

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

**PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM (RELIABILITY
CENTRED_MAINTENANCE) CREADO PARA UN CAMIÓN KIROW SPCU90-
100/2 TRANSPORTADOR DE OLLA DE ESCORIA DE COBRE**

Trabajo de Titulación para optar al
Título de TÉCNICO
UNIVERSITARIO en Mecánica
Automotriz

Alumnos:
Christian Olsen Olgún
Luis Quiroz Mata

Profesor Guía:
Roberto Leiva Illanes

RESUMEN

El presente trabajo de titulación está enfocado a la confeccionar un plan de mantenimiento para camiones transportadores olla de escoria, en que a través del sistema RCM (Reliability Centred Maintenance) propicie el óptimo y continuo funcionamiento de dicha maquinaria, logrando también que lector adquiera conocimientos sobre las nuevas técnicas de mantenimiento a través del estudio de la filosofía del mantenimiento centrado en confiabilidad.

Durante los últimos veinte años, el mantenimiento ha cambiado, quizás más que cualquier otra disciplina gerencial. Estos cambios se deben, principalmente, al importante aumento en número y variedad de los activos físicos (planta, equipamiento, edificaciones), que deben ser mantenidos en todo el mundo, diseños más complejos, nuevos métodos de mantenimiento, y una óptica cambiante en la organización del mantenimiento y sus responsabilidades.

Frente al planteamiento anterior, surgen nuevas técnicas y diferentes sistemas de mantenimiento como: Mantención Programada, Mantención Correctiva, Mantención Sintomática y Mantención No-Programada. De las nuevas técnicas de mantenimiento, nace el sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM (Reliability Centred Maintenance), desarrollado en 1974, por la United Airline de Estados Unidos. Este se basa en una metodología de análisis sistemático, documentado y objetivo usado para determinar los requisitos de mantenimiento, según el impacto en la seguridad, operación y costo de cualquier activo físico en su contexto de funcionamiento.

Considerando que este sistema es útil para el desarrollo u optimización de un plan eficiente de mantenimiento, es que Codelco Chile a partir del año 2004, decidió implantarlo como una nueva política de trabajo. En la Fundición de Potrerillos, perteneciente a la División El Salvador surgió la necesidad de confeccionar el plan de mantenimiento desarrollado en el presente trabajo de título, para el camión Kirow modelo SPCU- 90-100/2. Este tiene como función transportar una olla de escoria con 18 toneladas de cobre, desde la nave de fundición hasta los botadores.

La confección del mencionado plan, se efectuó mediante un análisis del camión basado en el sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM, con la confección de hojas de información, hojas de decisión, lista de verificación de mantenimiento, planes de mantenimiento y la creación un programa de mantenimiento. El sustento de este sistema de mantenimiento desarrollado se fundamenta al establecer las ventajas, desventajas, menores costos de mantenimiento y un aumento del umbral real de disponibilidad que el camión entrega al proceso productivo de la fundición.

Se espera, que al implementar este sistema de mantención presentado, la disponibilidad del camión aumente desde un 91% a un 97% aproximadamente.

OBJETIVOS

OBEJETIVO GENERAL

- Confeccionar un plan de mantenimiento para Camiones Kirow modelo SPCU 90-100/2 utilizados por Codelco Chile (División El Salvador), que a través del sistema RCM (Reliability Centred Maintenance) propicie el óptimo y continuo funcionamiento de dicha maquinaria.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Plantear a la fundición de Potrerillos herramientas que permitan modificar su actual sistema de mantención para camiones, a fin de contribuir en que el proceso de fundición de cobre se realice en el tiempo previsto.
- Verificar las ventajas del sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM (Reliability Centred Maintenance) frente al sistema de manutención tradicional que tiene implementado la empresa.
- Complementar los conocimiento adquiridos por los alumnos memoristas con la metodología de trabajo y los beneficios del RCM(Reliability Centred Maintenance)
- Aportar a al carrera de Mecánica Automotriz, teoría que permita conocer el funcionamiento y la ventajas del RCM (Reliability Centred Maintenance)
- Crear un sistema de manutención que, mediante adecuaciones simples, pueda ser puesto en marcha en otro tipo de camiones.

ÍNDICE

RESUMEN

OBJETIVOS

OBEJETIVO GENERAL

OBJETIVOS ESPECIFICOS

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1: ESTADO DEL ARTE DEL MANTENIMIENTO

- 1.1. MANUTENCIÒN
 - 1.1.1. Tipos de manutención
 - 1.1.2. ¿Afecta el costo de mantención la vida útil técnica de una máquina?
 - 1.1.3. Administración de la mantención
- 1.2. DESARROLLO E HISTORIA DE LA MANUTENCIÒN.
 - 1.2.1. Historial de la manutención y desarrollo a través del tiempo.

CAPÍTULO 2: INTRODUCCION AL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM (RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE)

- 2.1. NUEVAS INVESTIGACIONES.
- 2.2. NUEVAS TÉCNICAS
- 2.3. LOS DESAFÍOS DEL MANTENIMIENTO.
- 2.4. MANTENIMIENTO Y RCM (RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE)

CAPÍTULO 3: GENERALIDADES

- 3.1. RCM (RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE): LAS SIETE PREGUNTAS BÁSICAS
 - 3.1.1. Funciones y parámetros de funcionamiento
 - 3.1.2. Fallas funcionales
 - 3.1.3. Modos de falla
 - 3.1.4. Efectos de Falla
 - 3.1.5. Consecuencias de la falla
 - 3.1.6. Tarea Proactivas
 - 3.1.7. Tareas de reacondicionamiento y sustitución cíclicas.
 - 3.1.8. Tarea a condición.
 - 3.1.9. Acciones “a falta de”

3.1.10. El proceso de selección de tareas rcm (reliability centred maintenance).

CAPÍTULO 4: APLICACIÓN DEL PROCESO RCM (RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE).

- 4.1. PLANEAMIENTO
- 4.2. GRUPOS DE ANÁLISIS
- 4.3. FACILITADORES
- 4.4. RESULTADOS DE UN ANÁLISIS RCM (RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE).
- 4.5. IMPLEMENTACIÓN Y AUDITORIA
- 4.6. QUÉ LOGRA EL RCM (RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE)
- 4.7. FUNCIONES
 - 4.7.1. Descripción de funciones
 - 4.7.2. Parámetros de funcionamiento
 - 4.7.3. Parámetros de funcionamiento múltiple.
 - 4.7.4. Parámetros de funcionamiento cuantitativos.
 - 4.7.5. Parámetros cualitativos.
 - 4.7.6. Parámetros de funcionamiento absolutos.
 - 4.7.7. Parámetros de funcionamiento variables.
 - 4.7.8. Límites superiores e inferiores.
 - 4.7.9. El contexto operacional
 - 4.7.10. Documentación del contexto operacional

CAPÍTULO 5: CREACIÓN DE LA HOJA DE INFORMACIÓN “AMFE” (FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS)

- 5.1. TIPOS DE FUNCIONES
 - 5.1.1. Funciones primarias
 - 5.1.2. Funciones secundarias
- 5.2. COMO SE DEBEN REGISTRARSE LAS FUNCIONES
- 5.3. FALLAS FUNCIONALES
- 5.4. PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO Y FALLAS
- 5.5. FALLA TOTAL O PARCIAL
- 5.6. LÍMITES SUPERIORES E INFERIORES
- 5.7. ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA Y SUS EFECTOS
 - 5.7.1. ¿Qué es un modo de falla?
 - 5.7.2. ¿Porqué analizar modo de falla?
- 5.8. FUENTE DE INFORMACIÓN ACERCA DE MODOS Y EFECTOS

- 5.8.1. El fabricante o proveedor del equipo
- 5.8.2. Lista genérica de modos de falla
- 5.8.3. Una hoja de información completa “amfe” (failure mode and effect analysis)

CAPÍTULO 6: ELABORACIÓN DE LA HOJA DE TOMA DE DECISIONES RCM (REALIABILITY – CENTRED MAINTENANCE)

- 6.1. FUNCIONES OCULTAS Y EVIDENTES
 - 6.1.1. Consecuencias para la seguridad y el medio ambiente
 - 6.1.2. Consecuencias operacionales
 - 6.1.3. Consecuencias no operacionales
 - 6.1.4. Tareas proactivas
- 6.2. CUANDO VALE LA PENA REALIZAR TAREAS A CONDICIÓN
- 6.3. SELECCIÓN DE TAREAS PROACTIVAS
 - 6.3.1. Orden básico para seleccionar tareas proactivas
- 6.4. ACCIONES “A FALTA DE”
 - 6.4.1. Búsqueda de falla
- 6.5. EL PROCESO DE DECISIÓN DE RCM(RELIABILITY – CENTRED MAINTENANCE)
 - 6.5.1. Consecuencias de la falla
 - 6.5.2. Tareas preactivas
 - 6.5.3. la pregunta “a falta de”
 - 6.5.4. Tarea propuesta
 - 6.5.5. Intervalo inicial
 - 6.5.6. “Puede ser realizado por”
 - 6.5.7. Llenado de la hoja de decisión

CAPÍTULO 7: IMPLEMENTACIÓN DE LAS RECOMENDACIONES DE RCM

- 7.1. IMPLEMENTACIÓN “LOS PASOS CLAVE”
- 7.2. LA AUDITORÍA DE RCM
 - 7.2.1. Quién debe realizar la auditoria
 - 7.2.2. Cuándo debe hacerse la auditoria
 - 7.2.3. En qué consiste la auditoria
- 7.3. DESCRIPCIONES DE TAREAS
- 7.4. INSTALANDO “CAMBIOS DE ÚNICA VEZ”
- 7.5. PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS ESTÁNDAR
 - 7.5.1. Programa de mantenimiento

7.6. SISTEMAS DE PLANEAMIENTO Y CONTROL DE LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO

7.6.1. Programas a ejecutar por los operadores

7.6.2. Programas y chequeos de calidad

7.6.3. Programas de tareas de alta frecuencia a realizar por mantenimiento

7.6.4. Programas de baja frecuencia hechos por mantenimiento

7.7. INFORMACIÓN SOBRE DEFECTOS

CAPÍTULO 8: CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE DE CHILE

8.1. ORGANIZACIÓN

8.2. FINANZAS

8.3. CIFRAS DE CODELCO.

8.3.1. ¿Producción y excedentes de codelco desde el año 1990 a la fecha?

8.4. PREGUNTAS COMUNES

8.5. DIVISIÓN EL SALVADOR

CAPÍTULO 9: PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM (RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE) PARA CAMION KIROW SPCU 90-100/2 TRANSPORTADOR DE OLLA DE ESCORIA DE COBRE

9.1. FUNCIONES PRINCIPALES (EL POR QUÉ DE LA ADQUISICIÓN DEL ACTIVO)

9.1.1. Funciones secundaria

9.2. HOJAS DE INFORMACIÓN

9.3. HOJAS DE DECISIÓN

9.4. DESARROLLO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

9.4.1. Confección del programa de mantenimiento

9.4.2. Tablas del mantenimiento programado

9.4.3. Lista de verificación de mantenimiento

CAPITULO 10: SUSTENTABILIDAD DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM (RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE)

10.1. DISPONIBILIDAD

10.2. ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD REAL QUE ENTREGA EL CAMIÓN KIROW SPCU 90-100/2 AL PROCESO PRODUCTIVO DE FUNDICIÓN DE POTRERILLOS

10.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM (RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE)

- 10.3.1. Ventajas
- 10.3.2. Desventajas
- 10.3.3. Tablas de reparación

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

FUENTES DE INFORMACION

ADICIONALES

ANEXOS

ANEXO 1: EL INTERVALO P-F

ANEXO 2: DESCRIPCIÓN DEL CAMIÓN TRANSPORTADOR DE ESCORIA
DETALLADA POR CARACTERÍSTICAS Y SISTEMAS.

ANEXO 3: PLAN MATRIZ DE MANTENIMIENTO UTILIZADO POR
CODELCO

ANEXO 4: LISTADO DE REPUESTOS RECOMENDADOS

ANEXO 5: HISTORIAL DE FALLA CAMION KIROW SPUCU 90-100/2

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Expectativas de mantenimiento crecientes
Tabla 2-1:	Cambios en las técnica de mantenimiento.
Tabla 5-1:	Descripción de funciones
Tabla 5-2:	Modos de falla de una bomba.
Tabla 5-3:	Hoja de información completa AMFE (FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS)
Tabla 6-1:	Hoja de Decisión RCM con muestras de textos a inscribir
Tabla 6-2:	“Acciones a falta de”
Tabla 6-3:	La Hoja de Decisión de RCM (Reliability – Centred Maintenance)
Tabla 6-4:	Correlación de referencias entre las Hojas de Información y las Hojas de Decisión
Tabla 6-5:	El Diagrama de Decisión RCM (Reliability – Centred Maintenance)
Tabla 6-6:	Cómo se registran las consecuencias de falla en la hoja de decisión
Tabla 6-7:	Consecuencias de falla – un resumen
Tabla 6-8:	Criterios de facilidad técnica
Tabla 6-9:	Las preguntas “a falta de”
Tabla 7-1:	Luego del RCM
Tabla 7-2:	Transferencia de tareas de la Hoja de Decisión a SOP.
Tabla 7-3:	Transfiriendo tareas de una hoja de decisión a un programa de mantenimiento.
Tabla 7-4:	Consolidación de frecuencia de tareas.
Tabla 7-5:	Un ejemplo de programas de mantenimiento de alta frecuencia.
Tabla 7-6:	Un típico tablero de planeamiento de baja frecuencia.
Tabla 7-7:	Un típico pedido de trabajo.
Tabla 8-1:	Tabla de cifras financieras.
Tabla 8-2:	Cifras de producción y excedentes Codelco desde 1990 hasta 2004
Tabla 9-1:	Hoja de información RCM N° 1.
Tabla 9-2:	Hoja de información RCM N° 2
Tabla 9-3:	Hoja de información RCM N° 3.
Tabla 9-4:	Hoja de información RCM N° 4.
Tabla 9-5:	Hoja de información RCM N° 5.
Tabla 9-6:	Hoja de información RCM N° 6.
Tabla 9-7:	Hoja de información RCM N° 7.
Tabla 9-8:	Hoja de información RCM N° 8.

- Tabla 9-9: Hoja de información RCM N° 9.
- Tabla 9-10: Hoja de información RCM N° 10.
- Tabla 9-11: Hoja de información RCM N° 11.
- Tabla 9-12: Hoja de información RCM N° 12.
- Tabla 9-13: Hoja de información RCM N° 13.
- Tabla 9-14: Hoja de información RCM N° 14.
- Tabla 9-15: Hoja de información RCM N° 15.
- Tabla 9-16: Hoja de información RCM N° 16.
- Tabla 9-17: Hoja de información RCM N° 17.
- Tabla 9-18: Hoja de Decisión RCM N° 1.
- Tabla 9-19: Hoja de Decisión RCM N° 2.
- Tabla 9-20: Hoja de Decisión RCM N° 3.
- Tabla 9-21: Hoja de Decisión RCM N° 4.
- Tabla 9-22: Hoja de Decisión RCM N° 5.
- Tabla 9-23: Hoja de Decisión RCM N° 6.
- Tabla 9-24: Confección del Programa de Mantenimiento
- Tabla 9-25: Verificación Diaria:
- Tabla 9-26: Verificación 100 Horas:
- Tabla 9-27: Verificación 200 Horas:
- Tabla 9-28: Verificación 600 Horas:
- Tabla 9-29: Verificación 1200 Horas:
- Tabla 9-30: Lista de verificación Diaria
- Tabla 9-31: Lista de verificación 100 horas
- Tabla 9-32: Lista de verificación 200 horas:
- Tabla 9-33: Lista de verificación 600 horas
- Tabla 9-34: Lista de verificación 1200 horas
- Tabla 10-1: Tabla de fallas, frecuencia y porcentajes.
- Tabla 10-2: Tabla de cálculos para la Disponibilidad real, mantención Codelco.
- Tabla 10-3: Tabla de cálculos para la Disponibilidad real y pérdidas, mantención Codelco.
- Tabla 10-4: Tabla de cálculos para la Disponibilidad real, mantención RCM.
- Tabla 10-5: Tabla de cálculos para la Disponibilidad real y pérdidas, mantención RCM.
- Tabla 10-6: Costo de la reparación al no haber realizado la mantención programada diaria.
- Tabla 10-7: Costo de la reparación al no haber realizado la mantención programada que corresponde a las 100 Horas

Tabla 10-8: Costo de la reparación al no haber realizado la mantención programada que corresponde a las 200 Horas

Tabla 10-9: Costo de la reparación al no haber realizado la mantención programada que corresponde a las 600 Horas

Tabla 10-10: Costo de la reparación al no haber realizado la mantención programada que corresponde a las 1200 Horas

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4-1: Conformación típica de un grupo de análisis RCM

Figura 4-2: Camión Transportador de Escoria.

Figura 5-1: Camión Kirow transportador de olla de escoria de cobre

Figura 5-2: Nave de fundición

Figura 5-3: Botaderos de escoria

Figura 6-1: El proceso de selección de tareas

Figura 8-1: Faena de extracción del cobre

Figura 8-2: Trabajadores

Figura 8-3: Faena Minera

Figura 8-4: Producto Proceso Fundición Cobre.

Figura 8-5: Mina El Salvador.

Figura 8-6: Fundición Potrerillos

Figura 8-7: Convertidor

Figura 8-8: Horno Limpieza de escoria

Figura 8-9: Horno Limpieza escoria de cobre

Figura 8-10: Hornos de Ánodo

Figura 8-11: Planta de Ácidos para procesar gases

Figura 10-1: Esquema proceso productivo Fundición Horno limpieza escoria (HLE)

Figura 10-2: Diagrama de tiempo trabajo camión

Figura 10-3: Diagrama de tiempo para calcular Disponibilidad Real del día 26 de Febrero 2004

ÍNDICE DE GRÁFICOS

- Grafica 2-1: Plan de mantención y tipos de mantenimientos usados en las tres generaciones
- Grafica 3-1: Grafico de falla a intervalos regulares.
- Grafica 3-2: Gráfico tipo de falla A
- Grafica 3-3: Gráfico tipo de falla B
- Grafica 3-4: Gráfico tipo de falla C
- Grafica 3-5: Gráfico tipo de falla D
- Grafica 3-6: Gráfico tipo de falla E
- Grafica 3-7: Gráfico tipo de falla F
- Grafica 3-8: Gráficos de distintos tipos de fallas.
- Grafica 4-1: Ilustra la relación correcta entre esta capacidad y el funcionamiento deseado.
- Grafica 4-2: Grafico de un activo físico mantenible.
- Grafica 4-3: Grafico de parámetros de funcionamiento variables
- Grafica 4-4: Variaciones de capacidad de esta naturaleza usualmente varían alrededor de una media.
- Grafica 5-1: La capacidad solamente excede el límite superior
- Grafica 5-2: La capacidad va más allá de los límites superiores e inferiores.
- Gráfica 10-1: Gráfico de Distribución de Fallas.
- Gráfica 10-2: Gráfico de Distribución de Fallas con RCM.

INTRODUCCIÓN

Es ampliamente conocido que a nivel industrial, la gran mayoría de cualquier activo físico posee más de una función. Por lo mismo, cuando este presenta algún desperfecto, la dinámica propia de la organización industrial se ve afectada, ya sea a nivel de producción, atención al cliente, seguridad del personal y/o del medio ambiente.

Lo anterior, pone de manifiesto que la clave estaría en prevenir cualquier desperfecto, a modo de utilizar el tiempo y los recursos necesarios para la reparación en alguna otra tarea más rentable.

Frente al planteamiento anterior, surge el sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM (Reliability Centred Maintenance), desarrollado en 1974, por la United Airline de Estados Unidos. Este se basa en una metodología de análisis sistemático, documentado y objetivo usado para determinar los requisitos de mantenimiento de cualquier activo físico en su contexto de funcionamiento.

Dicho sistema puede ser utilizado en todo tipo de instalación industrial, puesto que es útil para el desarrollo u optimización de un plan eficiente de mantenimiento. Todo ello porque el RCM (Reliability Centred Maintenance), analiza cada sistema y cómo puede fallar funcionalmente, clasificando además el desperfecto según el impacto en la seguridad, operación y costo.

Considerando las ventajas ofrecidas por el RCM (Reliability Centred Maintenance), es que Codelco Chile a partir del año 2004, decidió implantarlo como una nueva política de trabajo. Pero como frente a todo proceso de cambio organizacional, la asimilación y real puesta en marcha del nuevo sistema, no es una tarea fácil ni rápida, surgió en la fundición de Potrerillos, perteneciente a la División El Salvador, la necesidad de confeccionar un plan de mantenimiento para camiones Kirow modelo SPCU- 90-100/2. Este tiene como función transportar una olla de escoria con 18 toneladas de cobre, desde la nave de fundición hasta los botadores. Como tal, su labor incide directamente en las labores de fundición, de modo que cuando presenta alguna falla, el trabajo de fundición debe detenerse, lo que se traduce en miles de dólares en pérdida por hora en la que no se trabaja.

