/#/>
5. SAE INTERNATIONAL. SAE JA 1012: 2002. A guide to the Reliability Centered Maintenance (RCM) standard. [en línea]. [Consulta: Noviembre de 2015]. Disponible en: http://standards.sae.org/ja1012_200201/
6. MANTENIMIENTO MUNDIAL. La evaluación de tareas en un proceso de mantenimiento centrado en la confiabilidad, (Ing. Luis Felipe Sexto). [en línea]. [Consulta: Noviembre de 2015]. Disponible en: http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/rcm_sexto_mm20.pdf


ANEXOS

ANEXO A: HOJA DE REGISTROS DE REPARACIÓN Y BACK LOG



KOMATSU Chile S.A.

HOJA DE REGISTROS



FECHA:

FAENA:

EQUIPO:

Tarea Backlog

HORÓMETRO DE INICIO:

HORÓMETRO DE TÉRMINO:

PLANIFICADO:

FOLIO:

HORA DE INICIO:

HORA DE TÉRMINO:

IMPREVISTO:

¿Hay riesgo inmediato a las personas al medio ambiente o equipo?

SI: NO:

¿Cuántos días puede seguir operando?

0 días

1 - 7 días

8 - 15 días

16 - 45 días

Mayor 45 días (repuesto)

Criticidad

INMEDIATA

ALTA

MEDIA

BAJA

ORIGEN DEL TRABAJO

<input type="checkbox"/> MP <input type="checkbox"/> PM CLINIC <input type="checkbox"/> SCAA	<input type="checkbox"/> AVISO DE OPERADOR <input type="checkbox"/> INSPECCIÓN DIARIA <input type="checkbox"/> ALARMA VHMS U OTROS SISTEMAS <input type="checkbox"/> CONFIABILIDAD EN TERRENO <input type="checkbox"/> MANTENIMIENTO EN TERRENO
--	---

PAUSAS DURANTE LA EJECUCIÓN DEL TRABAJO

Tiempo de pausa (en horas)	Detalle de pausas (Traslado, Colación, Tronadura, Entrega área, Firma dctos., Espera de nave, etc.)
1	
2	
3	
4	
5	

¿CUÁL ES EL PROBLEMA QUE PRESENTA EL EQUIPO?

¿QUÉ TRABAJOS SE EJECUTARON(ÁN) PARA DETECTAR LA CAUSA DEL PROBLEMA? (mediciones, análisis de datos, pruebas técnicas u operativas, etc)

¿CUÁL FUE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA? (una frase)

CAMBIO DE REPUESTOS N° OS/Reserva SAP:

Número de parte	Cantidad

CAMBIO/RELLENO LUBRICANTES Y REFRIGERANTES

Cantidad litros	Cambio/Relleno	Tipo de Aceite

REQUERIMIENTOS BACKLOG oras de detención:

Cant. Técnicos:

NOMBRE DE TÉCNICOS:

TIPO DE TAREA (completar con el supervisor)

<input type="checkbox"/> PM Mantenimiento preventivo	<input type="checkbox"/> CC Cambio de componente	<input type="checkbox"/> ADR Reparación daños por accidente (clien
<input type="checkbox"/> MN Reparaciones generales	<input type="checkbox"/> W Garantía	<input type="checkbox"/> UN Excluidos cliente (Sin Asignar)

RESPONSABILIDAD TAREA (uso exclusivo supervisor)

Komatsu Cummins

Cliente Sin tiempo

DETALLES DEL CIERRE (uso exclusivo supervisor)

Hora del llamado: Hora de entrega del equipo:

Observación:

Generado por:

V'B* Supervisor Komatsu

ANEXO B: CODIFICACIÓN

CÓDIGO DE COMPONENTE (VER HQIA EQUIPOS)

.....