En consecuencia el trabajo de titulación que a continuación se presenta, pretende a través de la confección de un plan de mantenimiento, plantear a la Fundición de Potrerillos las herramientas que le permitan modificar su actual sistema de mantención. Todo ello, a través de la verificación del nivel de confiabilidad del RCM (Reliability Centred Maintenance). Se espera además, que este trabajo contribuya en la formación de

nuevos profesionales y que el planteamiento, mediante adecuaciones simples, pueda ser implementado a otros camiones.

CAPÍTULO 1: ESTADO DEL ARTE DEL MANTENIMIENTO

1. ESTADO DEL ARTE DEL MANTENIMIENTO

1.1. MANUTENCIÓN

Proceso mediante el cual, se asisten maquinarias y equipos con el objeto de aumentar la disponibilidad y confiabilidad de éstas en el proceso productivo.

La respuesta a estas preguntas está dada por el hecho de que todo activo físico es puesto en funcionamiento por que alguien quiere que haga algo, en otras palabras, se espera que cumpla una función o funciones específicas. Por ende al mantener un activo, el estado que debemos preservar es aquél en el que continúe haciendo lo que los usuarios quieran que haga.

1.1.1. Tipos de manutención

En general en la literatura se mencionan 4 tipos de manutención, clasificación hecha a partir de la naturaleza de sus actividades:

a) Manutención Programada:

Corresponde a aquella manutención que se planifica teniendo en cuenta el régimen de trabajo, la carga de servicio y el requerimiento de disponibilidad de la máquina.

b) Manutención No-Programada:

Que corresponde a la manutención practicada cuando ya se ha producido un desperfecto o una detención no planificada.

c) Manutención Correctiva:

Es una manutención no programada que corresponde a actividades que se realizan cuando la falla ha comenzado. Normalmente el costo de solución de este tipo de falla es sustantivamente mayor cuando se produce en máquinas o procesos denominados críticos para la empresa.

d) Manutención Sintomática:

Es aquella manutención que se preocupa de detectar los síntomas de fallas en las máquinas y equipos. Normalmente los componentes o elementos de una máquina pueden ser caracterizados por variables de funcionamiento críticas y monitorear ese comportamiento. En la actualidad existen numerosos equipos de alta tecnología que permiten identificar síntomas críticos en diferentes tipos de máquinas.

1.1.2. ¿Afecta el costo de mantención la vida útil técnica de una máquina?

Efectivamente, si el costo de mantención aumenta desmedidamente, la vida útil técnica de una máquina disminuirá. La razón de este fenómeno económico radica en que existen correlaciones entre el costo de mantención y el tiempo óptimo de reemplazo de la inversión.

1.1.3. Administración de la mantención

Es el proceso mediante el cual el mantenedor planifica, ordena y administra el proceso de mantención global de una empresa. Esto significa a efectuar, al menos, las siguientes actividades: Confeccionar historial de Fallas por equipo, frecuencias de fallas por equipo, confección de manuales de procedimientos para el montaje y desmontaje de partes y piezas, elaboración de sistemas de costeo de las actividades de mantención, administración y capacitación del personal de mantención y planificación y control de las acometidas de mantención, entre otras.

1.2. DESARROLLO E HISTORIA DE LA MANUTENCIÓN.

Durante los últimos veinte años, el mantenimiento ha cambiado, quizás más que cualquier otra disciplina gerencial. Estos cambios se deben principalmente al importante aumento en número y variedad de los activos físicos (planta, equipamiento, edificaciones) que deben ser mantenidos en todo el mundo, diseños más complejos, nuevos métodos de mantenimiento, y una óptica cambiante en la organización del mantenimiento y sus responsabilidades.

El mantenimiento también está respondiendo a expectativas cambiantes. Éstas incluyen una creciente toma de conciencia para evaluar hasta qué punto las fallas en los equipos afectan a la seguridad y al medio ambiente; conciencia de la relación entre el mantenimiento y la calidad del producto, y la presión de alcanzar una alta disponibilidad en la planta y mantener acotado el costo.

Estos cambios están llevando al límite las actitudes y habilidades en todas las ramas de la industria. El personal de mantenimiento se ve obligado a adoptar maneras de pensar completamente nuevas, y actuar como ingenieros y como gerentes. Al mismo tiempo las limitaciones de los sistemas de mantenimiento hacen cada vez más evidentes, sin importar cuánto se haya informatizado.

Frente a esta sucesión de grandes cambios, los gerentes en todo el mundo están buscando un nuevo enfoque para el mantenimiento. Quieren evitar arranques fallidos y callejones sin salida que siempre acompañan a los grandes cambios. Buscan en cambio una estructura estratégica que sintiese los nuevos desarrollos en un modelo coherente, para luego evaluarlo y aplicar el que mejor satisfaga sus necesidades y las de la compañía.

Esta parte del capítulo describe la filosofía que provee ciertamente dicha estructura, llamada Mantenimiento Centrado en confiabilidad, o RCM (Reliability Centred Maintenance).

Si aplicamos correctamente, el RCM (Reliability Centred Maintenance) transforma las relaciones entre quienes lo usan, los activos físicos existentes, y las personas que los operan. A su vez permite que nuevos bienes o activos sean puestos en servicio con gran efectividad, rapidez y precisión.

Esta parte del capítulo provee una breve introducción a RCM (Reliability Centred Maintenance), empezando con un vistazo sobre la evolución del mantenimiento en los últimos cincuenta años.

Desde la década del treinta se puede seguir el rastro de la evolución del mantenimiento a través de tres generaciones. RCM (Reliability Centred Maintenance) está tornándose rápidamente en la piedra fundamental de la tercera generación, pero ésta sólo puede ser vista en perspectiva, y a la luz de la primera y segunda generación.

1.2.1. Historial de la manutención y desarrollo a través del tiempo.

1.2.1.1. La primera generación.

La primera generación cubre el período que se extiende hasta la Segunda Guerra Mundial. En esos días la industria no estaba altamente mecanizada, por lo que el tiempo de parada de máquina no era de mayor importancia. Esto significa que la prevención de las fallas en los equipos no era una prioridad para la mayoría de los gerentes. A su vez la mayor parte de los equipos eran simples, y una gran cantidad era sobredimensionada. Esto los hacía confiables y fáciles de reparar. Como resultado no había necesidad de un mantenimiento sistemático más allá de una simple rutina de limpieza, servicio y lubricación.

1.2.1.2. La segunda generación.

Durante la segunda guerra mundial todo cambió drásticamente. La presión de los tiempos de guerra aumentó la demanda de todo tipo de bienes, al mismo tiempo que decaía abruptamente el número de los trabajadores industriales. Esto llevó a un aumento en la mecanización. Ya que en los años cincuenta había aumentado la cantidad y complejidad de todo tipo de maquinas, y la industria estaba empezando a depender de ellas.

Al incrementar esta dependencia, se centró la atención en el tiempo de parada de máquina. Esto llevó a la idea de que las fallas en los equipos deberían ser prevenidas, llegando al concepto de **Mantenimiento Preventivo**. En la década del sesenta esto consistió principalmente en reparaciones mayores a intervalos regulares prefijados.

El costo del mantenimiento comenzó a elevarse rápidamente en relación a otros costos operacionales. Esto llevó al crecimiento de sistema de planeamiento y control del mantenimiento. Estos criterios ayudaron a tener el mantenimiento bajo control y han sido establecidos como parte de la práctica del mantenimiento.

Por último, la suma de capital ligado a activos fijos junto con un elevado incremento en el costo del capital, llevó a la gente a buscar la manera de maximizar la vida útil de estos activos / bienes.

1.2.1.3. La tercera generación.

Desde mediados de la década del setenta el proceso de cambio en la industria ha adquirido aún mas impulso. Los cambios han sido clasificados en: Nuevas Expectativas, Nuevas Investigaciones, y Nuevas Técnicas.

El tiempo de parada de máquina siempre ha afectado la capacidad de producción de los activos físicos al reducir la producción, aumentar los costo operacionales, e interferir con el servicio al cliente. En las décadas de los sesenta y setenta esto ya era una preocupación en las áreas de la minería, manufacturas y transporte. En la manufactura los efectos del tiempo de parada de máquina fueron agravados por la tendencia mundial hacia sistema "Just-In-Time", donde los reducidos inventarios de material en proceso hacen que la pequeña falla de un equipo probablemente hiciera parar toda la planta. Actualmente el crecimiento de la automatización y mecanización han tornado la confiabilidad y la disponibilidad en factores clave en sectores tan diversos como el cuidado de la salud, el procesamiento de datos, las telecomunicaciones, la administración de edificios y el manejo de las organizaciones.

Una mayor automatización también significa que más y más fallas afectan nuestra capacidad de mantener parámetros de calidad satisfactorios. Esto se aplica tanto para parámetros de servicio como para calidad del producto. Por ejemplo, hay fallas en equipos que pueden afectar el control del clima en los edificios y la puntualidad de las redes de transporte, así como interferir con el logro de las tolerancias deseadas en la producción.

Tabla 1-1: Expectativas de mantenimiento crecientes

<u>Primera Generación</u> (1940 – 1950)	<u>Segunda Generación</u> (1960 – 1970)	<u>Tercera Generación</u> (1980 – 2000)
Reparar en caso de avería	Mayor Disponibilidad de la planta	Mayor disponibilidad y confiabilidad.
	Mayor vida útil de los equipos	Mayor costo-efectividad
	Costos más bajos	Mayor seguridad
		No deteriorar el medio ambiente
		Mejor calidad de los productos
		Mayor duración de los equipos

**CAPÍTULO 2: INTRODUCCION AL MANTENIMIENTO CENTRADO EN
CONFIABILIDAD RCM (RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE)**

2. INTRODUCCIÓN AL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM (RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE).

Cada vez aparecen más fallas que acarrear serias consecuencias para el medio ambiente o la seguridad, al tiempo que se elevan las exigencias sobre estos temas. En algunas partes del mundo se ha llegado a un punto en que las organizaciones deben, o bien adecuarse a las expectativas de seguridad y cuidado ambiental de la sociedad, o dejar de operar. Nuestra dependencia de la integridad de nuestros activos físicos cobra ahora una nueva magnitud que va más allá del costo, y que se torna una cuestión de supervivencia de la organización.

Al mismo tiempo que crece nuestra dependencia de los activos físicos, crece también el costo de tenerlos y operarlos. Para asegurar la amortización de la inversión que representan, deben funcionar eficientemente siempre que se los necesite.

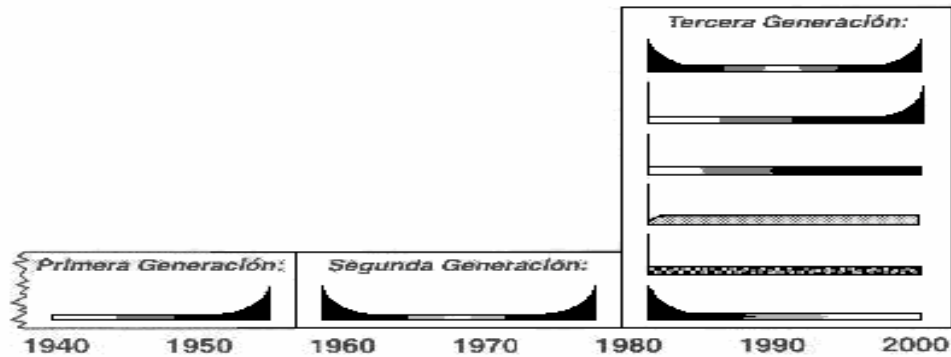
Por último el costo de mantenimiento aún está ascendiendo, en términos absolutos y como proporción del gasto total. En algunas industrias representa ahora el segundo ítem más alto, o hasta el más alto costo operativo. En consecuencia, en sólo treinta años ha pasado a la primera prioridad en el control de costos.

2.1. NUEVAS INVESTIGACIONES.

Las nuevas investigaciones están cambiando muchas de nuestras creencias más profundas referidas a la relación entre la edad y las fallas. En particular, parece haber cada vez menos conexión entre la edad de la mayoría de los activos y la probabilidad de que éstos fallen.

La grafica 2.1 muestra cómo en un principio la idea era simplemente que a medida que los activos envejecían eran más propensos a fallar. Una creciente conciencia de la “mortalidad infantil” llevó a la segunda generación a creer en la curva de bañera.

Sin embargo, las investigaciones en la tercera generación revelan no uno sino seis patrones de falla que realmente ocurren en la práctica. Esto también tiene un profundo efecto sobre el mantenimiento.



Grafica 2-1: Plan de mantenimiento y tipos de mantenimientos usados en las tres generaciones

Observación: Esto se explica en el capítulo 3, en el punto 3.1, letra F, acompañado con la figura 3-2.

2.2. NUEVAS TÉCNICAS

Ha habido un crecimiento explosivo de nuevos conceptos y técnicas de mantenimiento. Cientos de ellos han sido desarrollados en los últimos quince años, y emergen aún más cada semana.

La tabla 2-1 muestra cómo ha crecido el énfasis en los clásicos sistemas administrativos y de reparaciones mayores para incluir nuevos desarrollos en diferentes áreas.

Los nuevos desarrollos incluyen:

- Herramientas de soporte para la toma de decisiones, tales como el estudio de riesgo, análisis de modos de falla y sus efectos y sistemas expertos.
- Nuevos métodos de mantenimiento, tal como el monitoreo de condición.
- Diseño de equipos, con un mayor énfasis en la confiabilidad y facilidad para el mantenimiento.
- Un drástico cambio en el modo de pensar de la organización hacia la participación, trabajo en grupo y flexibilidad.

Sino decidir cuáles valen la pena y cuales no para sus propias organizaciones. Si hacemos elecciones adecuadas es posible mejorar el rendimiento de los activos al mismo tiempo contener y reducir el costo del mantenimiento. Si hacemos elecciones inadecuadas se crean nuevos problemas mientras empeoran los que ya existen.

Tabla 2-1: Cambios en las técnica de mantenimiento.

PRIMERA GENERACIÓN (1940 – 1950)	SEGUNDA GENERACIÓN (1960 – 1970)	TERCERA GENERACIÓN (1980 – 2000)
Reparar cuando falla	Reparaciones mayores programadas	Monitoreo de condición
	Sistema de planeamiento control del trabajo	Diseño diseccionado a la confiabilidad y facilidad para el mantenimiento
	Computadores grandes y lentas	Computadores pequeñas y muy rápidas
		Análisis de modos de falla y sus efectos
		Sistemas expertos
		Trabajo multifacético y en grupos

2.3. LOS DESAFÍOS DEL MANTENIMIENTO.

Los desafíos claves que enfrentan los gerentes de mantenimiento pueden resumirse de esta manera:

- Seleccionar las técnicas más apropiadas. Para manejar los distintos procesos de fallas
- Satisfaciendo las expectativas de los dueños de los activos, los usuarios de los activos y las sociedad en general
- De la manera más perdurable y efectiva en cuanto a costos. Con el apoyo y la cooperación de todas las personas involucradas.

RCM (Reliability Centred Maintenance) provee un sistema que permite que los usuarios puedan responder a éstos desafíos en forma simple y rápida. Esto se debe a que en ningún momento pierde de vista que el mantenimiento se trata de activos físicos. Si éstos activos no existieran, no existiría la función de mantenimiento. RCM (Reliability Centred Maintenance) comienza un amplio repaso base-cero de los requerimientos de mantenimiento de cada activo en su contexto operacional.

Frecuentemente estos requerimientos son dados por sentido. Esto desemboca en el desarrollo de estructuras organizativas, y las implementaciones de los sistemas basados en suposiciones incompletas o incorrectas en relación con las verdaderas necesidades de los activos. En cambio, si estos requerimientos son definidos correctamente a la luz del pensamiento moderno, es posible lograr importantes cambios en la eficiencia del mantenimiento.

2.4. MANTENIMIENTO Y RCM (RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE)

Desde el punto de vista de ingeniería hay dos elementos que hacen el manejo de cualquier activo físico: debe ser mantenido y de tanto en tanto quizás también necesite ser modificado.

Los grandes diccionarios definen mantener conservar cada cosa en su ser (Real Academia Española), causar que continúe (Oxford), o conservar en el estado existente (Webster).

Esto sugiere que “mantenimiento” significa preservar algo. Por otro lado están de acuerdo con que modificar algo significa cambiarlo de alguna manera. Esta diferencia entre mantener y modificar tiene profundas implicancias que serán detalladas en otros capítulos más adelante.

Cuando nos disponemos a mantener algo, ¿Qué es eso que deseamos causar que continúe?, ¿Qué estado existente deseamos preservar?

La respuesta a estas preguntas está dada por el hecho de que todo activo físico es puesto en funcionamiento por que alguien quiere que haga algo, en otras palabras, se espera que cumpla una función o funciones específicas. Por ende al mantener un activo, el estado que debemos preservar es aquél en el que continúe haciendo lo que los usuarios quieran que haga.

“Mantenimiento: asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que los usuarios quieren que haga.” [1]

¹ “ Curso Formación RELIABILITY-CENTRED MAINTENANCE RCM II (versión 2)”

Los requerimientos de los usuarios van a depender de cómo y cuándo se utilice el activo (contexto operacional). Esto lleva a la siguiente definición formal de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad:

“Mantenimiento Centrado en Confiabilidad: Un proceso utilizado para determinar los requerimientos de mantenimiento de cualquier activo físico en su contexto operacional.”[2]

A la luz de la anterior definición de mantenimiento, una definición más completa de RCM (Reliability Centred Maintenance) sería “Un proceso utilizado para determinar qué debe hacerse para asegurar que todo activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieran que haga en su actual contexto operacional”. [3]

² “ Curso Formación RELIABILITY-CENTRED MAINTENANCE RCM II (versión 2)”

Copyright held by ALADON 1999
ELLMAN, SUERIO Y ASOCIADOS

³ “ Curso Formación RELIABILITY-CENTRED MAINTENANCE RCM II (versión 2)”

Copyright held by ALADON LTD 1999
ELLMAN, SUERIO Y ASOCIADOS

CAPÍTULO 3: GENERALIDADES

3. GENERALIDADES

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM (Reliability Centred Maintenance) es una metodología de análisis sistemático, objetivo y documentado, que puede ser aplicado a cualquier tipo de instalación industrial, útil para el desarrollo u optimización de un plan eficiente de mantenimiento. Desarrollada por la United Airline de Estados Unidos, el RCM (Reliability Centred Maintenance) analiza cada sistema y cómo puede fallar funcionalmente. Los efectos de cada falla son analizados y clasificados de acuerdo al impacto en la seguridad, operación y costo. Estas fallas son estimadas para tener un impacto significativo en la revisión posterior, para la determinación de las raíces de las causas.

La idea central del RCM (Reliability Centred Maintenance) es que los esfuerzos de mantenimiento deben ser dirigidos a mantener la función que realizan los equipos más que los equipos mismos. Es la función desempeñada por una máquina lo que interesa desde el punto de vista productivo. Esto implica que no se debe buscar tener los equipos como si fueran nuevos, sino en condiciones suficientes para realizar bien su función. También implica que se deben conocer con gran detalle las condiciones en que se realiza esta función y, sobre todo, las condiciones que la interrumpen o dificultan, éstas últimas son las fallas.

3.1. RCM (RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE): LAS SIETE PREGUNTAS BÁSICAS

El proceso de RCM (Reliability Centred Maintenance) formula siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta analizar:

- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
- ¿De qué manera falla en satisfacer sus funciones?
- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- ¿De qué manera importa cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para predecir, prevenir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

Estas preguntas son desarrolladas brevemente en los siguientes puntos.

3.1.1. Funciones y parámetros de funcionamiento

Antes de poder definir qué proceso aplicar para determinar qué debe hacerse para que cualquier activo físico continúe haciendo aquello que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional, necesitamos hacer dos cosas:

- Determinar qué es lo que los usuarios quieren que haga.
- Asegurar que sea capaz de realizar aquello que sus usuarios quieren que haga.

Por eso el primer paso en el proceso de RCM (Reliability Centred Maintenance) es definir las funciones de cada activo en su contexto operacional, junto con los parámetros de funcionamientos deseados. Lo que los usuarios esperan que sea realizado por los activos puede ser dividido en dos categorías:

- Funciones primarias; Que se resumen el por qué de las adquisición del activo en primera instancia. Esta categoría de funciones cubre temas como velocidad, producción, capacidad de carga o almacenaje, calidad de producto y servicio al cliente.
- Funciones secundarias; Que indican qué se espera de cada activo que haga más allá, simplemente cubrir sus funciones primarias. Los usuarios también tienen expectativas relacionadas con las áreas de seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia operacional, cumplimiento de regulaciones ambientales, y hasta la apariencia del activo.

Los usuarios de los activos generalmente están por lejos en la mejor posición para saber exactamente qué contribuciones físicas y financieras el activo hace para el bienestar de la organización como un todo. Por ello es esencial que estén involucrados en el proceso del RCM (Reliability Centred Maintenance) desde el comienzo.

Si es hecho correctamente, este paso sólo toma alrededor de un tercio del tiempo que implica un análisis del RCM (Reliability Centred Maintenance) completo. Además hace que el grupo que realiza el análisis logre un aprendizaje considerable (muchas veces acerca de cómo realmente funciona el equipo).

3.1.2. Fallas funcionales

Los objetivos del mantenimiento son definidos por las funciones y expectativas de funcionamiento asociadas al activo en cuestión. ¿Cómo puede el mantenimiento alcanzar estos objetivos?

El único hecho que puede hacer que un activo no pueda desempeñar conforme a los parámetros requeridos por su usuario es alguna clase de falla. Esto sugiere que el mantenimiento cumple sus objetivos al adoptar un abordaje apropiado en el manejo de una falla. Sin embargo, antes de poder aplicar herramientas apropiadas para el manejo de una falla, necesitamos identificar qué fallas pueden ocurrir. El proceso RCM (Reliability Centred Maintenance) lo hace en dos niveles:

- En primer lugar, identifica las circunstancias que llevan a la falla
- Luego se pregunta qué eventos pueden causar que el activo falle.

En el mundo RCM (Reliability Centred Maintenance), los estados de falla son conocidos como fallas funcionales porque ocurren cuando el activo no puede cumplir una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable.

Sumando a la incapacidad total de funcionar, esta definición abarca fallas parciales en las que el activo todavía funciona pero con un nivel de desempeño inaceptable (incluyendo las situaciones en las que el activo no puede mantener los niveles de calidad o precisión). Pero éstas sólo pueden ser claramente identificadas luego de haber definido las funciones u parámetros de funcionamiento del activo.

3.1.3. Modos de falla

Como se mencionó en el párrafo anterior, una vez que se ha identificado la falla funcional, el próximo paso es tratar de identificar todos los hechos que pueden haber causado cada estado de falla. Estos hechos se denominan modos de falla. Los modos de falla posibles incluyen aquellos que han ocurrido en los equipos iguales o similares operando en el mismo contexto. También incluyen fallas que actualmente están siendo prevenidas por regímenes de mantenimiento existentes, así como fallas que aún no han ocurrido pero son consideradas altamente posibles en el contexto en cuestión.

La mayoría de las listas tradicionales de modos de falla incorporan fallas causadas por el deterioro o desgaste por uso normal. Sin embargo, para que todas las causas probables de fallas en los equipos puedan ser identificadas y resueltas

adecuadamente, esta lista debe incluir fallas causadas por errores humanos (por parte de los operadores y personal de mantenimiento), y errores de diseño. También es importante identificar cada falla con suficiente detalle para asegurar de no desperdiciar tiempo y esfuerzo intentando tratar síntomas en lugar de causas reales. Por otro lado es igualmente importante asegurarse de no malgastar el tiempo en el análisis mismo al concentrarse demasiado en los detalles.

3.1.4. Efectos de Falla

El cuarto paso en el proceso de RCM (Reliability Centred Maintenance) consiste en hacer un listado de los efectos de falla, que describe lo que ocurre cuando acontece cada modo de falla. Esta descripción debe incluir toda la información necesaria para apoyar la evaluación de las consecuencias de la falla, tal como:

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

El proceso de identificar funciones, fallas funcionales, modos de falla, y efectos de falla trae asombrosas y muchas veces apasionantes oportunidades de mejorar el desempeño y la seguridad, así como también de eliminar el desperdicio.

3.1.5. Consecuencias de la falla

Un análisis detallado de la empresa industrial promedio probablemente muestre entre tres y diez mil posibles modos de falla. Cada una de estas fallas afecta a la organización de algún modo, pero en cada caso, los efectos son diferentes. Pueden afectar operaciones. También puede afectar a la calidad del producto, el servicio al cliente, la seguridad o el medio ambiente. Y todas tomarán tiempo y costarán dinero para ser reparadas. Son estas consecuencias las que fuertemente influyen el intento de prevenir cada falla. En otras palabras, si una falla tiene serias consecuencias, haremos un gran esfuerzo para intentar evitarla. Por otro lado, si se tiene consecuencias leves o no las tiene, quizás decidamos no hacer más mantenimiento de rutina que una simple limpieza y lubricación básica.

Un punto fuerte de RCM (Reliability Centred Maintenance) es que reconoce que las consecuencias de las fallas son más importantes que sus aspectos técnicos. De hecho reconoce que la única razón para hacer cualquier tipo de mantenimiento proactivo no es evitar la fallas per se si no evitar o reducir las consecuencias de las fallas. El proceso RCM (Reliability Centred Maintenance) clasifica estas consecuencias en cuatro grupos, de la siguiente manera:

- Consecuencias de fallas ocultas: las fallas ocultas no tienen un impacto directo, pero exponen a la organización a fallas múltiples con consecuencias serias y hasta catastróficas.(la mayoría están asociadas a sistemas de protección sin seguridad inherente)
- Consecuencias ambientales y para la seguridad: una falla tiene consecuencias para la seguridad si es posible que cause daño o la muerte a alguna persona. Tiene consecuencias ambientales si infringe alguna normativa o reglamento ambiental tanto corporativo como regional, nacional o internacional.
- Consecuencias operacionales: una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (cantidad, calidad del producto, atención al cliente, o costos operacionales) además del costo directo de la reparación.
- Consecuencias No-Operacionales: Las fallas que caen en ésta categoría no afectan a la seguridad ni la producción, sólo se relacionan con el costo directo de la reparación.

Al establecer una revisión obligada de las consecuencias de cada falla en la relación a las categorías recién mencionadas, integra a los objetivos operacionales, ambientales, y de seguridad de la función del mantenimiento. Esto contribuye a incorporar a la seguridad y al medio ambiente en la corriente principal de gestión del mantenimiento.

El proceso de evaluación de las consecuencias también cambia el énfasis de la idea de que toda falla es negativa y debe ser prevenida. De esta manera focaliza la atención sobre las actividades de mantenimiento que tienen el mayor efecto sobre el desempeño de la organización, y resta importancia a aquellas que tienen escaso efecto. También nos alimenta a pensar de una manera más amplia acerca de diferentes maneras de manejar las fallas, más que concentrarnos en prevenir las fallas. Las técnicas de manejo de fallas se dividen en dos categorías:

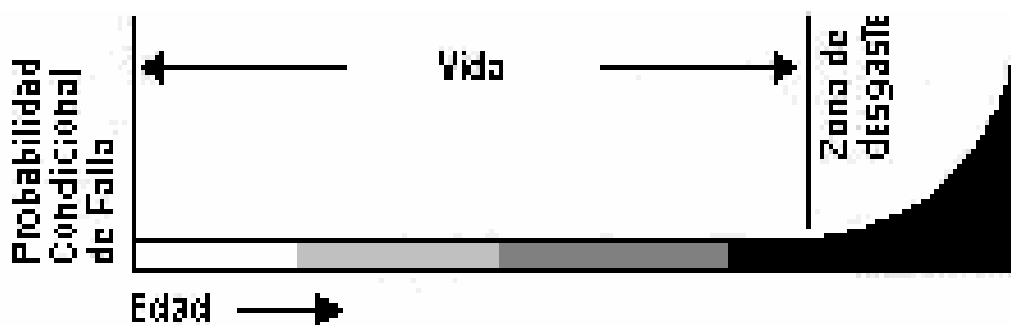
- Tareas proactivas: Estas tareas se emprenden antes de que ocurra una falla, para prevenir que el ítem llegue al estado de falla. Abarcan lo que se conoce tradicionalmente como mantenimiento “predictivo” o “preventivo”, aunque veremos luego que RCM (Reliability Centred Maintenance) utiliza los términos reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica, y mantenimiento a condición.
- Acciones de falta de: éstas tratan directamente con el estado de falla, y son elegidas cuando no es posible identificar una tarea proactiva efectiva. Las acciones “a falta de” incluyen búsqueda de falla, rediseñar, y mantenimiento a rotura. (correctivo). Lo anterior es explicado en el punto 3.1.7

3.1.6. Tarea Proactivas

Mucha gente todavía cree que la mejor manera de optimizar la disponibilidad de la planta es hacer algún tipo de mantenimiento proactivo de rutina. El pensamiento de la segunda generación sugería grandes reparación, o reposición de componentes a intervalos fijos.

La grafica 3.1 muestra la perspectiva de la falla a intervalos regulares.

La grafica 3.1 se basa en la presunción de que la mayoría de los equipos operan confiablemente por un período “x”, y luego se desgastan. El pensamiento clásico sugiere que los riesgos extensivos acerca de las fallas nos permiten determinar y planear acciones preventivas un tiempo antes de que ellas ocurran.



Grafica 3-1: Grafico de falla a intervalos regulares.

Este patrón es cierto para algunos tipos de equipos simples, y para algunos ítems complejos con modos de falla dominantes. En particular las características de desgaste se encuentran a menudo en casos en los que el equipo tiene contacto directo con el

producto. Las fallas relacionadas con la edad frecuentemente van asociadas a la fatiga, corrosión, abrasión y evaporación.

Sin embargo, los equipos en general son muchos más complejos de lo que hace veinte años atrás. Esto ha traído aparejados sorprendentes cambios en los patrones de fallas, como lo muestra la grafica 3.2 Los gráficos muestran la probabilidad condicional de falla en relación a la edad operacional para una variedad de elementos mecánicos y eléctricos.

El patrón A es la ya conocida curva de “bañera”. Comienza con una gran incidencia de fallas (llamada mortalidad infantil), seguida por un incremento constante o gradual de la probabilidad condicional de falla, y por último una zona de desgaste.



Grafica 3-2: Gráfico tipo de falla A

El patrón B muestra una probabilidad condicional de falla que es constante o de lento incremento, y que termina en una zona de desgaste (igual a la figura 3.1)



Grafica 3-3: Gráfico tipo de falla B

El patrón C muestra una probabilidad condicional de falla que crece lentamente, pero no tiene una edad de desgaste claramente identificable.



Grafica 3-4: Gráfico tipo de falla C

El patrón D muestra un baja probabilidad condicional de falla cuando el equipo es un nuevo o recién salido de la fabrica y luego un veloz incremento hasta un nivel constante.



Grafica 3-5: Gráfico tipo de falla D

Mientras que el patrón E muestra una probabilidad condicional de falla constante a todas las edades por igual (falla al azar).



Grafica 3-6: Gráfico tipo de falla E

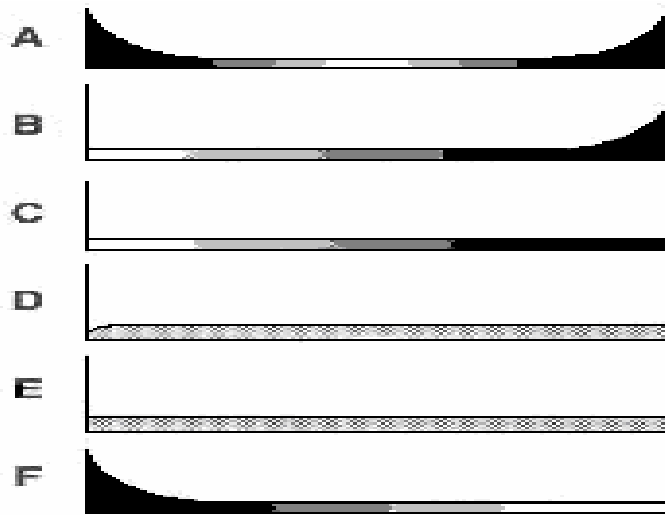
El patrón F comienza con una alta mortalidad infantil que finalmente cae a una probabilidad de falla constante o que asciende muy lentamente.



Grafica 3-7: Gráfico tipo de falla F

Estudios realizados en aeronaves comerciales demostraron que un 4 % de los elementos correspondían al patrón A, un 2 % al B, un 5 % al C, un 7 % al D, un 14 % al E, y no menos de un 68 % al patrón F. (El número de veces que estos patrones ocurren en aeronaves no es necesariamente el mismo que en el área industrial, pero no cabe duda de que a medida que los elementos se hacen más complicados, encontramos más y más patrones E y F).

Estos hallazgos contradicen la creencia de que siempre hay conexión entre la confiabilidad y la edad operacional.



Grafica 3-8: Gráficos de distintos tipos de fallas.

Esta creencia dio origen a la idea de que cuanto más seguido un ítem es reparado, menos posibilidades tiene de fallar. Actualmente esto es cierto en muy pocos casos. A menos que exista un modo de falla dominante relacionado con la edad, los límites de edad tienen que ver poco a poco o nada con mejorar la confiabilidad de los componentes complejos. De hecho las reparaciones pueden en realidad aumentar los promedios de fallas generales al introducir la mortalidad infantil en el sistema que de otra manera serían estables.

La toma de conciencia de estos hechos ha llevado a algunas organizaciones a abandonar por completo la idea de mantenimiento proactivo. Y esto puede que sea lo más acertado para fallas con consecuencias menores, pero cuando las consecuencias de las fallas son importantes, algo debe hacerse para prevenir o predecir las fallas, o al menos para reducir las consecuencias.

Esto nos trae nuevamente a la cuestión de las tareas proactivas. Como ya mencionamos anteriormente RCM (Reliability Centred Maintenance) divide las tareas proactivas en tres categorías:

- Tareas de reacondicionamiento cíclicas
- Tareas de sustitución cíclicas
- Tareas a condición

3.1.7. Tareas de reacondicionamiento y sustitución cíclicas.

El reacondicionamiento cíclico implica el re-trabajo de un componente o la reparación de un conjunto antes de un límite de edad específico sin importar su condición en ese momento. De esa manera parecida, las tareas de sustitución cíclica implican sustituir un componente antes de un límite de edad específico, más allá de su condición en ese momento.

En conjunto estos dos tipos de tareas son conocidos generalmente como mantenimiento preventivo. Solían ser los tipos de mantenimiento proactivos más ampliamente usados. Sin embargo, debido a las razones mencionadas anteriormente, son mucho menos usados ahora de lo que eran veinte años atrás.

3.1.8. Tarea a condición.

El crecimiento de nuevas formas de manejo de fallas se debe a la continua necesidad de prevenir ciertos tipos de falla, y las crecientes ineficacias de las técnicas clásicas para hacerlo. La mayoría de las nuevas técnicas se basan en el hecho de que la mayoría de las fallas dan algún tipo de advertencia de que están por ocurrir. Estas advertencias se denominan fallas potenciales, y se definen como condiciones físicas identificables que indican que una falla funcional está por ocurrir o está en el proceso de ocurrir.

Las nuevas técnicas son utilizadas para detectar fallas potenciales y para poder actuar evitando las posibles consecuencias que surgirían si se transformasen en fallas funcionales. Se llaman tareas a condición por que los componentes se dejan en servicio a condición de que continúen alcanzando los parámetros de funcionamiento deseados. (El mantenimiento a condición incluye el mantenimiento predictivo, mantenimiento basado en la condición y monitoreo de condición)

Si son utilizadas correctamente, las tareas a condición son una muy buena manera de manejar las fallas, pero a la vez pueden construir una costosa pérdida de tiempo. RCM (Reliability Centred Maintenance) permite tomar estas decisiones con mucha confianza.

3.1.9. Acciones “a falta de”

RCM (Reliability Centred Maintenance) reconoce tres grandes categorías de acciones a falta de:

- Búsqueda de fallas: las tareas de búsqueda de fallas implica revisar las funciones periódicamente para determinar si han fallado (mientras que las tareas basadas en la condición implican revisar si algo está por fallar)
- Rediseñar: rediseñar implica hacer cambios de única vez a las capacidades iniciales de un sistema. Esto incluye modificaciones al equipo y también cubre los “cambios de una sola vez “a los procedimientos.
- Mantenimiento no programando: como su nombre lo indica, aquí no se hace esfuerzo alguno en anticipar o prevenir los modos de falla a los que se aplica. De este modo se deja que la falla simplemente ocurra, para luego repararla. Esta tarea a falta de también es llamada mantenimiento correctivo o “ a rotura”

3.1.10. El proceso de selección de tareas rcm (reliability centred maintenance).

Un punto fuerte del RCM (Reliability Centred Maintenance) es la manera en que provee criterios simples, precisos y fáciles de entender, para decidir cuál de las tareas proactivas es técnicamente factible en el contexto (si alguna lo es), y para decidir quién debe hacerla y con qué frecuencia.

Si una tarea proactiva es técnicamente factible o no, depende de las características técnicas de la tarea y de la falla que pretende prevenir. Si merece la pena hacerlo o no depende de la medida en que manejar las consecuencias de la falla. De no hallarse tarea proactiva que sea técnicamente factible y que valga hacerse, entonces debe tomarse una acción a falta de adecuada. La esencia del proceso de selección de tareas es el siguiente:

- Para fallas ocultas, la tarea proactiva vale la pena si reduce significativamente el riesgo de falla múltiple asociado con esa función a un nivel tolerable. Si esto no es posible, debe realizar una tarea de búsqueda de falla. De no hallarse una tarea de búsqueda de falla que se adecuada, la decisión “a falta de” secundaria es que el componente pueda ser rediseñado (dependiendo de las consecuencias de la falla múltiple).
- Para fallas con consecuencias ambientales o para la seguridad, una tarea proactiva sólo vale la pena si por sí sola reduce el riesgo de la falla a nivel muy bajo, o directamente lo elimina. Si no puede encontrarse una tarea que reduzca el riesgo a niveles aceptables bajos, entonces el componente debe ser rediseñado o debe modificarse el proceso.

- Si la falla tiene como consecuencia operacional, una tarea proactiva sólo vale la pena si el costo total de realizar a lo largo de un cierto período de tiempo es menor al costo de las consecuencias operacionales y el costo de las consecuencias operacionales y el costo de la reparación en el mismo período de tiempo. En otras palabras, la tarea debe tener justificación en el terreno económico. Si no se justifica, la decisión a falta de inicial es ningún mantenimiento programado (si esto ocurre y las consecuencias operacionales siguen siendo inaceptables, entonces la decisión “a falta de” secundaria es nuevamente el rediseño).
- Si una falla tiene consecuencias no operacionales sólo merece la pena una tarea proactivo si el costo de la tarea a lo largo de un período de tiempo es menor al costo de reparación en el mismo tiempo. Entonces estas tareas también debe tener justificación en el terreno económico. Si no se justifica, la decisión a falta de inicial es otra vez ningún mantenimiento programado, y si los costos son demasiado elevado entonces la siguiente decisión “a falta de” secundaria es nuevamente el rediseño.

Este enfoque hace que las tareas proactivas sólo se definan para las fallas que realmente lo necesitan, lo que a su vez logra reducciones sustanciales en la carga de trabajos de rutina. Menos trabajos de rutina también significan que es más probable que las tareas restantes sean realizadas correctamente. Esto, sumando a la eliminación de tareas contraproducentes, lleva a un mantenimiento más efectivo.

Comparemos esto con el enfoque tradicional de políticas de mantenimiento de cada activo son definidos en términos de sus características técnicas reales o asumidas, sin considerar las consecuencias de la falla. El plan resultante se utiliza para todos los activos similares, nuevamente sin considerar que se aplican diferentes consecuencias en diferentes contextos operacionales. Esto tiene como resultado un gran número de planes que son despreciados, y no porque estén “mal” en el sentido técnico, sino por que no logra nada.

Debemos notar además que el proceso de RCM (Reliability Centred Maintenance) considera los requerimientos de mantenimiento de cada activo antes de preguntar si sería necesario reconsiderar el diseño. Esto es así simplemente porque el ingeniero de mantenimiento que está a cargo hoy, tiene que mantener el equipo tal como está hoy, y no pensar en lo que quizás sea en algún otro momento en el futuro.

**CAPÍTULO 4: APLICACIÓN DEL PROCESO RCM (RELIABILITY
CENTRED MAINTENANCE).**

4. APLICACIÓN DEL PROCESO RCM (RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE).

Antes de comenzar a analizar los requerimientos de mantenimiento de los activos físicos de cualquier organización, necesitamos saber de qué activos se trata y decidir cuáles de ellos serán sometidos al proceso de revisión de RCM (Reliability Centred Maintenance). Esto significa que debe prepararse un riesgo de planta (Posibles falla de algún activo físicos que pueda afectar la producción de la organización), si es que no existe ya uno actualmente. De hecho la gran mayoría de las organizaciones industriales poseen hoy en día registros de planta que son adecuados para este propósito.

4.1. PLANEAMIENTO

Si es aplicado correctamente, RCM (Reliability Centred Maintenance) logra grandes mejoras en la efectividad del mantenimiento, y lo hace sorprendentemente rápido. Sin embargo, la aplicación exitosa de RCM (Reliability Centred Maintenance) depende de un meticuloso planeamiento y preparación. Los elementos centrales del proceso de planeamiento son:

- Decidir qué activos físicos se beneficiarán más con el proceso RCM (Reliability Centred Maintenance), y exactamente de qué manera lo harán
- Evaluar los recursos requeridos para aplicar el proceso a los activos seleccionados
- En los casos en los que los beneficios justifican la inversión, decidir detalladamente quién realizará cada análisis, quién intervendrá, cuándo se hará, dónde, y organizar que el personal reciba en entrenamiento apropiado.
- Asegurar una clara comprensión del contexto operacional de cada activo físico.