CÓDIGO POSICIÓN

LH Izquierda	LHI Interior Izquierdo	L04 Posición Izquierda 4
RH Derecha	RHI Interior Derecho	L05 Posición Izquierda 5
FR Frontal	LHD Exterior Izquierdo	L06 Posición Izquierda 6
CR Centro	RHD Exterior Derecho	L07 Posición Izquierda 7
RR Trasera	N1 Posición 1	L08 Posición Izquierda 8
FLH Frontal Izquierdo	N2 Posición 2	R01 Posición Derecha 1
FRH Frontal Derecho	N3 Posición 3	R02 Posición Derecha 2
CLH Centro Izquierdo	N4 Posición 4	R03 Posición Derecha 3
CRH Centro Derecho	N5 Posición 5	R04 Posición Derecha 4
RLH Trasera Izquierda	N6 Posición 6	R05 Posición Derecha 5
RRH Trasera Derecha	N7 Posición 7	R06 Posición Derecha 6
TOP Arriba	N8 Posición 8	R07 Posición Derecha 7
BOT Abajo	L01 Posición Izquierda 1	R08 Posición Derecha 8
INN Interior	L02 Posición Izquierda 2	
OUT Exterior	L03 Posición Izquierda 3	

CÓDIGO SÍNTOMA

PM Servicio de Mantenimiento	VHM Alamas-SCAA-GE-Otros	KF No/Sin Carga
SCH Programa de Recambio	ASN Ruido Anormal	H Fisura
AA Fuga de Aceite	P@A7 No Retardo	ZH Fracturado
AC Fuga de Combustible	P@AS Sin Propulsión/Tracción	GE Juego Excesivo
AD Fuga de Grasa	KK Bajo Voltaje	LOO Suelto
AE Fuga de Agua	KR Error de Comunicación	VIB Vibración
AF Fuga de Anticongelante	OVE Sobrecalentamiento	BEN Deformado / Doblado
AH Fuga de Gas	BLA Humo: Negro/Blanco/Azul	PB Ajuste Incorrecto
AJ Fuga Gases de Escape	DIL Consumo Incorrecto Petróleo	N2 Sin Falla / Revisión
AL Fuga de Aire	PUN Pinchado / Corte Neumático	CANT Sin Poder Bloquear
MC Accionamiento Defectuoso		ZG Baja Presión
HAR Dura o Blanda: Dirección/Suspensión		LOS Sin Movimiento
LOW Baja Potencia / Equipo de Trabajo Lento		CE Desgaste
DUS Contaminado (Entrada de polvo, agua, aceite) / Saturado		MQ Perdido
CAN No puede Levantar/Girar/Descargar/Direccionar/Frenar		SHD Corto Circuito
A/C Mal Funcionamiento Aire Condicionado		FQ Quemado