4.2. GRUPOS DE ANÁLISIS

Hemos visto que el proceso RCM (Reliability Centred Maintenance) enmarca siete preguntas básicas. En la práctica, el personal de mantenimiento no puede responder a todas estas preguntas por sí solo. Muchas de las respuestas, si no la mayoría, sólo las puede dar personal de producción o de operaciones. Esto se aplica especialmente a las preguntas relacionadas con las funciones, efectos de falla, funcionamiento deseado, y consecuencias de falla.

Por esta razón la revisión de los requerimientos de mantenimiento de cualquier activo debe llevarse a cabo en pequeños grupos incluyendo al menos a una persona de la función de mantenimiento, y una de la función de operaciones. La antigüedad de los miembros del grupo es menos importante que el hecho de tener un conocimiento profundo del activo físico bajo revisión. Cada miembro del grupo a su vez debe haberse entrenado en RCM. La conformación típica de un grupo de análisis RCM se muestra en la figura 4-1: el uso de estos grupos no sólo permite un acceso sistemático al conocimiento y la experiencia de cada miembro del grupo, sino que los miembros amplían su entendimiento del activo físico en su contexto operacional



Figura 4-1: Conformación típica de un grupo de análisis RCM

4.3. FACILITADORES

Los grupos de análisis de RCM (Reliability Centred Maintenance) trabajan bajo la guía de especialistas en RCM, llamados facilitadores. Son los integrantes más importantes del proceso de revisión. Su rol es asegurar:

- Que el análisis RCM (Reliability Centred Maintenance) se lleva a cabo en el nivel correcto, que los límites del sistema sean claramente definidos, que ningún ítem importante sea pasado por alto, y que los resultados del análisis sean debidamente registrados.
- Que RCM (Reliability Centred Maintenance) sea claramente comprendido y aplicado correctamente por parte de los miembros del grupo.
- Que el grupo llegue al consenso en forma rápida y ordenada, reteniendo el entusiasmo individual de los miembros.
- Que el análisis progrese razonablemente rápido y termine a tiempo.

Los facilitadores también trabajan con los patrocinadores o responsables de proyecto para asegurar que cada análisis sea debidamente planeado y reciba el apoyo directivo y logístico apropiado.

4.4. RESULTADOS DE UN ANÁLISIS RCM (RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE).

Si es aplicado en la forma sugerida anteriormente, un análisis RCM (Reliability Centred Maintenance) da tres resultados tangibles:

- Planes de mantenimiento a ser realizados por el departamento de mantenimiento.
- Procedimientos de operación revisados, para los operadores.
- 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 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 aquellos tienden a funcionar mejor como miembros de un equipo.

4.5. IMPLEMENTACIÓN Y AUDITORIA

Inmediatamente después de haber completado el análisis para cada activo físico, los gerentes responsables de equipo, deben comprobar que las decisiones tomadas por el grupo son razonables y defendibles.

Luego de cada revisión es aprobada, las recomendaciones son implementadas incorporando planes de mantenimiento a los sistemas de control y planeamiento, incorporando cambios en los procedimientos operacionales estándar del activo físico, y entregando recomendaciones para cambios de diseño a quienes corresponda.

La auditoria consiste en apoyar a los miembros de la empresa en el desempeño de sus actividades. Para ello la auditoria les proporciona análisis, evaluaciones, recomendaciones, asesoría e información concerniente a las actividades revisadas; y gracias a esto después se verifica si se cumple en la práctica lo que dice el documento en si.

4.6. QUÉ LOGRA EL RCM (RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE)

Por más esperados que sean, los resultados enunciados anteriormente sólo deben ser vistos como medios para un fin. Específicamente deben permitir que las funciones de mantenimiento satisfagan las expectativas indicadas en la figura 1.1.

- Mayor seguridad en integridad ambiental: RCM (Reliability Centred Maintenance) considera las implicancias ambientales y para la seguridad de cada patrón de falla antes de considerar sus efectos en las operaciones. Esto significa que se actúan para minimizar o eliminar todos los riesgos identificables relacionados con la seguridad de los equipos y el ambiente. Al incorporar la seguridad a la toma de decisiones de mantenimiento, RCM (Reliability Centred Maintenance) también mejora la actitud de las personas en relación con este tema.
- Mejor funcionamiento operacional (producción, calidad de producto y servicio al cliente): RCM (Reliability Centred Maintenance) reconoce que todos los tipos de mantenimiento tienen algún valor y provee reglas para decidir cual es el más acorde a cada situación. De esta manera se asegura que solo se elijan las formas de mantenimiento más efectivas para cada activo físico, y que se tomen las

medidas necesarias en los casos que el mantenimiento no pueda resolver. Este esfuerzo de adjuntar y focalizar el mantenimiento lleva a grandes mejoras en el funcionamiento de los activos físicos existentes.

RCM (Reliability Centred Maintenance) fue desarrollado para ayudar a las aerolíneas a diagramar los planes de mantenimiento para nuevos tipos de aeronaves antes de que entraran en servicio. Resultó ser una manera ideal de desarrollar planes para nuevos activos físicos, especialmente equipos complejos para los que no existe información histórica disponible. Esto ahorra la mayor parte del ensayo y error que tan frecuentemente forma parte del desarrollo de nuevos planes de mantenimiento, ensayos que demandan tiempo y errores que pueden ser costosos.

- Mayor costo-eficacia del mantenimiento: RCM (Reliability Centred Maintenance) continuamente focaliza su atención en las actividades de mantenimiento que tienen mayor efecto en el funcionamiento de la planta. Esto ayuda a asegurar que todo lo que se destine al mantenimiento se realice donde haga el mayor bien.

Además, si RCM (Reliability Centred Maintenance) es aplicado correctamente a los sistemas de mantenimiento ya existentes, reduce la cantidad de trabajo de rutina (en otras palabras las tareas de mantenimiento hechas cíclicamente) de cada lapso de tiempo en un 40 a 70 %. Por otro lado si RCM (Reliability Centred Maintenance) se utiliza para desarrollar un nuevo plan de mantenimiento, la carga de trabajo resultante mucho más baja que si el plan es desarrollado con los métodos tradicionales.

- Mayor vida útil de componentes costosos: debido al cuidadoso énfasis en el uso de técnicas de mantenimiento a condición
- Una base de datos global: un análisis RCM (Reliability Centred Maintenance) finaliza con un registro global y extensivamente documentado de los requerimientos de mantenimiento de todos los activos físicos significativos utilizados por la organización.

Esto posibilita la adaptación a circunstancias cambiantes sin tener que reconsiderar todas las políticas de mantenimiento desde un comienzo. También permite a quienes utilizan el equipo, demostrar que sus planes de mantenimiento están contruidos sobre la base racional estableciendo la tasa de auditoria (capitulo 7) requerida cada vez más por diversas normas (ISO 9000; ISO 14000; OHSAS 18000). Finalmente, la información almacenada en las hojas de trabajo de RCM reduce los

efectos de la rotación de personal en cuanto a la pérdida de experiencia que esto provoca.

Una revisión RCM (Reliability Centred Maintenance) de los requerimientos de mantenimiento de cada activo físico a su vez provee una clara visión de las habilidades necesarias para mantener cada activo físico, y para decidir qué repuestos deben tenerse en stock. Además mejora la información de planos y manuales.

- Mayor motivación del personal: Especialmente los involucrados en el proceso de revisión. Esto lleva a un mayor entendimiento general de todos los integrantes del Grupo de Análisis, del contexto operacional, junto con un “sentido de pertenencia” más amplio de los problemas de mantenimiento y sus soluciones. También aumenta la probabilidad de que las soluciones perduren.
- Mejor trabajo en equipo: RCM (Reliability Centred Maintenance) provee en lenguaje técnico que es fácil de entender para cualquier persona que tenga alguna relación con el mantenimiento. Esto da al personal de mantenimiento y operaciones un mejor entendimiento de lo que el mantenimiento puede lograr y de los que no, y qué debe hacerse para lograrlo.

Todos estos son parte central de la administración del mantenimiento y son metas de programas de mejora. Un rasgo importante de RCM (Reliability Centred Maintenance) es que provee un efectivo sistema de pasos a seguir para tratar a todos ellos al mismo tiempo, y para involucrar a todos aquellos que tengan relación con el equipo.

RCM (Reliability Centred Maintenance) da resultados rápidamente. De hecho, si son enfocados y aplicados concurrentemente, Los análisis RCM (Reliability Centred Maintenance) se justifican a sí mismo en cuestión de meses y hasta semanas. Estas revisiones transforman los requerimientos de mantenimiento de los activos físicos utilizados por la organización y la manera en que es percibida la función misma del mantenimiento. El resultado es un mantenimiento más costo-efectivo, más armonioso y más exitoso.

4.7. FUNCIONES

4.7.1. Descripción de funciones

Partiendo con la descripción de funciones del camión transportador de escoria utilizado en las faenas de extracción de escoria de cobre; Los usuarios no sólo esperan que el camión cumpla las funciones con un nivel de funcionamiento aceptable, sino que cumpla con las expectativas y desafíos de la misma faena. Entonces la definición de una función; Y por ende la definición de los objetivos de mantenimiento para ese activo físico; No esta completa a menos que especifique el nivel de funcionamiento deseado por el usuario tan precisamente como le sea posible. Por ejemplo, la función primaria del Camión Transportador de escoria podría ser enunciada así:

- Transportar la taza de escoria con 18 toneladas de escoria de cobre, desde la nave fundición hasta los Botaderos de escoria en forma segura tanto para el operador como para el Medio Ambiente.

Este ejemplo muestra que una descripción completa de una función consiste de un verbo, un objeto y el parámetro de funcionamiento deseado por el usuario.

La descripción de un funcionamiento debe consistir de un verbo, un objeto y un parámetro de funcionamiento deseado



Figura 4-2: Camión Transportador de Escoria.

4.7.2. Parámetros de funcionamiento

El objetivo del mantenimiento es asegurar de que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que haga. Esto se define como un parámetro mínimo de funcionamiento. Si pudiésemos construir un activo físico capaz de rendir según este funcionamiento mínimo sin deteriorarse de ningún modo, ese sería el fin del asunto. La máquina funcionaría continuamente sin necesidad de mantenimiento.

Sin embargo el mundo real no es tan simple.

Cualquier sistema organizado que es expuesto al mundo real se deteriorará. El resultado final de este deterioro es la desorganización total (también conocido como “caso” o “entropía”), a menos que se tomen acciones para frenar el proceso que esté causando el deterioro del sistema.

Por ejemplo, este camión transporta 18 [t] de escoria de cobre desde la nave fundición hasta los Botaderos a una velocidad máxima de 16. [Km. /h]

Un proceso que causa el deterioro del camión (modo de falla) es el desgaste de los neumáticos. Esto sucede sin importar si esta transportando escoria de cobre o cobre, y sin que influya si el neumático es de tipo 26.5R 25 EM, o de 21.00R25. La única pregunta es en qué tiempo se deteriorará al punto de no poder transporta 18 [t] de escoria de cobre desde la nave fundición hasta los Botaderos a una velocidad máxima de 16 [Km. /h].

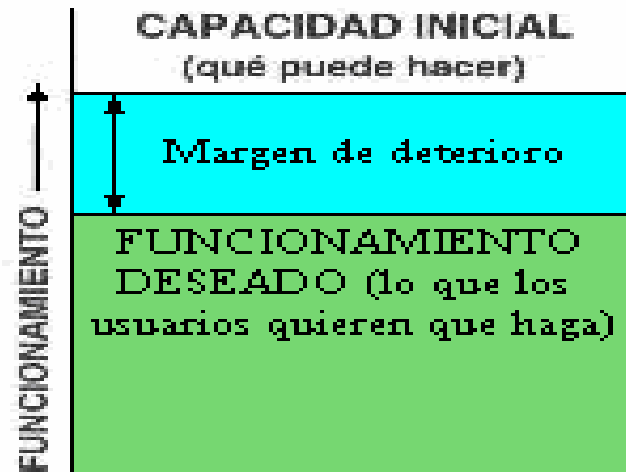
Esto significa que cuando cualquier activo físico es puesto en funcionamiento debe ser capaz de rendir más que el parámetro mínimo de funcionamiento deseado por el usuario. Lo que el activo físico es capaz de rendir es conocido como capacidad inicial (o confiabilidad inherente). La grafica 4.1 ilustra la relación correcta entre esta capacidad y el funcionamiento deseado.

Por ejemplo, para asegurar que el camión que muestra la figura 4-2 haga lo que sus usuarios desean y además dejar lugar para el deterioro, los diseñadores del sistema deben especificar un camión cuya capacidad inicial es mayor a 18 [t] de escoria de cobre. En el ejemplo, esta capacidad inicial es de 18 [t] de escoria.

Esto significa que el funcionamiento puede ser definido de las siguientes maneras:

- Funcionamiento deseado (lo que el usuario quiere que haga)
- Capacidad inherente (lo que puede hacer)
- La capacidad inicial de cualquier activo físico se establece por su diseño y por cómo está hecho.

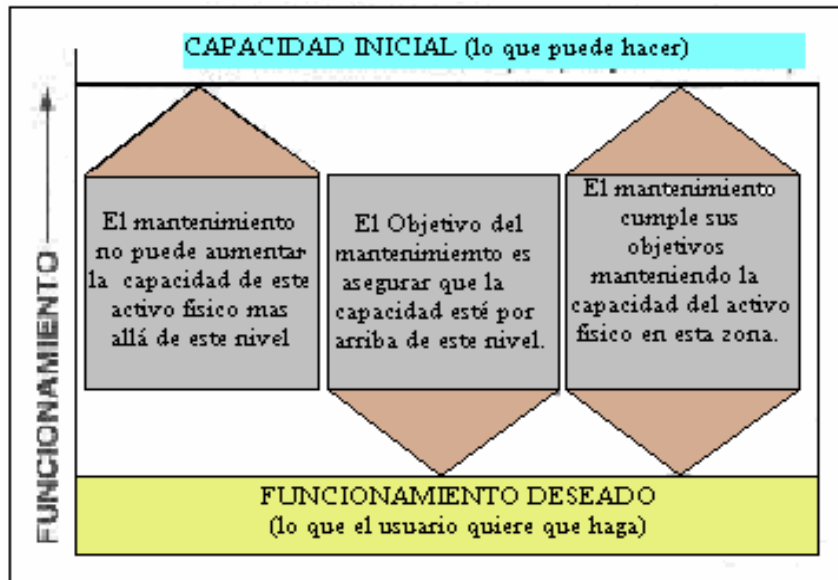
- El mantenimiento sólo puede restituir al activo físico su nivel de capacidad inicial – no puede ir más allá.



Grafica 4-1: Ilustra la relación correcta entre esta capacidad y el funcionamiento deseado.

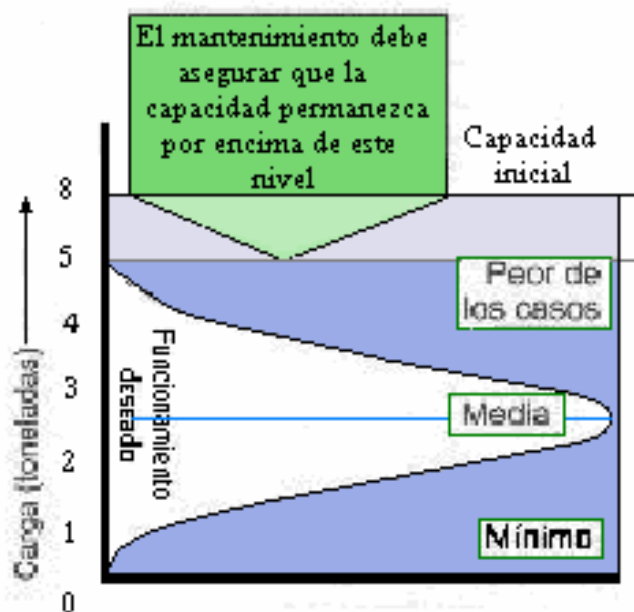
En la práctica, la mayoría de los activos físicos son correctamente construidos y diseñados, por lo que frecuentemente es posible desarrollar programas de mantenimiento que aseguren que estos activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieran que haga.

Resumiendo, dichos activos físicos mantenibles, como lo muestra la grafica 4.2



Grafica 4-2: Grafico de un activo físico mantenible

Por otro lado si el funcionamiento deseado excede la capacidad inicial, ningún tipo de mantenimiento puede lograr este funcionamiento. En otras palabras, dichos activos Físicos no son mantenibles, como lo muestra la grafica 4.3



Grafica 4-3: Grafico de parámetros de funcionamiento variables

Por ejemplo, si tratamos de extraer 15 Kw. (funcionamiento deseado) de un motor eléctrico de 10 Kw. (capacidad inicial), el motor fallará constantemente y finalmente se quemará prematuramente. Ningún tipo de mantenimiento podrá hacer que este motor sea lo suficientemente grande. Aunque haya sido construido perfectamente y diseñado correctamente, no podrá rendir acorde al funcionamiento deseado en este contexto en el que está siendo utilizado.

De los ejemplos anteriores podemos extraer dos conclusiones:

- Para que un activo físico sea mantenible, el funcionamiento deseado debe caer dentro del margen de su capacidad inicial
- Para determinar esto no solo debemos conocer la capacidad inicial del activo físico, sino también cuál es exactamente el funcionamiento mínimo que el usuario está preparado a aceptar dentro del contexto en que se va estar utilizando.

4.7.3. Parámetros de funcionamiento múltiple.

Muchas descripciones de funciones incorporan más de un parámetro de funcionamiento, generalmente varios.

Por ejemplo, una función de un reactor químico es una planta de producción química por lotes o discontinua:

- Calentar hasta 500 K de un producto X de temperatura ambiente a punto de ebullición (125 °C) en una hora.

En este caso el peso del producto, el rango de temperatura, y el tiempo presentan diferentes expectativas de funcionamiento que deben cumplirse simultáneamente.

4.7.4. Parámetros de funcionamiento cuantitativos.

Los parámetros de funcionamiento deben ser cuantificados cuando fuese posible, ya que los parámetros cuantitativos son mucho más precisos que los parámetros cualitativos.

4.7.5. Parámetros cualitativos.

Más allá de la necesidad de ser precisos, a veces es imposible especificar parámetros de funcionamiento cuantitativos. Entonces recaemos en los cualitativos.

Por ejemplo, la función primaria de algo pintado es usualmente la de “verse aceptable” (o atractivo). Lo que queremos decir con “aceptable” es imposible cuantificar. Como resultado el usuario y quien hace el mantenimiento debe asegurar de compartir un entendimiento común de lo que quiere decir con palabras tales como “aceptable”.

4.7.6. Parámetros de funcionamiento absolutos.

Una descripción que no indica ningún parámetro de funcionamiento, por lo general implica que se trata de un absoluto.

Por ejemplo, el concepto de contención se asocia con casi todos los sistemas cerrados.

Las descripciones de función en relación con la contención frecuentemente se escriben de esta manera:

- Contener el líquido X

La ausencia de parámetros de funcionamiento sugiere que el sistema debe contener todo líquido, y que cualquier pérdida da cuenta de una falla.

4.7.7. Parámetros de funcionamiento variables.

Las expectativas de funcionamiento (o esfuerzo aplicado) a veces varían idénticamente entre dos extremos. Consideremos el ejemplo de un camión utilizado para llevar cargamentos de distintos bienes a revendedores locales. Asumamos que las cargas varíen entre 0 (vacío) y 5 toneladas como muestra la figura 4.5. Para dar lugar al deterioro, la capacidad inicial de camión debe ser mayor que la carga de peor de los casos, que en este caso es 5 toneladas.

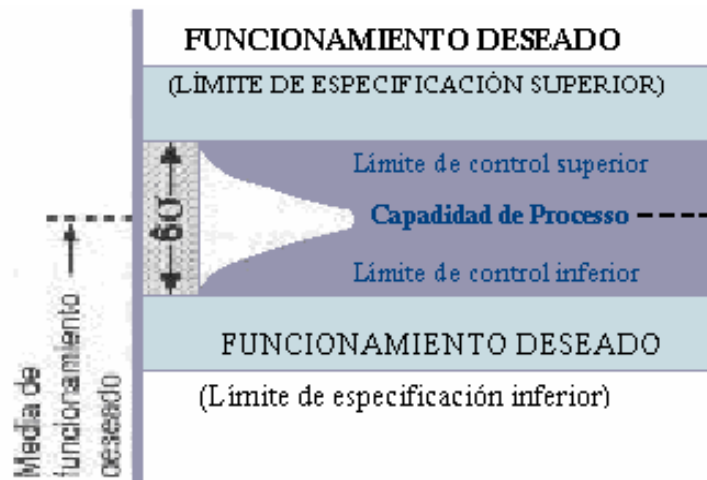
4.7.8. Limites superiores e inferiores.

Contrastando con los parámetros de funcionamiento variables, algunos sistemas muestran capacidad variable. Estos son sistemas que no pueden llegar a funcionar exactamente según el mismo estándar cada vez que operan.

Por ejemplo una rectificadora utiliza para dar la terminación a un cigüeñal no producirá exactamente el mismo diámetro en cada bancada de cojinete. Estos diámetros variarán, aunque sólo sea unos micrones. Del mismo modo una máquina relleno no

llenará dos envases seguidos con el mismo peso exacto de alimento. Los pesos variarán en algunos miligramos.

La grafica 4.4 indica que las variaciones de capacidad de esta naturaleza usualmente varían alrededor de una media. Con el objetivo de acomodar esta variabilidad, a los parámetros de funcionamiento deseados se incorpora un límite superior y otro inferior.



Grafica 4-4: Variaciones de capacidad de esta naturaleza usualmente varían alrededor de una media.

Por ejemplo, la fusión primaria de una máquina que embolsa caramelos podría ser:

- Empaquetar 250 ± 1 [g] de caramelos en bolsas a razón de 75 bolsas por minuto como mínimo.

La función primaria de una rectificadora podría ser:

- Rectificar a terminación la bancada de cojinetes es un ciclo de 3.00 ± 0.03 minutos a un diámetro de 75 ± 0.1 con una superficie de acabado de Ra0.2.

Los límites del funcionamiento deseado se conocen como límites de especificación superior e inferior. Los límites de capacidad de proceso son conocidos como límites de control superior e inferior.

Los límites superiores e inferiores también se aplican a especificaciones funcionales tales como precisión de los indicadores, configuración de sistemas de control, y dispositivos de protección.

4.7.9. El contexto operacional

En la primera parte, RCM (Reliability Centred Maintenance) se definió como un “proceso utilizado para determinar los requerimientos de mantenimiento de cualquier activo físico en su contexto operacional”. El contexto afecta a todo proceso de formulación de estrategias de mantenimiento, comenzado por la definición de funciones.

Por ejemplo, consideremos una situación en la que un programa de mantenimiento está siendo desarrollado para un camión utilizado para transportar material desde Villorigen a Villafin. Antes de que pueda definirse las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados, el personal que está desarrollando el programa necesita asegurarse de comprender el contexto operacional en forma exhaustiva.

Por ejemplo, ¿a qué distancia está Villaorigen de Villafin? ¿Sobre qué tipo de terrenos y caminos? ¿Cuáles pueden ser las condiciones climáticas y de tráfico tomando el típico peor de los casos? ¿Qué tipo de carga está llevando el camión (frágil, corrosiva, abrasiva y explosiva)? ¿Qué límites de velocidad u otras restricciones se aplican a esta ruta? ¿Qué facilidades de carga de combustible existen a lo largo del camino?

La respuesta a éstas preguntas llevamos a definir la función primaria de éste vehículo de esta manera: “Transportar 40 toneladas de planchas de acero a velocidades de hasta 90 Km por hora (promedio de 60 Km. por hora) desde Villaorigen hasta Villafin con un tanque de combustible”

El contexto operacional también influencia profundamente los requerimientos para las funciones secundarias. En el caso del camión, el clima puede determinar el uso de aire acondicionado, alguna reglamentación especial puede requerir mayor iluminación, y la lejanía del destino quizás implique llevar repuestos especiales a bordo del camión.

El contexto no sólo influencia en gran modo las funciones y las expectativas de funcionamiento, sino que también afecta la naturaleza de los patrones de falla que pueden ocurrir, sus efectos y consecuencias, la periodicidad la que con la que puede ocurrir y qué debe hacerse para manejarlos.

Por ejemplo consideremos nuevamente la bomba que muestra la figura 2.1. Si fuese llevada a una zona en la que debe bombear u barro, o lodo algo abrasivo hacia un tanque B desde el cual el barro extraído a razón de 900 litros por minuto, la función primaria sería:

- Bombear barro al tanque B no menos de 900 litros por minuto.

Este es un parámetro de funcionamiento más exigente que en el que requería su locación anterior, entonces también se eleva el estándar al que debe ser mantenido. La naturaleza, frecuencia y gravedad de los patrones de falla cambia al pasar de bombear agua a bombear barro. Como resultado, aunque la bomba es exactamente la misma, en su nuevo contexto muy probablemente termine con un programa de mantenimiento completamente diferente.

Todo esto significa que cualquiera que comience a aplicar RCM (Reliability Centred Maintenance) a cualquier proceso o activo Físico debe asegurarse de tener un claro entendimiento del contexto operacional antes de comenzar. Algunos de los factores importantes que deben ser considerados son:

- Si el activo físico es parte de un proceso continuo o por lotes
- La presencia de redundancia o modos de producción alternativa
- Los parámetros de calidad que se requieren de producto terminado
- El contexto operacional y los estándares ambientales
- Riesgos de seguridad
- Turnos de trabajo
- Volúmenes de almacén de productos terminados y de trabajo en proceso
- Tiempo de reparación
- Política de repuestos en almacén
- Tendencias u fluctuaciones estacionales en la demanda del mercado, y/o el ingreso de materia prima.

4.7.10. Documentación del contexto operacional

Por todas estas razones es esencial asegurar que todos los involucrados en el desarrollo del programa de mantenimiento para cualquier activo físico comprendan claramente su contexto operacional. La mejor manera de hacerlo es documentar el contexto operacional, si es necesario incluyendo la definición de la misión de la organización como parte del proceso RCM (Reliability Centred Maintenance).

En el siguiente cuadro muestra la definición de un contexto operacional hipotético para la rectificadora que se mencionó anteriormente. El cigüeñal es usado en un tipo de motor de un automóvil X.

La jerarquía comienza con la división de la corporación que produce este modelo, pero podría haber ido a un nivel más alto incluyendo a toda la corporación. Notemos que

la definición del contexto a cualquier nivel debería ser aplicable a todos los activos físicos que están por debajo en la jerarquía, y no solo al activo físico que está por bajo revisión.

Las definiciones de contexto a niveles superiores en esta jerarquía son simples definiciones de funciones amplias. Los parámetros de funcionamiento en los niveles más elevados cuantifican las expectativas desde el punto de vista del negocio general. A niveles más bajos los parámetros de funcionamiento se vuelven cada vez más específicos hasta alcanza el activo físico que esta bajo revisión. Las funciones primarias y secundarias a este nivel se definen como se describe en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO 5: CREACIÓN DE LA HOJA DE INFORMACIÓN “AMFE”
(FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS)

5. CREACIÓN DE LA HOJA DE INFORMACIÓN “AMFE” (FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS)

Al considerar de donde obtener la información necesaria para armar un ANFE (FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS) completo, debemos recordar las necesidades proactivas. Esto significa que debe darse tanto énfasis a lo que podría ocurrir como lo que ha ocurrido.

Al llevar a cabo un AMFE (FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS), la primera fuente de información que se nos viene a la mente es el fabricante. Sobre todo en el caso de equipos nuevos. Sin embargo lo que los fabricantes o proveedores pueden aportar tiene un valor limitado por ciertas razones, por eso es necesario realizar un análisis de la falla funcionales y la obtención de los modos de falla respectivos.

Para poder confeccionar nuestro AMFE (FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS), para crear el plan de mantenimiento, es indispensable dominar ciertos conceptos que serán desarrolladas en la próximas secciones de este capítulo. En las cuales se consideran las definiciones, formas de obtención, y las categorías, de modos de falla y el nivel de detalle necesario para la elaboración del ANFE (FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS). De ahí en adelante consideramos los efectos de las fallas, fuentes de información para análisis de modos de falla y sus efectos (AMFE (FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS)) obtenidos en la mesa de conversación de RCM (Reliability – Centred Maintenance), y cómo los modos de falla y sus efectos deben ser registrados.

5.1. TIPOS DE FUNCIONES

Todo activo físico tiene más de una función, frecuentemente tiene varias. Si el objetivo del mantenimiento es asegurar de que continúe realizando las funciones, entonces todas ellas deben ser identificadas junto con los parámetros de funcionamiento deseados.

Las funciones se dividen en dos categorías principales (funciones primarias y secundarias) luego divididas nuevamente en varias subcategorías.

5.1.1. Funciones primarias

Las organizaciones adquieren activos físicos por una o más razones. Estas “razones” son definidas por la enunciación de funciones adecuadas formuladas. Se conoce como Funciones Primarias por se una razón principal por las cuales existe el activo, por ello debemos cuidar de definir tan precisamente como sea posible.

Las funciones primarias son generalmente fáciles de reconocer. De hecho el nombre de la mayoría de los activos físicos industriales se basa en su función primaria.

Por ejemplo la función primaria del camión analizado es transportar la olla de escoria de cobre de 18 toneladas desde la nave de fundición hasta los botaderos de escoria.



Figura 5-1: Camión Kirow transportador de olla de escoria de cobre



Figura 5-2: Nave de fundición



Figura 5-3: Botaderos de escoria

Como mencionamos anteriormente el desafío real está en definir las expectativas de funcionamiento asociadas a esas funciones primarias tienen que ver con velocidad, volumen, y capacidad de almacenamiento. La calidad del producto también debe ser considerada en este punto.

5.1.2. Funciones secundarias

Se pretende que la mayoría de los activos físicos cumplan una o más funciones adicionales además de la primaria.

Estas se conocen como funciones secundarias.

Algunos ejemplos de funciones secundarias del camión transportador de olla de escoria de cobre de 18 toneladas son:

- Transporte de la olla de escoria transcurra en forma segura para el operador
- Transporte de la olla de escoria sea seguro para el medio ambiente
- Transportar olla de escoria a no más de 16 Km/h cuando esta se encuentre llena
- Transportar olla de escoria a no más 32 km/h cuando la olla se encuentre vacía

Para asegurarnos que ninguna de estas funciones sea pasada por alto, se divide en siete categorías de la siguiente manera:

- Ecología – integridad ambiental
- Seguridad
- Control / confort / contención
- Apariencia
- Protección
- Eficiencia / economía / integridad estructural
- Funciones superfluas

La primera letra de cada línea de esta lista forma la palabra ESCAPE. Aunque las funciones secundarias son usualmente menos obvias que las primarias, la pérdida de una función secundaria puede tener serias consecuencias, a veces hasta más serias que la pérdida de una función primaria. Como resultado, las funciones secundarias frecuentemente necesitan tanto o más mantenimiento que las funciones primarias, por lo que deben ser claramente identificadas.

Debe tenerse un especial cuidado para identificar las funciones de los dispositivos de protección. Estos trabajan de una de estas cinco maneras.

- Llamar la atención a lo operadores ante condiciones anormales.
- Detener el equipo ante una eventual falla
- Eliminar o aliviar condiciones anormales que se dan luego de una falla y que podrían causar un daño más serio
- Tomar control de una función que ha fallado
- Prevenir que sucedan situaciones peligrosas desde un comienzo.

5.2. COMO SE DEBEN REGISTRARSE LAS FUNCIONES

Una especificación de función adecuadamente escrita define precisamente los objetivos de la empresa. Esto asegura que todos los involucrados sepan exactamente qué se quiere, lo que a su vez asegura que las actividades de mantenimiento permanezcan enfocadas hacia las necesidades reales del usuario (o clientes). También ayuda a absorber los cambios desencadenados por las expectativas cambiantes sin descarrilar a toda empresa.

Las funciones se listan en la columna de la izquierda de la hoja de información RCM (Reliability – Centred Maintenance).

Las funciones primarias se escriben primero, y se numeran como lo muestra la tabla 5.1. (Estas funciones se aplican al sistema de escape de la turbina de gas de 5megawatts)

Tabla 5-1: Descripción de funciones

		Sistema
		Sub-sistema
FUNCION		
1	Conducir sin restricciones todos los gases calientes de escape de la turbina hasta un punto fijado a 10 metros encima del techo de sala de turbinas	
2	Reducir el nivel de ruido del escape a la norma "ISO Noise Rating 30" hasta a 50 m	
3	Asegurar que la temperatura en la superficie del ducto en el interior de la sala de turbinas no supere los 60°C	
4	Transmitir una señal de advertencia al centro de control si la temperatura de los gases de escape superan los 475°C y una señal de parada si superan los 500°C en un punto a 4 metros de la turbina	
5	Permitir el libre movimiento del ducto debido a las dilataciones causadas por los cambios de temperatura	

5.3. FALLAS FUNCIONALES

Vimos cómo las personas y las organizaciones adquieren activos físicos porque quieren que realicen una tarea, y también esperan que cumplan sus funciones en relación con ciertos parámetros aceptables de funcionamiento.

Sin embargo, si por alguna razón es incapaz de hacer lo que el usuario desea, éste considerará que ha fallado.

Entonces un activo físico ha fallado cuando no hace lo que el usuario desea que haga. También vimos que cada activo tiene más de una función, por lo tanto al ser posible que cada activo tiene más de una función, por lo tanto al ser posible que cada una de éstas falle, se deduce que cualquier activo físico puede tener una variedad de estados de falla diferentes.

Un ejemplo de falla funcional del camión transportador de una olla de escoria de cobre de 18 toneladas es:

- Totalmente incapaz de transportar la olla de escoria de cobre de 18 toneladas, desde la nave de fundición hasta los botaderos de escoria

Esto muestra porqué es más preciso definir una falla en términos de “pérdida de una función específica” y no con las “falla del activo físico como un todo”. También muestra porqué el proceso de RCM (Reliability – Centred Maintenance) utiliza el término “Falla funcional” para describir estados de falla y no a la falla por sí sola. Sin embargo para completar la definición de falla, debemos estudiar también el tema de los parámetros de funcionamiento.

5.4. PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO Y FALLAS

Los límites entre las condiciones satisfactorias y las fallas están especificados por un parámetro de funcionamiento.

Dado que éste se aplica a funciones individuales, podemos definir una falla funcional como:

“La incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario.”[4]

Los párrafos siguientes exploran diferentes aspectos de las fallas funcionales bajo los siguientes encabezados:

- Falla total y parcial
- Límites superiores e inferiores
- Instrumentos e indicadores
- El contexto operacional

5.5. **FALLA TOTAL O PARCIAL**

La definición citada más arriba de una falla funcional se refiere a una pérdida total de la función. También abarca situaciones en las que el comportamiento funcional queda al margen de los límites admisibles.

Por ejemplo, la función primaria del camión citado más arriba se puede definir como

Transportar una olla de escoria de cobre de 18 toneladas desde la nave de fundición hasta los botaderos de escoria.

Esta función podría sufrir dos fallas funcionales:

- No transporta la olla de escoria desde la nave de fundición hasta los botaderos.
- Transporta la olla de escoria con un nivel de eficacia menor al esperado.

Una pérdida parcial de función casi siempre proviene de modos de falla diferentes de los que provocan una pérdida total, y las consecuencias casi siempre son diferentes. Por esta razón debe registrarse todas las fallas funcionales asociadas a cada función.

⁴ “Curso Formación RELIABILITY-CENTRED MAINTENANCE RCM II (versión 2)”

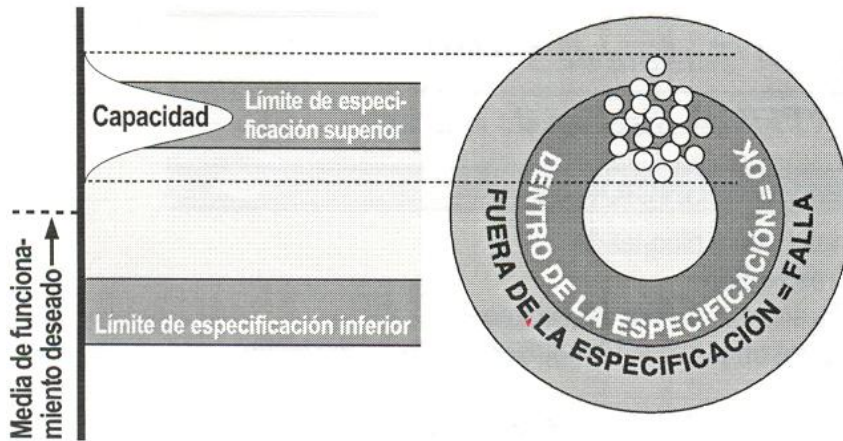
5.6. LÍMITES SUPERIORES E INFERIORES

Anteriormente se explico que los parámetros de funcionamiento asociados algunas funciones incorporan límites superiores e inferiores. Dichos límites significan que el activo físico ha fallado si produce productos que están por arriba del límite superior, o por debajo del inferior. En este caso deben ser identificados por separado ya que los modos de falla y las consecuencias asociadas son diferentes para ambos límites.

La función del camión analizado anteriormente era “ Transportar una olla de escoria de cobre de 18 toneladas desde la nave de fundición hasta los botaderos de escorian.

- Totalmente incapaz de transportar loa olla de escoria de cobre de 18 toneladas desde la nave de fundición hasta los botaderos de escoria.
- Totalmente incapaz de transportar la taza de escoria de cobre de 18 toneladas, desde la nave de fundición hasta lo botaderos de escoria, por no ser posible la olla de escoria.
- Totalmente incapaz de transportar la taza de escoria de cobre de 18 toneladas, desde la nave de fundición hasta lo botaderos de escoria, por no ser posible voltear la olla
- Parcialmente incapaz de transportar la olla de escoria de 18 toneladas desde la nave de fundición hasta los botaderos de escoria.

En la práctica los estados de falla asociados a los límites superiores e inferiores pueden manifestarse de dos maneras. En primer lugar, el rango de capacidad podría ir más allá de los límites de especificaciones sólo en una dirección, como lo muestra la grafica 5.1

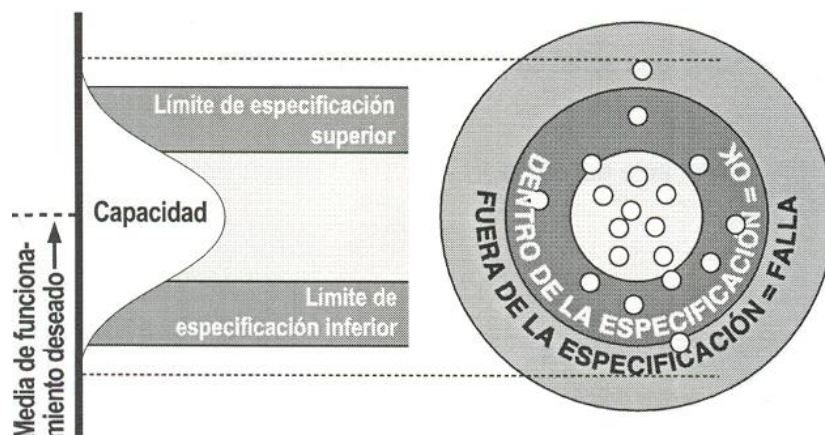


Grafica 5-1: La capacidad solamente excede el límite superior

Notemos que en ambos casos no todos los productos producidos por el proceso en cuestión habrían fallado. Si la ruptura de los límites es menor, sólo será producido un pequeño porcentaje de productos que están fuera de las especificaciones. Sin embargo, cuando más alejado del centro esté el grupo en el primer caso, o cuanto más amplio sea el rango en el segundo caso, más porcentaje de fallas habrá.

También se aplica límites de éste tipo a los parámetros de funcionamiento asociados a medidas, indicadores, y sistemas de protección y control.

El segundo estado de falla ocurre cuando el rango de capacidades es tan amplio que va más allá de ambos límites, el superior y el inferior, como lo muestra la grafica 5.2



Grafica 5-2: La capacidad va más allá de los límites superiores e inferiores.

5.7. ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA Y SUS EFECTOS

Al definir las funciones y los parámetros de funcionamiento deseados de cualquier activo físico, definimos los objetivos de mantenimiento con respecto a él. La definición de las fallas funcionales nos permite determinar exactamente qué queremos decir con “Falla”. Estos dos temas son considerados por las primeras dos preguntas del proceso RCM (Reliability – Centred Maintenance).

Las próximas preguntas buscan identificar los modos de falla que probablemente causen cada falla funcional, y determinar los efectos de la falla asociados con cada modo de falla. Esto se realiza a través de un análisis de modos de falla y sus efectos para cada falla funcional.

5.7.1. ¿Qué es un modo de falla?

Un modo de falla podría ser definido como cualquier evento que pueda causar la falla de un activo físico (o sistema de proceso). Sin embargo anteriormente mostramos que es vago y simplista aplicar el término “falla” a un activo físico de manera general. Es mucho más preciso distinguir entre “una falla funcional” (un estado de falla) y un “modo de falla” (un evento que puede causar un estado de falla). Esta distinción lleva a la siguiente definición más precisa de un modo de falla:

“Un modo de falla es cualquier evento que causa una falla funcional.”^[5]

La mejor manera de mostrar la conexión y la diferencia entre estados de falla y los eventos que podrían causarlos es, primero hacer un listado de las fallas funcionales, y luego registrar los modos de falla que podrían causar la falla funcional, como los muestra la tabla 5-2.