CÓDIGO CAUSA

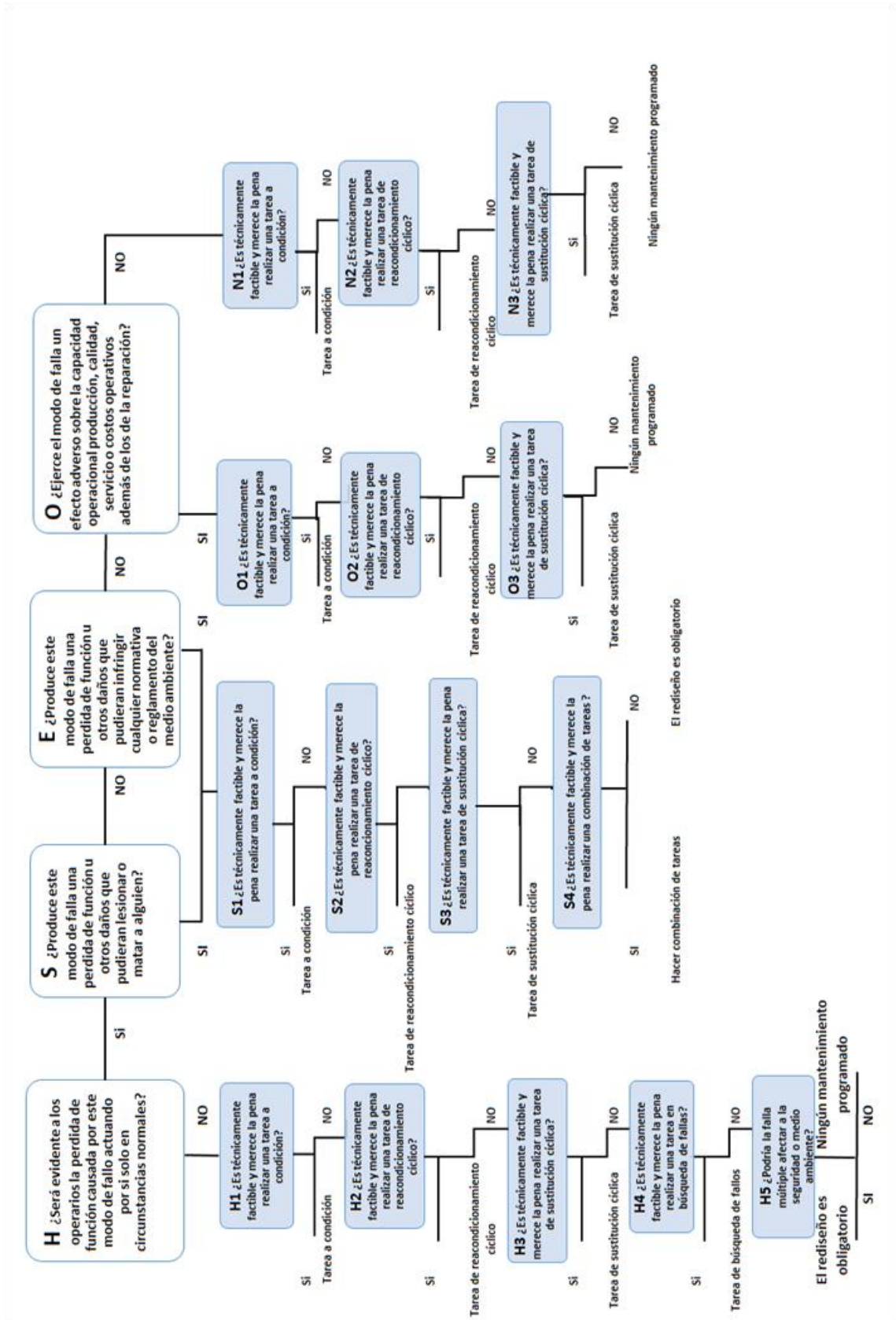
QA Mantenimiento	BA Entrada de Aceite	DII Inspección Diaria
DH Vida Útil	BC Entrada de Combustible	WII Inspección Semanal
DA Deterioro	BE Entrada de Agua	PPI Inspección Pre-Mantenimiento
KJ Falta de Capacidad	BL Entrada de Polvo	PM Servicio de Mantenimiento
D Duido / Detenoreo	BN Entrada de Material Extraño	PC PM Clinic (Equipo de Apoyo)
PS Partes Defectuosas	ZB Sucio Excesivo	CC Recambio de Componente
MG Fuerza de Operación Anormal	MV Interferencia	MJ Reparación Mayor (Componente Mayor)
PG Soldadura Defectuosa	KC Luz Defectuosa	MN Reparación Menor (Componente Menor)
PH Instalación Defectuosa	QB Diseño Incorrecto	GR Reparación General (Repuestos)
PJ Instalación Partes Equivocadas	QC Uso Incorrecto	ADR Reparación por Daños en Accidente
PG Rotura Interna / Cortado	QF Sello Deteriorado o Dañado	PI Mejora del Producto
QD Accidente	PN Mal Montaje de Partes	RF Reabastecimiento de Combustible
KG Sobre Cargado		WS Lavado
PA Contacto Interno		SC Sub Contrato
PM Maquinado Defectuoso / Rayado		AC Reporte
P@A6 Baja Aislación (Falla a Tierra)		UN Sin Asignar
QE Reparación / Ajuste / Torqueo Incorrecto		T Pruebas / Mediciones
DUS Contaminado (Entrada de polvo, agua, aceite) / Saturado		FR Relleno / Drenaje de Fluidos