⁵ “ Curso Formación RELIABILITY-CENTRED MAINTENANCE RCM II (versión 2)”

Tabla 5-2: Modos de falla de una bomba.

Sistema		<i>Sistema de Bombeo de Agua de Refrigeración</i>	
Sub-sistema			
FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la Falla)	
1	A Incapaz de transferir agua	1	Los cojinetes se agarrotan
		2	El impulsor queda loco, se suelta
		3	El impulsor se traba por un cuerpo extraño
		4	El cubo de acople falla por fatiga
		5	El motor se quema
		6.	Válvula de ingreso se traba en la posición cerrada
	B Transfiere menos de 800 litros por minuto	1	Impulsor gastado
		2	Línea de succión parcialmente bloqueada

5.7.2. ¿Porqué analizar modo de falla?

Una maquina puede falla por diversos motivos. Un grupo de máquinas o un sistema como línea de producción puede fallar por cientos de razones. Para una planta entera, los números ascienden a miles, inclusive hasta decenas de miles.

La mayoría de los gerentes se estremecen ante la idea del tiempo y el esfuerzo involucrado en la identificación de todos estos modos de falla. Muchos deciden que éste tipo de análisis es demasiado trabajoso, y abandonan la idea por completo. Al hacerlo estos gerentes pasan por alto el hecho de que en el día a día El mantenimiento es realmente manejado al nivel de modo de falla. Por ejemplo:

- Las órdenes de trabajo o pedidos de trabajos surgen para cubrir modos de fallas específicos.
- El planeamiento del mantenimiento día a día tratar de hacer planes para a bordar modos de falla específicos.
- En la mayoría de las empresas industriales el personal de mantenimiento y operaciones tiene reuniones cada día. Las reuniones casi siempre consisten en discusiones acerca de lo que ha fallado, qué las causó, quién es responsable, qué se está haciendo para reparar el problema y a veces, qué puede hacerse para prevenir que vuelva a suceder. Entones casi toda la reunión se destina a hablar acerca de los modos de falla.
- En gran medida, los sistemas de registro del historial técnico registran modos de falla individuales (o al menos qué fue hecho para rectificarlos).

En la mayoría de éstos casos, éstos modos de falla son discutidos, registrados, y muy manejados luego de haber ocurrido. Tratar fallas después de hayan ocurrido es por supuesto la esencia del mantenimiento reactivo.

Por otro lado el mantenimiento proactivo significa manejar los eventos antes de que ocurra, o al menos decidir cómo debieran ser manejados si llegaran a ocurrir.

Para ello debemos saber por adelantado que eventos tienen posibilidades de ocurrir. Los “eventos” en este contexto son los modos de falla. Entonces si deseamos aplicar mantenimiento verdaderamente proactivo a cualquier activo físico, debemos tratar de identificar todos los modos de falla que pudieran afectarlo. El ideal sería poder identificarlos antes de que ocurriesen, o si esto no es posible, al menos antes de que vuelvan a ocurrir.

Una vez que cada modo de falla ha sido identificado, entonces es posible considerar qué sucede cuando ocurre, evaluar las consecuencias y decidir si algo debiera hacerse para anticipar, prever, detectar, corregir, o hasta rediseñar.

Entonces el proceso de selección de tareas de mantenimiento, y gran parte de manejo de estas tareas es llevado a cabo al nivel del modo de falla.

Si aceptamos que el mantenimiento significa asegurar que los activos físicos continúen haciéndolo que sus usuarios quieren que haga, entonces un programa de mantenimiento global debe tener en cuenta todos los eventos que tienen posibilidades de amenazar esa funcionalidad. Los modos de falla pueden ser clasificados en tres grupos de la siguiente manera:

- Cuando la capacidad cae por debajo del funcionamiento deseado
- Cuando el funcionamiento deseado se eleva más allá de la capacidad inicial
- Cuando desde el comienzo el activo físico no es capaz de hacer lo que se quiera.

Los modos de falla deben ser descritos detalladamente para que sea posible seleccionar una estrategia adecuada de manejo de falla, pero no con tanto detalle como para que se pierda demasiado tiempo en el proceso de análisis

“Los modos de falla deben ser definidos con el detalle suficiente como para posibilitar la selección de una adecuada política de manejo de la falla.”[6]

⁶ “Curso Formación RELIABILITY-CENTRED MAINTENANCE RCM II (versión 2)”

Copyright held by ALADON 1999

ELLMAN, SUERIO Y ASOCIADOS

El nivel de detalle afecta profundamente la validez del AMFE (FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS) y la cantidad de tiempo que requiere hacerlo. La escasez de detalles y / o de modos de falla pueden llevar un análisis superficial y hasta peligroso. Por el contrario demasiados modos de falla o demasiados detalles hacen que todo el proceso de RCM (Reliability – Centred Maintenance) lleve mucho más tiempo que el necesario. Esto significa que es esencial tratar de lograr un equilibrio correcto.

5.8. FUENTE DE INFORMACIÓN ACERCA DE MODOS Y EFECTOS

Al considerar de dónde obtener la información necesaria para armar un AMFE (FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS) completo, debemos recordar la necesidad de ser preactivos. Esto significa que debe darse tanto énfasis a los que ha ocurrido.

5.8.1. El fabricante o proveedor del equipo

Al llevarse a cabo un AMFE (FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS), la primera fuente de información que nos viene a la mente es el fabricante. Sobre todo en el caso de equipos nuevos. Sin embargo tiene un valor limitado por las siguientes razones:

- Rara vez están involucrados en la operación cotidiana del activo físico, por lo que rara vez tienen acceso a información acerca de qué falla y sus motivos.
- Tienen poco acceso a información acerca del contexto operacional del equipo, los parámetros de funcionamiento deseados, las consecuencias de falla y las habilidades de los operarios y personal de mantenimiento que disponen los usuarios.

Como resultado, los AMFE (FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS) realizados por estos fabricantes generalmente son genéricos y altamente especulativos, lo que en gran medida limita su valor. De hecho la mejor manera de acceder al conocimiento que los fabricantes tienen acerca del comportamiento del equipo en el campo, es pedirles que ubiquen a técnicos experimentados en el campo para trabajar a la par de las personas que eventualmente operarán y mantendrán el activo físico, para desarrollar un AMFE (FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS) que sea satisfactorio para ambas partes.

5.8.2. Lista genérica de modos de falla

Las listas de modos de falla “genéricas” son listas de modos de fallas, o a veces AMFE completos, preparados por otra persona. Pueden cubrir sistemas enteros, pero frecuentemente cubren sólo un activo físico, o un solo componente. Estas listas genéricas a veces son consideradas como una manera de acelerar esta parte del proceso de RCM (Reliability – Centred Maintenance). Deben ser abordados con precaución debido a los siguientes motivos:

- El nivel de análisis puede ser inapropiado
- El contexto operacional puede ser diferente
- Los parámetros de funcionamiento pueden cambiar.

Estos tres puntos significan que, de utilizarse una lista genérica de modos de falla, sólo debe ser usada para reforzar un AMFE (FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS) de contexto específico, y nunca utilizado por sí solo como una lista definitiva.

Los otros usuarios son una misma fuente de información obvia y muy valiosa acerca de los que pueden fallar En activos físicos comúnmente utilizados. Sin embargo deben ser tratados con cautela ya que frecuentemente son incompletos, a menudo describen lo que fue hecho para reparar la falla en vez de los que la causó, y generalmente describen modos de falla que en realidad son efecto de alguna otra falla.

En la mayoría de los casos la mejor fuente de información para preparar un AMFE (FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS) son las personas que operan y mantienen el equipo en el día a día. Ellos tienden a conocer más acerca del funcionamiento del equipo, acerca de qué puede sucederle, qué importancia tiene cada falla y qué debe hacerse para repararla. Y si no lo saben, son ellos quienes tienen más motivos para averiguarlo.

5.8.3. Una hoja de información completa “amfe” (failure mode and effect analysis)

Los efectos de falla se registran en la última columna de la hoja de información, junto al modo de falla correspondiente, como se muestra en la siguiente tabla 5-3.

Tabla 5-3: Hoja de información completa AMFE (FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS)

Hoja de Información RCM		Elemento: Camión Transportador de Escoria	Realizado por:	Fecha:	Hoja: 1
			Revisado por:	Fecha:	De:
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTO DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)		
1 Transportar la taza de escoria de cobre 18 t, desde la nave fundición hasta los Botaderos de escoria.	A Totalmente incapaz de transportar la taza de escoria de cobre 18 t, desde la nave fundición hasta los Botaderos de escoria.	1 Motor no gira.	Se encienden los testigos luminosos y zumbador de advertencia. Verifica estado mecánico del Motor. (Motor se analiza por separado)		
		2 Motor gira, pero no enciende por sistema de combustión. Falta de combustible.	Se enciende el testigo luminoso y zumbador de advertencia. 1 hora para su llenado de estanque. (Ver acción de Purga)		
		3 Motor gira, pero no enciende por sistema de combustible. Filtro sucio.	Se enciende el testigo luminoso y el zumbador de advertencia. 2 horas en cambios de filtros de combustible.		
		4 Motor gira, pero no enciende por Sistema de combustible. Bomba de trasvasije dañada.	Se enciende el testigo luminoso y zumbador de advertencia. 3 horas en cambiar la bomba de trasvasije.		
		5 Motor gira pero no enciende por sistema de combustible. Inyectores Bomba dañados.	Se enciende testigo luminoso y zumbador de advertencia. 3 a 8 horas dependiendo si es un reemplazo o una reparación.		
		6 Motor gira, pero no enciende por compresión.	Se enciende testigo luminoso y zumbador de advertencia. Reparación 5 a 12 horas dependiendo del daño.		
		7 Motor gira, pero no enciende por Filtro de aire.	Se enciende testigo luminoso y zumbador de advertencia. 1 hora en cambio de filtro.		

CAPÍTULO 6: ELABORACIÓN DE LA HOJA DE TOMA DE DECISIONES
RCM (REALIABILITY – CENTRED MAINTENANCE)

6. ELABORACIÓN DE LA HOJA DE TOMA DE DECISIONES RCM (REALIABILITY – CENTRED MAINTENANCE)

Cada vez que ocurre una falla, está de alguna manera afecta la organización que utiliza activo físico. Algunas fallas afectan la producción, la calidad del producto o la atención al cliente. Otras representan un riesgo para la seguridad o el medio ambiente. Algunas incrementan los costos operativos

Para confeccionar la hoja de decisión de RCM (Reliability – Centred Maintenance), es necesario conocer el criterio utilizado para responder las últimas tres de las siete preguntas que conforman el proceso de RCM (Reliability – Centred Maintenance).

- ¿Qué importa si falla?
- ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no puede encontrarse una tarea proactiva apropiada?

Cada falla tiene un conjunto de consecuencias específicas asociadas a ellas. Si las consecuencias son serias, entonces se harán esfuerzos considerables para prevenir la falla, o al menos para anticiparla a tiempo como para reducir o eliminar las consecuencias. Sobre todo si la falla, podría causar heridas o la muerte a una persona o serios efectos sobre el medio ambiente. Pero también si las falla interfieren como la producción o las operaciones, o si pueden causar daños secundarios o significativos

Por otro lado, si la falla sólo tiene consecuencias menores, es posible que no se tome ninguna acción proactiva, y que la falla simplemente sea reparada cada vez que ocurra.

Esto sugiere que las consecuencias de las fallas son más importantes que sus características técnicas. También sugiere que la idea del mantenimiento proactivo no es tanto acerca de prevenir fallas si no de evitar o reducir las consecuencias de falla.

“El mantenimiento proactivo tiene que ver mucho más con evitar o reducir las consecuencias de la falla que con prevenir la falla misma” [7]

^{1,2,3} “Curso Formación RELIABILITY-CENTRED MAINTENANCE RCM II (versión 2)”

Copyright held by ALADON 1999

ELLMAN, SUERIO Y ASOCIADOS

Si aceptamos esto, entonces se entiende que cualquier tarea proactiva solo vale la pena si resuelve adecuadamente la falla que se pretende evitar.

“Merece la pena realizar una tarea proactiva si resuelve adecuadamente las consecuencias las consecuencias de la falla que se pretende evitar” [2]

Esto ciertamente presupone que es posible anticipar o prevenir la falla. Si una tarea proactiva adecuada, la naturaleza de la consecuencias de falla también indicar que acción “a falta de” deben ser tomada.

6.1. FUNCIONES OCULTAS Y EVIDENTES

“Una función evidente es aquella cuya falla finalmente será evidente por si sola a los operadores en circunstancias normales” [3]

No obstante, algunas fallas ocurren de tal forma que nadie sabe que el elemento se ha averiado a menos que se produzca alguna otra falla.

Las fallas evidentes se clasifican en tres categorías de importancia decreciente de la siguiente manera:

6.1.1. Consecuencias para la seguridad y el medio ambiente

“Un modo de falla tiene como consecuencias para la seguridad si causa una pérdida de función u otros daños que pudieran lesionar o matar a alguien” [8]

“Un modo de falla tiene consecuencias ambientales si causa una perdida de función u otros daños que pudieran conducir a la infracción de cualquier normativa o reglamento ambiental conocido” [5]

Si la falla pudiese afectar la seguridad o el medio ambiente, el proceso de RCM (Reliability – Centred Maintenance) estipula que debemos intentar prevenirla. Para eso se sugiere que:

^{8,5,6}“ Curso Formación RELIABILITY-CENTRED MAINTENANCE RCM II (versión 2)”

“Para modos de falla que tienen consecuencias para la seguridad o el medio ambiente, sólo merece la pena realizar una tarea proactiva si reduce la probabilidad de la falla a un nivel tolerablemente bajo” [6]

6.1.2. Consecuencias operacionales

La función primaria de la mayoría de los equipos en la industria está vinculada de algún modo con la necesidad de producir ingresos o de apoyar alguna actividad económica. Las fallas que afectan las funciones primarias de estos activos físicos afectan la capacidad generadora de ingresos de la compañía. En general las fallas afectan las operaciones de producción de cuatro maneras:

- Afectan al volumen de producción total.
- Afectan la calidad del producto.
- Afectan el servicio al cliente.
- Incrementan el costo operacional sumando este costo adicional al costo directo de la reparación

Si una falla evidente no supone una amenaza a la seguridad y el medio ambiente, el proceso RCM (Reliability – Centred Maintenance) enfoca a continuación las consecuencias operacionales de falla.

“Una falla tiene consecuencias operacionales si tiene un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional” [9]

6.1.2.1. Evitando consecuencias operacionales

El efecto económico global de cualquier modo de falla que tiene consecuencias operacionales depende de dos factores

- Cuánto cuesta la falla cada vez ocurre, en términos de su efecto sobre la capacidad operacional, más el costo de la reparación.

⁹ “ Curso Formación RELIABILITY-CENTRED MAINTENANCE RCM II (versión 2)”

- Con que frecuencia ocurre.

Si las consecuencias de la fallas son económicas, el costo total es afectado por la probable frecuencia de las consecuencias. Es decir, para evaluar la trascendencia económica de las fallas, debemos evaluar cuánto pueden costar a lo largo de un período de tiempo. Entonces si una falla trae consecuencias operacionales, el criterio para decidir si merece la pena económicamente realizar una tarea proactiva es el siguiente:

“Para modos de falla con consecuencias operacionales, vale la pena realizar una tarea proactiva si, a lo largo de un período de tiempo, cuesta menos que el costo de las consecuencias operacionales más el costo de reparar la falla que pretende evitar”^[10]

Si no se puede encontrar una tarea proactiva que sea costo-eficaz, entonces no merece la pena realizar ningún mantenimiento proactivo para tratar de anticipar o prevenir el modo de falla en cuestión. En algunos casos, la opción más costo-eficaz a esta altura podría simplemente ser la de decidir convivir con la falla.

Sin embargo, si no puede hallarse una tarea proactiva y las consecuencias de la falla todavía son inaceptables, puede ser deseable cambiar el diseño del activo físico (o cambiar el proceso) para reducir los costos totales:

- Reduciendo la frecuencia (y por el costo total) de la falla
- Reduciendo o eliminando las consecuencias de la falla
- Modificando una tarea(s) proactivas para hacerla costo-eficaz.

6.1.3. Consecuencias no operacionales

Las consecuencias de una falla evidente que no ejerce un efecto adverso directo sobre la seguridad, el medio ambiente, o la capacidad operacional, son clasificadas como no operacionales. Las únicas consecuencias asociadas con estas fallas son los costos directos de reparación. Entonces estas consecuencias son también económicas.

Esto sugiere que sólo merece la pena tratar de prevenir una falla que tiene consecuencias no operacionales si, a lo largo de un período de tiempo, el costo de la

¹⁰ “ Curso Formación RELIABILITY-CENTRED MAINTENANCE RCM II (versión 2)”

tarea proactiva es menor al costo de reparar la falla cuando ocurre. Si no lo es, entonces merece la pena realizar mantenimiento programando.

“Para modos de falla con consecuencias no operacionales, merece la pena realizar tareas proactivas si, a lo largo de un período de tiempo, cuesta menos que el costo de reparar las fallas pretende prevenir” [11]

Si no merece la pena realizar una tarea proactiva, entonces en algunos casos poco comunes podría justificarse un rediseño por razones similares a las que se aplican a fallas con consecuencias operacionales.

6.1.4. Tareas proactivas

Las acciones que pueden tomarse para tratar las fallas pueden dividirse en dos categorías:

- tareas proactivas: estas tareas comenzadas antes de que ocurra una falta, con el objetivo de prevenir que el componente llegue a un estado de falla. Engloban lo que comúnmente se denomina mantenimiento “predictivo” y “preventivo”, aunque RCM (Reliability – Centred Maintenance) utiliza los términos de reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica, y mantenimiento a condición.
- Acciones a falta de: éstas tratan con el estado de falla, y son elegidas cuando no es posible identificar una tarea proactiva efectiva. Las acciones a falta de incluyen búsqueda de falla, rediseño, y mantenimiento o rotura.

Estas dos categorías corresponden a la sexta y séptima de las siete preguntas que forman el proceso de decisión básico de RCM (Reliability – Centred Maintenance), de la siguiente manera:

- ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
- ¿Qué sucede si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva apropiada?

¹¹ “Curso Formación RELIABILITY-CENTRED MAINTENANCE RCM II (versión 2)”

“Si una tarea proactiva es técnicamente factible o no, depende de las características técnicas del modo de falla y de la tarea” [12]

Desde el punto de vista técnico, deben contemplarse dos temas que hacen a la selección de la tarea proactiva. Éstos son:

- La relación entre la edad del componente que se está considerando y la probabilidad de que falle
- Que sucede una vez que ha comenzado a ocurrir la falla.

6.2. CUANDO VALE LA PENA REALIZAR TAREAS A CONDICIÓN

Las tareas a condición deben satisfacer los siguientes criterios para que justifique su realización:

- Si una falla es oculta, no tiene consecuencias directas. Entonces una tarea a condición cuya intención es prevenir una falla oculta, debe reducir el riesgo de una falla múltiple a un nivel aceptablemente bajo. En la práctica, debido a que la función es oculta, muchas de las fallas potenciales que normalmente afectan a las funciones evidentes también serán ocultas. Más aún: muchos de estos tipos de equipos sufren fallas aleatorias cuyos intervalos P-F (Desarrollo intervalo P-F en Anexo 1) son muy cortos o no existentes, por lo cual es frecuente NO encontrar una tarea a condición que sea técnicamente factible y que merezca la pena ser realizada para una función oculta. Esto no quiere decir que no hay que buscarla.
- Si la falla tiene consecuencias para la seguridad o el medio ambiente, sólo merece la pena realizar una tarea a condición si fiablemente da suficiente advertencia de la falla como para que se pueda actuar a tiempo para evitar las consecuencias para la seguridad o el medio ambiente.
- Si la falla no afecta a la seguridad, la tarea debe ser costo-eficaz. Entonces a lo largo de un período de tiempo, el costo de realizar la tarea a condición debe ser

¹² “Curso Formación RELIABILITY-CENTRED MAINTENANCE RCM II (versión 2)”

menor al costo de no hacerla. La pregunta del costo-eficacia se aplica a falla con consecuencias operacionales y no operacionales, de la siguiente manera:

Las consecuencias operacionales son por lo general costosas. Entonces es probable que una tarea a condición que reduce la frecuencia con la que ocurren las consecuencias operacionales sea Costo-eficaz. Eso se debe a que el costo de la inspección generalmente es bajo.

El único costo de una falla funcional que tiene consecuencias no operacionales es el de reparación. A veces esto es casi lo mismo que el costo de rectificar la falla potencial que la precede. En tales casos, aún cuando sea factible realizar una tarea a condición, no sería costo-eficaz, por que, a través de un período de tiempo, el costo de la inspección más el costo de corregir las fallas potenciales será mayor que el costo de reparar la falla funcional. Sin embargo, se puede justificar una tarea a condición si cuesta mucho más reparar la falla funcional que la falla potencial, especialmente si la primera causa daños secundarios.

6.3. SELECCIÓN DE TAREAS PROACTIVAS

Generalmente no es difícil decidir si una tarea proactiva es técnicamente factible. Las características de la falla rigen esta decisión, y generalmente son lo suficientemente claras como para que la decisión sea simplemente cuestión de sí o no

Decidir si vale la pena ser realizadas suele requerir más deliberación. Por ejemplo la tabla 6.1 indica que puede ser técnicamente factible que dos o más tareas de la misma categoría prevengan el mismo modo de falla. Hasta puede ser tan similar en términos de costo-eficacia que la elección se transforma en una cuestión de preferencia personal.

Tabla 6-1: Hoja de Decisión RCM con muestras de textos a inscribir

ACTIVO		N°	Realizado por	Fecha	Hoja										
COMPONENTE		Ref.	Revisado por	Fecha	de										
Referencia de información	Evaluación de las consecuencias				Tareas "a fallas de"				Frecuencia Inicial	A realizar por					
F	FF	FM	H	S	E	O	H1 S1	H2 O2 N2	H3 O3 N3	H4	H5	S4			
BOMBA UNICA															
1	A	1	S	N	N	S	S						Verificar si el rodamiento principal de la bomba hace ruido	Semanal	Mecánico
1	A	2	etc.												
BOMBA DE SERVICIO CON RESERVA															
1	A	1	S	N	N	N	N	N	N				Ningún Mantenimiento Programado		
1	A	2	etc.												
BOMBA DE RESERVA															
2	A	1	N				N	N	N	S			Arrancar la bomba de reserva en vez de la bomba de servicio y asegurar que la bomba de reserva sea capaz de llenar el tanque. Completada la prueba, volver a la bomba de servicio.	Cada 4 semanas	Operador

6.3.1. Orden básico para seleccionar tareas proactivas

6.3.1.1. Tareas a condición

Las tareas a condición son consideradas primero en el proceso de selección de tareas, por las siguientes razones:

- Casi siempre pueden ser realizadas sin desplazar el activo físico de su ubicación y normalmente mientras continúa funcionando. Esto implica que raramente interfieren con el proceso de producción. También son fáciles de organizar.
- Identifican condiciones específicas de falla potencial, de modo que se puede definir claramente la acción correctiva antes de que comience el trabajo. Esto reduce la cantidad de trabajos de reparación, y hace posible realizarlos más rápidamente.
- El identificar el punto de falla potencial en los equipos, les permite cumplir con casi toda su vida útil (como se ilustra en el ejemplo de la cubierta de automóvil).

6.3.1.2. Tareas de reacondicionamiento cíclico

Si no puede encontrarse una tarea a condición apropiada para una falla en particular, la opción siguiente es una tarea de reacondicionamiento cíclico. Ésta también

debe ser técnicamente factible, por lo que las fallas deben estar concentradas alrededor de una edad promedio. Si lo están, el reacondicionamiento cíclico antes de esta edad puede reducir la incidencia de fallas funcionales: Esto puede ser costo-eficaz para fallas con consecuencias económicas mayores, o si el costo de realizar las tareas de reacondicionamiento cíclico es significativamente menor al costo de reparar la falla funcional. Las desventajas del reacondicionamiento cíclico son que

- Solamente puede realizarse dependiendo del elemento y (generalmente) enviándolo al taller, por lo que estas tareas casi siempre afectan de alguna manera a la producción.
- El límite de edad se aplica a todo los elementos, entonces muchos elementos o componentes que podrían haber sobrevivido más tiempo serán removidos.
- Las tareas de reacondicionamiento involucra trabajos de taller, por lo que genera una carga mucho mayor que las tareas a condición

No obstante, el reacondicionamiento cíclico es más conservador que la sustitución cíclica porque supone reacondicionar cosas en vez de tirarlas

6.3.1.3. Tareas de sustitución cíclica

La sustitución cíclica normalmente es menos costo-eficaz de las tres tareas proactivas. Sin embargo cuando es técnicamente factible, posee algunas características deseables.

Puede ocurrir que los límites de vida segura sean capaces de prevenir ciertas fallas críticas, mientras que un límite de vida económica puede reducir la frecuencia de fallas funcionales con consecuencias económicas mayores. Sin embargo, estas tareas sufren de las mismas desventajas que las tareas de reacondicionamiento cíclico.

6.3.1.4. Combinación de tareas

Para algunos pocos modos de falla con consecuencias para la seguridad o el medio ambiente, no se puede encontrar una tarea que por sí sola reduzca el riesgo de falla a un nivel tolerablemente bajo. Tampoco se vislumbra un rediseño adecuado.

En estos casos a veces es posible encontrar una combinación de tareas (generalmente de dos categorías de tareas diferentes, tales como una tarea a condición y una tarea de sustitución cíclica), lo que reduce el riesgo de falla a un nivel tolerable. Cada tarea es llevada a cabo con frecuencia propia. Sin embargo debe puntualizarse que

las situaciones en las que esto no es necesario con muy poco frecuentes. Se debe tener cuidado de no aplicar dichas tareas como “seguro del seguro” o “por las dudas” de innecesariamente duplicación.

6.3.1.5. El proceso de selección de tareas

El proceso de selección de tareas se resume en la figura 6.1. Este orden de preferencia básico es válido para la gran mayoría de los modos de falla, pero no es aplicable para todos los casos. Si una tarea de orden inferior resulta claramente más costo-eficaz para manejar la falla que de orden superior, entonces debe ser seleccionada la tarea de orden inferior.

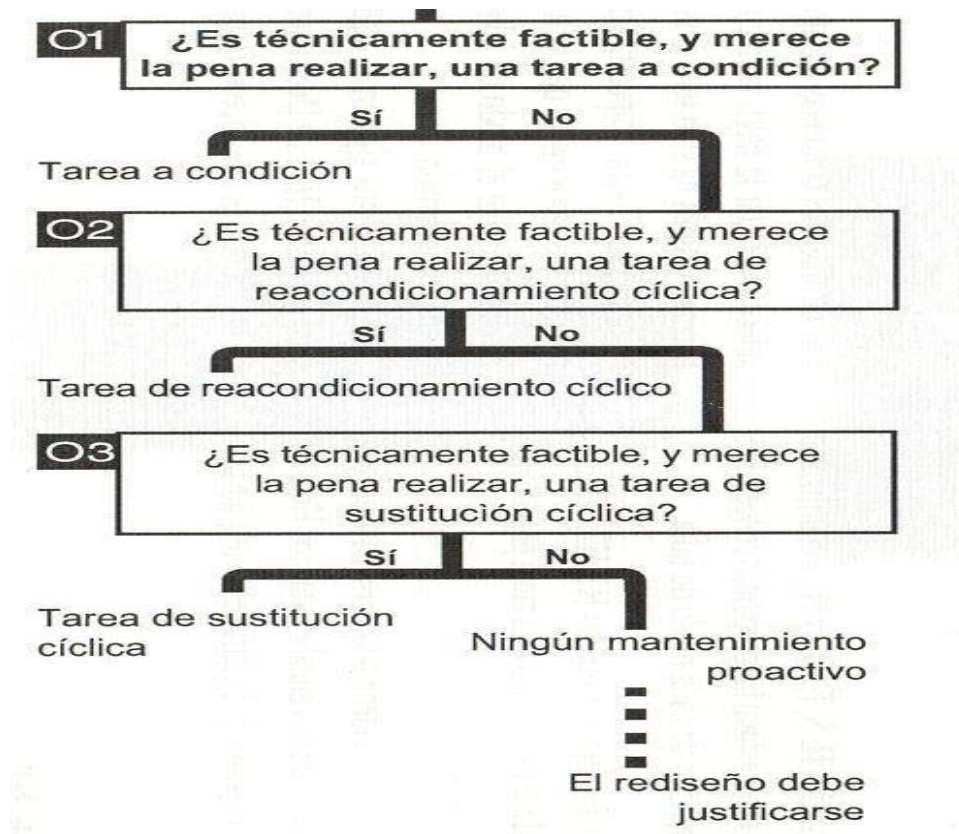


Figura 6-1: El proceso de selección de tareas

6.4. ACCIONES “A FALTA DE”

Anteriormente hemos mencionado que si no puede hallarse una tarea proactiva que sea Técnica­mente factible y que merezca la pena ser realizada para un modo de falla cualquiera, la acción “a falta de” que debe ser realizada está regida por las consecuencias de la falla, de la siguiente manera:

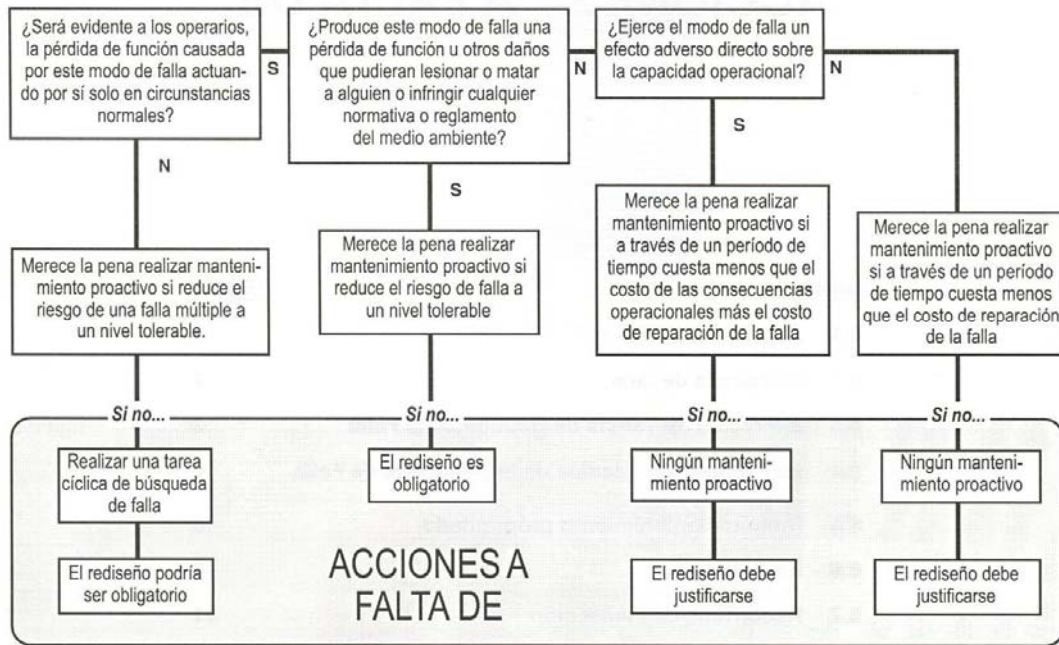
- Si no puede encontrarse una tarea proactiva que reduzca el riesgo de la falla múltiple asociada con la función oculta a un nivel tolerablemente bajo, entonces debe realizarse periódicamente una tarea de búsqueda de falla. Si no puede encontrarse una tarea de búsqueda de falla apropiada, la decisión “a falta de” puede resultar en posibilidad de rediseño.
- Si no puede encontrarse una tarea proactiva que reduzca el riesgo de una falla que podría afectar la seguridad o el medio ambiente a un nivel tolerablemente bajo, obligatoriamente debe ser rediseñado el componente o el proceso.
- Si no puede encontrarse una tarea proactiva que cueste menos, a través de un período de tiempo, que una falla que tiene consecuencias operacionales, la decisión “a falta de” inicialmente es no realizar mantenimiento programado. (Si esto ocurre y las consecuencias operacionales siguen siendo inaceptables, entonces la decisión “a falta de” secundaria nuevamente es el rediseño).
- Si no puede encontrarse una tarea proactiva que cueste menos, a través de un período de tiempo, que una falla que tiene consecuencias no operacionales, la decisión “a falta de” inicial es no realizar mantenimiento programado, y si los costos de reparación son demasiados altos, la decisión “a falta de” secundaria es nuevamente el rediseño.

La ubicación de las acciones “a falta de” en el marco de decisión RCM se muestra en la tabla 6.2. En ese punto, estamos respondiendo a la séptima de las siete preguntas que conforman el proceso de decisión de RCM (Reliability – Centred Maintenance):

- ¿Qué se debe hacer si no se puede encontrar una tarea proactiva adecuada?

Esta parte comienza con una revisión de las tareas de búsqueda de falla, luego considera el rediseño, y tareas correctivas y de rutina que quedan fuera del marco de decisión de RCM, tales como chequeos de zonas y recorridos de inspección.

Tabla 6-2: “Acciones a falta de”



6.4.1. Búsqueda de falla

6.4.1.1. Fallas múltiples

Una falla múltiple ocurre cuando falla una función protegida mientras un dispositivo de protección se encuentra en estado de falla. Esto lleva a la conclusión de que la probabilidad de una falla múltiple puede ser reducida disminuyendo la falta de disponibilidad del dispositivo de seguridad – en otras palabras, aumentando la disponibilidad.

Anteriormente hemos explicados el criterio para responder las últimas tres de las siete preguntas que conforman el proceso de RCM (Reliability – Centred Maintenance). Estas preguntas son:

- ¿Qué importa si falla?
- ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no puede encontrarse una tarea proactiva apropiada?

La hoja de decisión está dividida en dieciséis columnas. Las columnas tituladas F, FF y MF identifican el modo de falla que se analiza en esa línea. Se utilizan para correlacionar las referencias entre las hojas de información y las hojas de decisión, como lo muestra la tabla 6.4

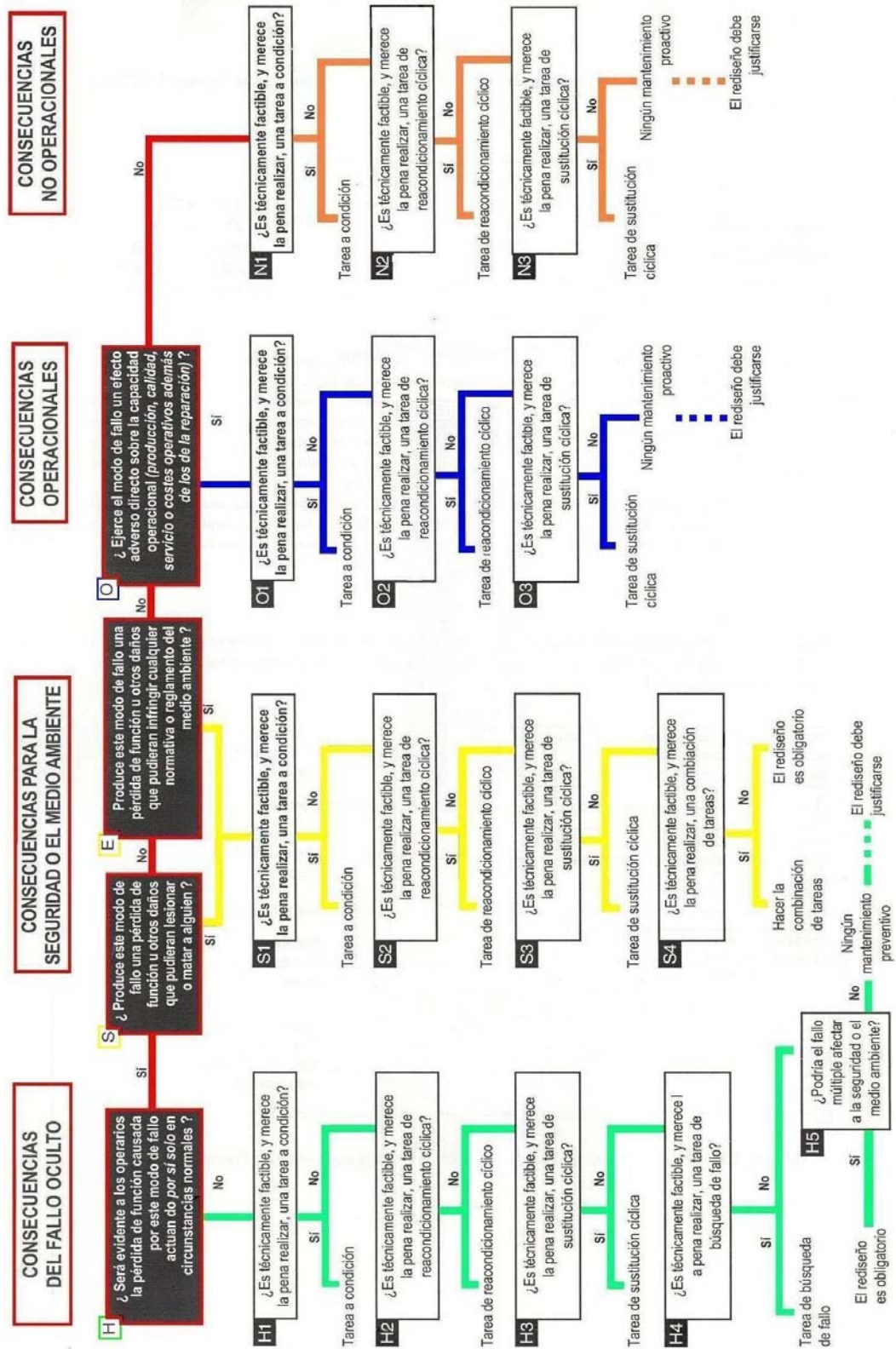
Tabla 6-4: Correlación de referencias entre las Hojas de Información y las Hojas de Decisión

		ACTIVO		<i>Sistema de bombeo de agua de refrigeración</i>	
		COMPONENTE			
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de función)		MODO DE FALLA (Causa de la falla)	
1	Transferir agua del tanque X al tanque Y a no menos de 800 litros por minuto	A	Incapaz de transferir agua en absoluto	1	Se agarra el cojinete por el uso y desgaste normal

Los encabezamientos de las próximas diez columnas se refieren las preguntas del diagrama de decisión de RCM de la Tabla 6.5, como sigue:

- las columnas tituladas H, S, E, O, (y N) son utilizadas para registrar las respuestas a las preguntas concernientes a las consecuencias de cada modo de falla
- las tres columnas siguientes (tituladas H1, H2, H3, etc.) registran si ha sido seleccionada una tarea proactiva, y si es así, qué tipo de tarea
- Si se hace necesario responder cualquiera de las preguntas “a falta de”, las columnas encabezadas con H4 y H5, o las S4 son las que permiten registrar esas respuestas.

Tabla 6-5: El Diagrama de Decisión RCM (Reliability – Centred Maintenance)



Las últimas tres columnas registran la tarea que ha sido seleccionada (si la hay), la frecuencia con la que debe hacerse y quién ha sido seleccionado para realizarla. La columna de “Tarea propuesta” también se utiliza para registrar los casos en los que se

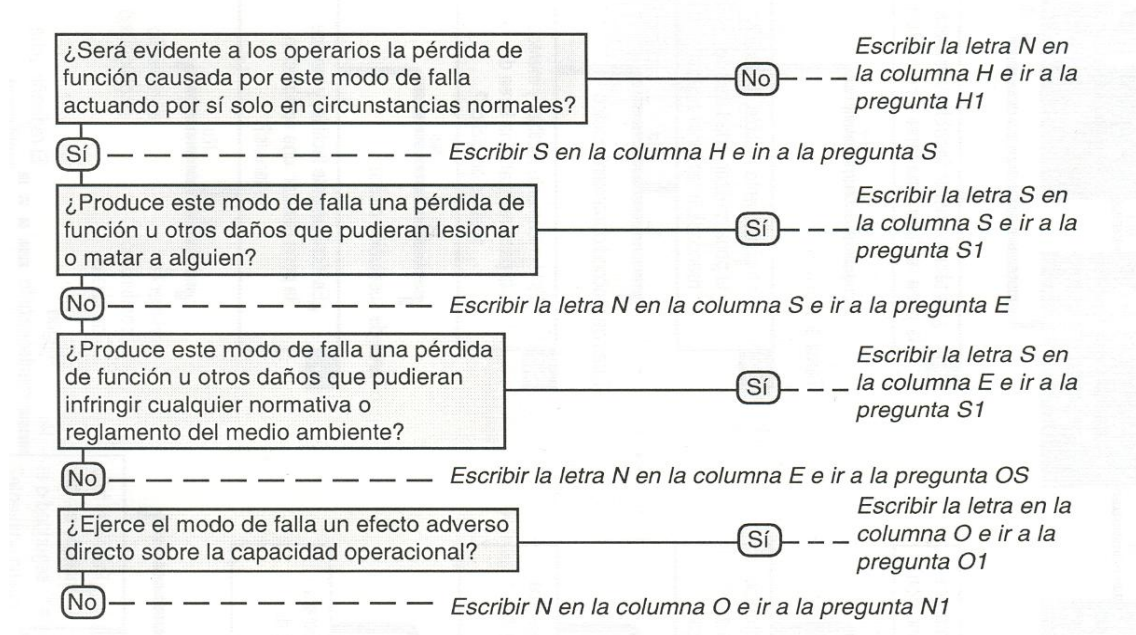
requiere rediseño o si se ha decidido que el modo de falla no necesita mantenimiento programado.