ANEXO C: CODIFICACIÓN

		Causas													
		Redo la culata, el empuje de culata	Grietas en el interior del bloque de cilindros	Dañado el anillo -> de la camisa del cilindro, agujeros causados por picadura	Obstrucción, roto el enfriador de aceite	Falta de agua de enfriamiento	Obstruido el núcleo del radiador	Obstruidas, o aplastadas las aletas del radiador	Defectuosa la tapa del radiador (válvula de presión)	Correa de ventilador pelada, desgaste de la peña del ventilador	Rotura en la bomba de agua	Defectuosa la operación del termostato	Defectuoso el medidor de la temperatura del agua	Continúa en la temperatura del aceite del tren de potencia debido a fallas en el volumen del chasis	
Preguntas	Confirmar reciente historia de reparaciones														
	Grado de uso	Operado durante largo periodo	△	△											
	Condición de recalentamiento	Sobrecalentado súbitamente				○									
		Siempre tiende a sobrecalentarse				⊗	⊗								
	Indicador de temperatura del agua	Se eleva rápidamente								○					
		No se baja del rango rojo										⊗			
	Se enciende la Luz de la lámpara de precaución de nivel de agua del radiador (máquinas equipadas con lámpara de precaución)														
	Items de comprobación	Ha subido el nivel de aceite del motor, el aceite está blancuzco		⊗	⊗	○									
		Aceite blancuzco flota en el agua de enfriamiento				⊗									
		Excesivas burbujas de aire dentro del radiador, el agua sale en borbotones		⊗											
		Cuando se sostiene un bombillo encendido detrás del radiador, la luz no pasa al través								○					
		Las guardas que encierran el radiador, adentro del interior bajo están obstruidas por mugre o barro								⊗					
		El agua está escapando por grietas en la manguera o abrazaderas flojas						⊗							
		Cuando se inspecciona la tensión de la correa, se encuentra que está floja									⊗				
		Gime la correa del ventilador bajo carga súbita									⊗				
El agua del enfriamiento Fluye hacia afuera por la manguera de desborde										⊗					
La temperatura del aceite del tren de potencia entra en el rango rojo más rápido que la temperatura del agua del motor														⊗	
Localización de Fallas		Cuando se mide la presión de la compresión y se encuentra que está baja	●												
		Efectue la prueba de la torsión de apriete de la cabeza de cilindros	●												
		Inspeccione directamente el bloque de cilindros, y las camisas		●	●										
		Inspeccione directamente enfriador de aceite				●									
		Inspeccione directamente el núcleo del radiador						●							
	Cuando la diferencia de temperatura entre los tanques de la parte superior e inferior del radiador son medidas, se encuentra que son ligeros							●							
	Efectue prueba del funcionamiento de la tapa del radiador (Presión de disparo)								●						
	Cuando la diferencia de temperatura entre los tanques de la parte superior e inferior del radiador son medidas, se encuentran excesivos										●				
	Efectue las pruebas de funcionamiento del termostato (Presión de disparo)											●			
	Cuando se mide la temperatura de agua, se encuentra que está normal												●	★ 1.	
Remedio	Sustituir	Sustituir	Sustituir	Sustituir	Añadir	Reparar	Reparar	Sustituir	Reparar	Sustituir	Sustituir	Sustituir	—		

★ 1. Efectúe la localización de fallas en el volumen del chasis

ANEXO D: DIAGRAMA DE DECISIÓN



ANEXO E: DATOS TÉCNICOS

D375A-5 BULLDOZER SOBRE ORUGAS

DATOS TÉCNICOS



MOTOR

Modelo Komatsu SAA6D170E-3
 Tipo Inyección directa de 'common rail', refrigerado por agua, turbocompresor y postenfriado por aire, con control de emisiones de escape

Potencia del motor
 A las revoluciones del motor 1.800 rpm
 ISO 14396 452 kW / 606 HP
 ISO 9249 (potencia neta del motor) 391 kW / 524 HP

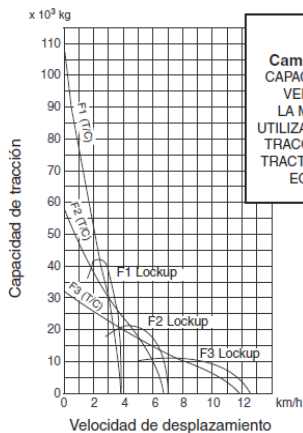
Nº de cilindros 6
 Diámetro x carrera 170 x 170 mm
 Cilindrada 23,15 l
 Controlador Todas velocidades, electrónico
 Tipo ventilador del radiador Hidráulico
 Sistema de lubricación
 Método Bomba de engranajes, lubricación a presión
 Filtro Flujo total



TRANSMISIÓN TORQFLOW

Tipo Komatsu TORQFLOW
 Convertidor de par De 3 elementos, 1 etapa, 1 fase, enfriado por agua con bloqueo del convertidor de par
 Transmisión Por embrague de engranaje planetario y múltiples discos, accionada hidráulicamente, lubricada a presión
 La palanca de bloqueo del cambio de velocidad y el interruptor de seguridad en punto muerto evitan que el vehículo pueda sufrir arranques accidentales.

Velocidades de desplazamiento	Marcha adelante	Marcha atrás
1ª	3,5 km/h	4,6 km/h
2ª	6,8 km/h	9,2 km/h
3ª	11,8 km/h	15,8 km/h



MEDIO AMBIENTE

Emisiones del motor Cumple totalmente las normas sobre emisión EU Stage IIIA y EPA Tier III

Niveles de ruido
 LwA ruido externo 113 dB(A) (2000/14/EC)
 LpA ruido interior 77 dB(A) (ISO 6396 medición dinámica)



SISTEMA DE DIRECCIÓN

Tipo Sistema de dirección de embrague y freno
 Control de la dirección Palanca PCCS
 Frenos de dirección Húmedos, de disco múltiple, controlados por pedal, activados por muelle y soltados hidráulicamente
 Interconectados con el embrague de la dirección
 Embragues de la dirección Húmedos, de disco múltiple, controlados por palanca
 Interconectados con frenos de dirección
 Frenos de servicio Frenos de dirección funcionan como frenos de servicio, controlados por pedal
 Radio mínimo de giro (contrarotación)
 (Medido en las marcas de las orugas sobre el firme) 4,2 m



TREN DE RODAJE

Suspensión Barra compensadora de oscilación y eje pivoteador
 Chasis de rodamiento de oruga Monocasco, sección grande, construcción duradera
 Rodamientos y piñones Rodamientos de orugas lubricados
 Tren de rodaje tipo K-bogie Los rodillos lubricados de las orugas están firmemente montados al bastidor mediante una serie de rodillos tipo K-bogie
 Orugas Lubricadas, totalmente selladas
 Tensión Combinación de unidad hidráulica y resorte
 Número de tejas (a cada lado) 41
 Altura de la garra (garra simple) 93 mm
 Ancho de la zapata (estándar) 610 mm
 Área de contacto con el suelo 48.560 cm²
 Rodillos de rodadura (cada lado) 8
 Rodillos superiores (cada lado) 2

Tejas para servicio extremo	Peso adicional	Área de contacto con el suelo
710 mm	680 kg	56.520 cm²
810 mm	1.360 kg	64.480 cm²



CAPACIDADES

Depósito de combustible 1.050 l
 Radiador 120 l
 Aceite motor 86 l
 Convertidor de par, transmisión, rueda cónica y sistema de dirección 150 l
 Mandos finales (cada lado) 65 l
 Hidráulica de la hoja y del ripper 138 l



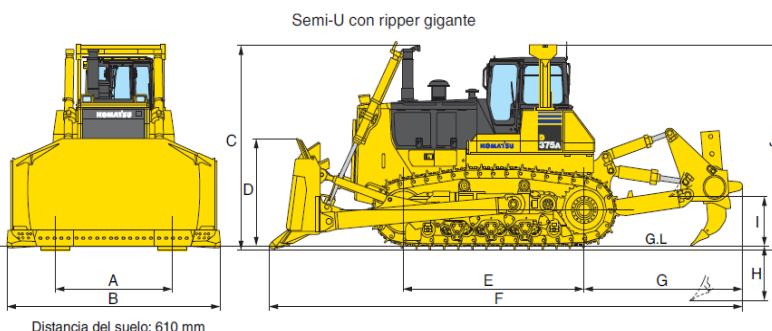
MANDOS FINALES

Tipo Reducción por engranaje cilíndrico de dentadura recta y reducción de engranaje planetario, lubricación por barboteo
 Rueda dentada Las llantas de la rueda cabilla segmentado van atornilladas para una fácil sustitución



DIMENSIONES

	D375A-5
A	2.500 mm
B	4.695 mm
C	4.265 mm
D	2.265 mm
E	3.980 mm
F	10.410 mm
G	3.450 mm
H	1.435 mm
I	1.370 mm
J	4.285 mm



PESO EN OPERACIÓN (VALORES APROXIMADOS)

Incluyendo hoja de inclinación en semi-U reforzada (EX), ripper gigante, cabina de acero, estructura antivuelco ROPS, conductor, equipo estándar, capacidad nominal de lubricante, refrigerante y depósito de combustible lleno.

Peso operativo 69.560 kg



SISTEMA HIDRÁULICO

Tipo Sistema Load Sensing de centro cerrado
 Todas las válvulas de carrete están montadas junto al depósito hidráulico.
 Bomba principal Bomba de engranajes
 Máximo caudal de la bomba 405 l/min
 Tara de las válvulas de descarga 210 kg/cm²
 Válvulas de control de carrete para hoja en semi-U y hoja en U
 Subir hoja Levantar, mantener, bajar y flotar
 Inclinación hoja Derecha, mantener e izquierda
 Válvula de control adicional requerida para ripper
 Levantar ripper Levantar, mantener y bajar
 Inclinación ripper Aumentar, mantener y disminuir
 Cilindros hidráulicos Doble acción, pistón
 Número de cilindros x diámetro
 Subir hoja 2 x 150 mm
 Inclinación hoja (única inclinada) 1 x 225 mm
 Levantar ripper 2 x 225 mm
 Inclinación ripper 2 x 200 mm



EQUIPAMIENTO RIPPER

Ripper multi-rejones
 Tipo Ripper hidráulico de ángulo variable
 Número de rejones 3
 Peso (incluyendo unidad de control hidráulica) 6.720 kg
 Longitud de haz 2.854 mm
 Elevación máxima sobre el suelo 1.140 mm
 Profundidad máxima de excavación 1.020 mm
 Ripper gigante
 Tipo Ripper hidráulico de ángulo variable
 La profundidad de excavación puede ajustarse en 3 puntos mediante un tirador de botón accionado hidráulicamente.
 Número de rejones 1
 Peso (incluyendo unidad de control hidráulica) 5.470 kg
 Longitud de haz 1.367 mm
 Elevación máxima sobre el suelo 1.470 mm
 Profundidad máxima de excavación 1.370 mm



HOJAS

Las capacidades de hoja están basadas en la práctica recomendada SAE J1265.

	Longitud total con hoja	Capacidad de la hoja	Hoja longitud x altura	Elevación max. sobre el suelo	Caída máx. por debajo del suelo	Inclinación máxima	Peso adicional
Hoja única semi-U inclinada	7.635 mm	18,5 m ³	4.695 x 2.265 mm	1.660 mm	715 mm	1.065 mm	10.910 kg
Hoja reforzada única semi-U inclinada	7.635 mm	18,5 m ³	4.695 x 2.265 mm	1.660 mm	715 mm	1.065 mm	11.640 kg
Hoja doble semi-U inclinada	7.635 mm	18,5 m ³	4.695 x 2.265 mm	1.660 mm	715 mm	1.150 mm	11.290 kg
Hoja reforzada doble semi-U inclinada	7.635 mm	18,5 m ³	4.695 x 2.265 mm	1.660 mm	715 mm	1.150 mm	12.020 kg
Hoja reforzada única U inclinada	8.000 mm	22,0 m ³	5.140 x 2.265 mm	1.660 mm	715 mm	1.065 mm	12.420 kg
Hoja reforzada doble U inclinada	8.000 mm	22,0 m ³	5.140 x 2.265 mm	1.660 mm	715 mm	1.260 mm	12.800 kg

ANEXO F: PAUTA DE INSPECCION DE RODADO EN TERRENO

**PAUTA INSPECCION EN TERRENO
(EXTERNA) D375A-5**

EQUIPO

HOROMETRO INICIAL _____ HORA INICIO _____

FECHA _____

HOROMETRO TERMINO _____ HORA TERMINO _____

MECANICO 1 _____

DURACION MAXIMA

MECANICO 2 _____

SUPERVISOR _____

INSPECCION DE RODADO (UNDER CARRIER)

DESCRIPCION DE LA TAREA	REALIZADO POR					
	BUENO	REGULAR	MALO	PROGRAMAR CAMBIO SI/NO	OBSERVACIONES	
Verificar estado de rodillos y rueda guía. Reportar condición, filtraciones de aceite, pernos de bancada cortados o perdidos.	F					
	R					
Estado de rodillos superiores lado izquierdo	F					
	R					
Estado de rodillos superiores lado derecho	F					
	R					
Estado de rodillos inferiores lado izquierdo	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	8					
Estado de rodillos inferiores lado derecho	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	8					
Estado de rueda guía izquierda						
Estado de rueda guía derecha						
Estado de protecciones						

ESTRUCTURA Y RODADO

ANEXO G: PAUTA DE LAVADO RADIADOR

**PAUTA MANTENCIÓN 250 H
EXTERNA D375A-5**

EQUIPO

HOROMETRO INICIAL _____ HORA INICIO _____

FECHA _____

HOROMETRO TERMINO _____ HORA TERMINO _____

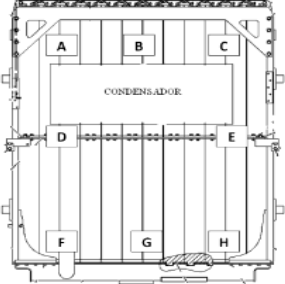
MECANICO 1 _____

DURACION MAXIMA

MECANICO 2 _____

SUPERVISOR _____

MOTOR

	DESCRIPCION DE LA TAREA	REALIZADO POR	PROGRAMAR SI/NO	OBSERVACIONES
RADIADOR	Prueba flujo aire a través del radiador. Valores especificados: Todos los puntos = 40 o mayor Km/H Nota: Los ajustes de los valores del flujo se alcanzan mediante el lavado del radiador.			
		Encontrado		Ajustado
		A		A
		B		B
		C		C
		D		D
		E		E
		F		F
		G		G
		H		H