En los párrafos siguientes, cada una de estas cuatro secciones de la hoja de decisión es explicada en función de las preguntas de que hace el diagrama de decisión.

6.5.1. Consecuencias de la falla

Los significados precisos de las preguntas H, S, E, y O en la figura 9.1, se vieron en otros capítulos. Estas preguntas se hacen para cada modo de falla, y las respuestas son registradas en la Hoja de Decisión basándose en lo que a continuación muestra la tabla 6.6

Tabla 6-6: Cómo se registran las consecuencias de falla en la hoja de decisión



La Tabla 6-7 muestra cómo se registran las respuestas a estas preguntas en la hoja de decisión. Notemos que:

- Cada modo de falla es ubicado en una sola categoría de consecuencias. Entonces si es clasificado como que tiene consecuencias ambientales, no evaluamos también sus consecuencias operacionales(al menos cuando realizamos el primer análisis de un activo físico cualquiera). Esto significa que, por ejemplo, si se registra una "S" en la columna E, no se registra nada en la columna O.

- Una vez que las consecuencias del modo de falla han sido categorizadas, el próximo paso es buscar una tarea proactiva adecuada. La figura 9.5 también resume el criterio utilizado para decidir si merece la pena realizar tales tareas.

Tabla 6-7: Consecuencias de falla – un resumen

Referencia de información			Evaluación de consecuencias					
F	FF	FM	H	S	E	O		
3	A	1	N	-	-	-	-	Una falla oculta: Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea proactiva (predictiva o preventiva) debe reducir a un nivel tolerable el riesgo de una falla múltiple
5	B	2	S	S	-	-	-	Consecuencias para la seguridad: Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea proactiva debe reducir a un nivel tolerable el riesgo de esta falla por sí sola
2	C	4	S	N	S	-	-	Consecuencias para el medio ambiente: Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea proactiva debe reducir el riesgo a un nivel tolerable de esta falla por sí sola
1	A	5	S	N	N	S	-	Consecuencias operacionales: Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea proactiva debe costar menos que el costo total de las consecuencias operacionales más el costo de la reparación que pretende prevenir a través de un período de tiempo
1	B	3	S	N	N	N	-	Consecuencias no operacionales: Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea proactiva debe costar menos que el costo de reparación que pretende prevenir a través de un período de tiempo

6.5.2 Tareas proactivas

De la octava columna a la décima son utilizadas para registrar si ha sido seleccionada una tarea proactiva, de la siguiente manera:

- La columna titulada H1 / S1 / O1 / N1 es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea a condición apropiada para anticipar el modo de falla a tiempo como para evitar las consecuencias
- La columna titulada H2 / S2 / O2 / N2 es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea de reacondicionamiento cíclico apropiada para prevenir las fallas
- La columna titulada H3 / S3 / O3 / N3 es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea de sustitución cíclica para prevenir las fallas.

En cada caso, una tarea sólo es apropiada si merece la pena realizarla y si es técnicamente factible.

En esencia, para que una tarea sea técnicamente factible y merezca la pena realizarla, debe ser posible dar una respuesta positiva a todas las preguntas que muestra la tabla 6.8 que se aplican a esa categoría de tareas, y la tarea debe responder al criterio de “merece la pena se realizada” de la figura 9.5. si la respuesta a cualquier de estas preguntas es “no” o se desconoce, entonces se rechaza la tarea totalmente. Si todas las preguntas pueden ser contestadas afirmativamente, entonces se registra una “S” en la columna apropiada.

Si se selecciona una tarea, se registra una descripción de la tarea y la frecuencia con la que debe ser realizada como se explica más adelante y los analistas avanzan al próximo modo de falla. Sin embargo, como mencionamos anteriormente, debemos tener en cuenta que si parece que una tarea de orden más bajo pudiera ser más costo-eficaz que una tarea de orden más alto, entonces la tarea de orden más bajo también debe ser considerada y elegirse la más efectiva de las dos.

Tabla 6-8: Criterios de facilidad técnica

H1	H2	H3	
S1	S2	S3	
O1	O2	O3	
N1	N2	N3	
S			<p>¿Es técnicamente factible realizar una tarea a condición para reducir la frecuencia de la falla?</p> <p>¿Hay alguna clara condición de falla potencial? ¿Cuál es? ¿Cuál es el intervalo P-F? ¿Es suficientemente largo como para ser de utilidad? ¿Es razonablemente consistente? ¿Es posible hacer la tarea a intervalos menores al intervalo P - F?</p>
N	S		<p>¿Es técnicamente factible una tarea de reacondicionamiento cíclico para reducir la frecuencia de la falla (evitar toda falla en el caso en que afecta a la seguridad)?</p> <p>¿Hay una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional de falla? ¿Cuál es? ¿Ocurren la mayoría de las fallas después de esta edad (todos en el caso de consecuencias para la seguridad o el medio ambiente)? ¿Restituirá la tarea la resistencia original a la falla?</p>
N	N	S	<p>¿Es técnicamente factible una tarea de sustitución cíclica para reducir la frecuencia de la falla (evitar todas las fallas en el caso de que afecte a la seguridad)?</p> <p>¿Hay una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional de falla? ¿Cuál es? ¿Ocurren la mayoría de las fallas después de esta edad (todos en el caso de consecuencias para la seguridad o el medio ambiente)?</p>

6.5.3. la pregunta “a falta de”

Las columnas tituladas H4, H5 y S5 en la Hoja de toma de Decisión son utilizadas para registrar las respuestas a las tres preguntas “a falta de”. Cómo se

responde a estas preguntas se resume la tabla 6.9 (Notemos que las preguntas “a alta de” sólo se preguntan si las respuestas a las tres preguntas previas fueron todas “no”)

Tabla 6-9: Las preguntas “a falta de”

Referencia de Información			Evaluación de consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de					
F	FF	FM	H	S	E	O	S1 O1 N1	S2 O2 N2	S3 O3 N3	H4	H5	S4			
3	A	1	N				N	N	N	S	-	-	-	-	¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una tarea de búsqueda de falla?
Registrar “Sí” si es posible realizar la tarea y resulta práctico hacerlo con la frecuencia requerida y reduce el riesgo de la falla múltiple a un nivel tolerable.															
4	B	4	N				N	N	N	N	S	-	-	-	¿Podría la falla múltiple afectar la seguridad o el medio ambiente?
4	C	2	N				N	N	N	N	N	-	-	-	(Sólo se hace esta pregunta si la respuesta a la pregunta H4 es “NO”.) Si la respuesta a esta pregunta es “SI”, el rediseño es obligatorio. Si la respuesta es “NO”, la acción “a falta de” es no realizar mantenimiento preventivo , pero el rediseño puede ser deseable
5	B	2	S	S			N	N	N			S	-	-	¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una combinación de tareas?
2	A	5	S	S			N	N	N			N	-	-	Sí si una combinación de dos o más tareas proactivas cualquiera reduce el riesgo de falla a un nivel tolerable (esto rara vez sucede). Si la respuesta es “NO”, el rediseño es obligatorio.
1	A	5	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	-	-	En estos dos casos, las consecuencias de la falla son puramente económicas y no se pudo encontrar una tarea proactiva apropiada. Como resultado, la decisión “a falta de” inicial es no realizar mantenimiento programado , pero el rediseño puede ser deseable
1	B	3	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	-	-	

6.5.4. Tarea propuesta

Si durante el proceso de toma de decisión se ha seleccionado una tarea proactiva o una tarea de búsqueda de falla, debe registrarse la descripción de la tarea en la columna titulada “tarea propuesta”. Lo ideal es que la tarea fuese descrita con el mismo detalle y precisión en la Hoja de toma de Decisión como lo será en el documento que le llegue a la persona que deba ser al menos descripta con detalle suficiente como para que la intención quede absolutamente clara para quien escriba la descripción detallada.

Si el proceso de decisión pide a un cambio de diseño, entonces la tarea propuesta debe proveer una descripción breve del cambio del diseño. La forma real del nuevo diseño debe dejarse en manos de diseñadores.

Finalmente, si debe tomarse una decisión de permitir que ocurra una falla, en la mayoría de los casos las palabras “ningún mantenimiento programado” debe ser registrado en la columna de “tarea propuesta”. La única excepción es para aquella falla

oculta para la que “el perfil de riesgo/confiabilidad es tal que no se requiere de la búsqueda de falla”.

6.5.5. Intervalo inicial

Los intervalos de tareas son registrados en la Hoja de toma de Decisión en la columna de “intervalo inicial”. Al completar la Hoja de Decisión, debemos registrar cada intervalo de tarea de acuerdo con sus propios méritos, en otras palabras, sin referencia a otras tareas. Esto es porque la razón para realizar una tarea a una frecuencia en particular puede cambiar con el tiempo, y en realidad la razón para realizarla hasta podría desaparecer. Entonces si la frecuencia de la tarea “X” está basada en la frecuencia de la tarea “Y” y la tarea “Y” luego es eliminada, la frecuencia de la tarea “X” pierde sentido.

Si nos encontramos con un número de tareas que necesitan ser realizadas con frecuencia muy diferentes, deberán ser consolidadas en un número de tareas que necesitaran ser realizadas con frecuencia muy diferentes, deberán ser consolidadas en un número menor de “paquetes de trabajo” al compilar programas de mantenimiento. Sin embargo, las frecuencias iniciales originalmente determinadas para las tareas, deben permanecer figurando siempre en la Hoja de Decisión para permitir reconstruir cómo se obtuvieron las frecuencias definitivas en los programas que finalmente se establezcan basados en ellos (En otras palabras, para preservar la “traza de auditoría”.)

Notemos también que los intervalos de tareas pueden ser basados en cualquier medida apropiada de exposición al esfuerzo. Esto incluye tiempo calendario, tiempo de funcionamiento, distancia recorrida, ciclos de comienzo-finalización, producción o flujo de producción. O cualquier otra variable medible que tenga una relación directa con el mecanismo de la falla. Sin embargo, el tiempo calendario tiende a ser utilizado siempre que es posible porque es el más simple y el más económico de administrar.

6.5.6. “Puede ser realizado por”

La última columna en la Hoja de Decisión se utiliza para anotar quién debe hacer cada tarea. Notemos que el proceso De RCM considera a este tema para un modo de falla por vez. En otras palabras, no aborda el tema con ninguna idea preconcebida acerca de quien debe (o no debe) hacer el trabajo de mantenimiento. Simplemente pregunta quién es competente y confiable como para realizar correctamente esta tarea.

La respuesta puede ser absolutamente cualquiera. Las tareas pueden ser adjudicadas a mantenimiento, operadores, inspectores de seguro, personal de calidad,

técnicos especializados, proveedores, inspectores de estructuras, técnicos de laboratorio, contratistas, etc. En cada caso la persona idónea y costo-eficaz para esa tarea.

6.5.7. Llenado de la hoja de decisión

La Hoja de Decisión muestra no solo qué acción se ha seleccionado para tratar cada modo de falla. También muestra por qué se ha seleccionado. Esta información es valiosa si en cualquier momento se presenta alguna duda u objeción acerca de una tarea de mantenimiento específica que debe ser realizada.

La posibilidad de rastrear cada tarea correlacionándola con la función y parámetros deseados del activo, también facilita la tarea de mantener actualizando el programa de mantenimiento. Los usuarios pueden identificar fácilmente las tareas que son afectadas por un cambio en el contexto operacional del activo (como sería un cambio en los turnos de trabajo o una modificación al reglamento de seguridad). Paralelamente se evitan pérdidas de tiempo reanalizando tareas que difícilmente sean afectadas por el cambio. En el último capítulo se muestran las hojas de decisión elaboradas para este trabajo.

CAPÍTULO 7: IMPLEMENTACIÓN DE LAS RECOMENDACIONES DE
RCM

7. IMPLEMENTACIÓN DE LAS RECOMENDACIONES DE RCM

7.1. IMPLEMENTACIÓN “LOS PASOS CLAVE”

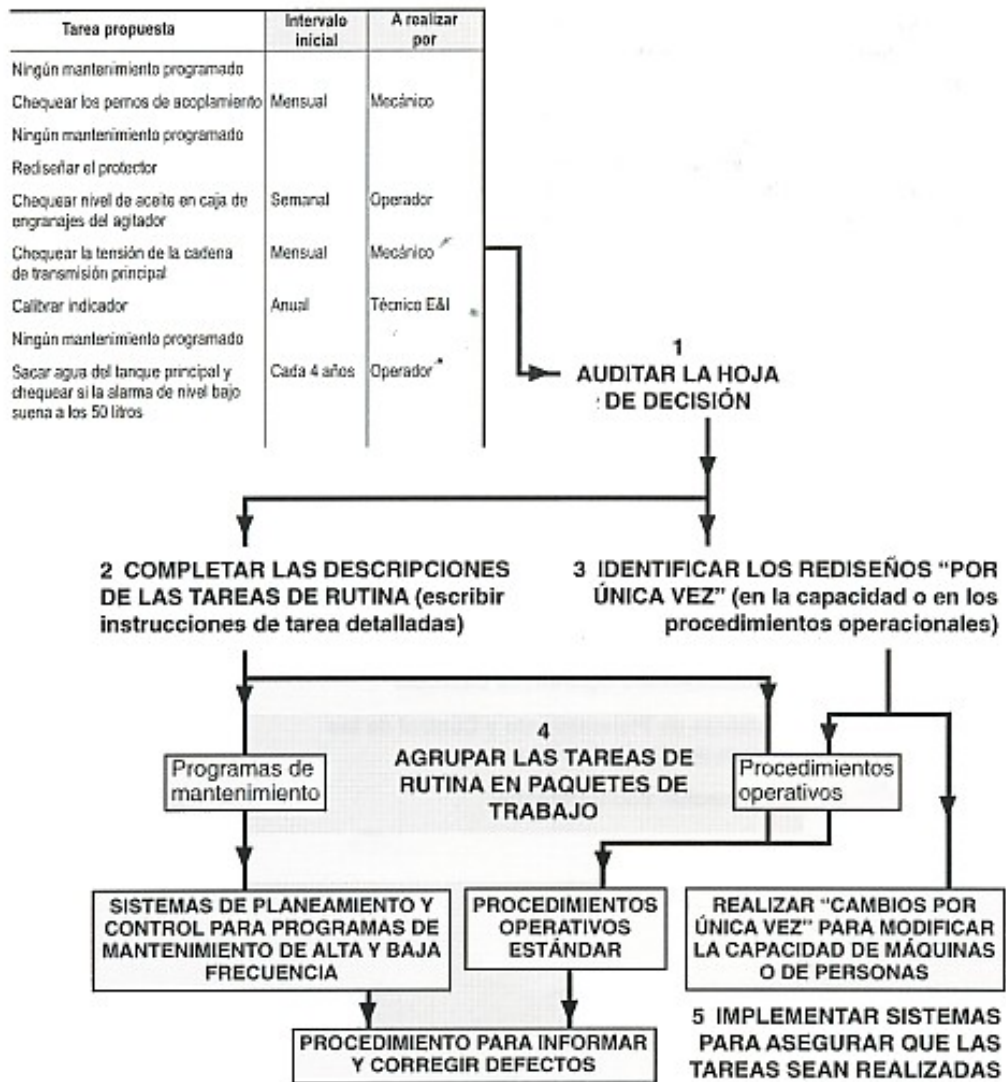
La aplicación formal del proceso de RCM termina con las Hojas de Decisión completadas. Éstas especifican un número de tareas de rutina que necesitan ser realizadas a intervalos regulares para asegurar que el activo físico continúe haciendo lo que los usuarios quieren que haga, junto con las acciones a falta de que deben tomarse si no se puede encontrar una tarea de rutina apropiada.

Para lograr el máximo beneficio a largo plazo del RCM, se deben dar ciertos pasos para que las recomendaciones se cumplan formalmente. Estos pasos deben asegurar que:

- Todas las recomendaciones sean aprobadas formalmente por los gerentes que tienen responsabilidad general sobre los activos físicos
- Todas las tareas de rutina sean descritas de manera clara y concisa
- Todas las acciones que requieran “cambios por una única vez” sean identificadas e implementadas correctamente
- Las tareas de rutina y los cambios en procedimientos operativos sean incorporados a paquetes de trabajo apropiados.
- Los paquetes de trabajo y los cambios por única vez sean instalados efectivamente. Esto específicamente implica:
 - A. incorporar paquetes de trabajo a sistemas que aseguren que serán realizados por las personas correspondientes y que serán realizadas adecuadamente.
 - B. asegurar que cualquier falla que se encuentre será resuelta rápidamente.

Estos pasos se resumen en la tabla 7.1. Los más importantes son discutidos detalladamente en el resto de este capítulo.

Tabla 7-1: Luego del RCM



7.2. LA AUDITORÍA DE RCM

Si es aplicado correctamente, el proceso de RCM provee el marco de trabajo más sólido actualmente disponible para la formulación de estrategias de manejo de los activos físicos. Estas estrategias afectan profundamente a la seguridad, a la integridad ambiental, y al bienestar económico de la organización que utiliza los activos físicos. Sin embargo, si algo malo sucede a pesar de los esfuerzos de las personas que están aplicando el proceso, toda decisión estará sujeta a una revisión exhaustiva y a veces hasta hostil por parte de las organizaciones que pueden ser desde autoridades de regulación a aseguradores, o representantes de las víctimas (o sus sobrevivientes). Como resultado, cualquier organización que utilice RCM debe tener gran cuidado de asegurar

que las personas que lo aplican sepan lo que están haciendo, y de esta manera quedar satisfecha de que sus decisiones son sensatas y defendibles. Este último paso se conoce como la auditoria de RCM.

La auditoria de RCM consiste en una revisión formal de los contenidos de las Hojas de Decisión y de Información de RCM. Este punto de este capítulo da una orientación respecto de quién debe realizar la auditoria cuándo debe hacerse y en qué consiste.

7.2.1. Quién debe realizar la auditoria

La Alta Gerencia tiene la responsabilidad global sobre los activos físicos si algo realmente malo sucede, por lo que es de su propio interés y del de sus empleados el asegurarse de que se están tomando los pasos adecuados para prevenir que algo indeseable ocurra. Los gerentes superiores no necesariamente deben realizar la auditoria personalmente, sino que pueden delegar a alguien en cuyo juicio confían lo suficiente. Sin embargo, de ser así, deben quedar siempre claro que los auditores están actuando en nombre de la gerencia superior, teniendo esta última la responsabilidad final de las decisiones. (Quien sea que lleve a cabo la auditoria debe ser intensamente entrenado en RCM).

Si los auditores están en desacuerdo con cualquier hallazgo o conclusión, deberán discutir la cuestión con las personas que realizaron el análisis. Al hacerlo, los auditores deben estar dispuestos a aceptar que ellos mismos pueden estar equivocados.

7.2.2. Cuándo debe hacerse la auditoria

Las auditorias deben ser realizadas lo antes posible luego de que se haya completado cada revisión (preferentemente dentro de las dos semanas).

7.2.3. En qué consiste la auditoria

La auditoria de un análisis RCM debe ser realizada desde el punto de vista del método y del contenido. Al revisar el método, el auditor buscar asegurar que el proceso de RCM haya sido aplicado correctamente. Al revisar el contenido ha sido recolectada la información y conclusiones correctos a cerca del activo físico mimo, y acerca del proceso del que forma parte. Los temas que mas frecuentemente necesitan atención son:

• Niveles de Análisis: El análisis debe ser llevado a cabo al nivel adecuado. El error más común es analizar los activos físicos a un nivel demasiado bajo, y el síntoma común son grandes cantidades de componentes con sólo una o dos funciones definidas por componentes.

- Funciones: Todas las funciones del activo físico junto con los parámetros de funcionamiento deseados por el usuario deben ser descriptas de manera clara y correcta.
- Fallas Funcionales: Deben ser listadas todas las fallas funcionales asociadas con cada función (generalmente la falla total más la falla de cada parámetro de funcionamiento de la descripción de la función).
- Modos de Falla: Asegurarse de que los modos de falla que han ocurrido o que tienen posibilidad de ocurrir no hayan sido omitidos.
- Efectos de Falla: Las descripciones de los efectos de falla deben facilitar las siguientes decisiones:

- Si la falla será evidente a los operarios (y cómo).
- Si la falla presenta una amenaza para la seguridad o el medio ambiente (y de qué manera).
- Qué efecto tiene la falla sobre la producción o en las operaciones (producción, calidad del producto, servicio al cliente, costo) (si es que lo tiene).

- Evaluación de Consecuencias: Debe tenerse especial cuidado en asegurar que la pregunta acerca de la función oculta haya sido respondida correctamente. También debe ponerse especial atención a la evaluación de las consecuencias de las fallas evidentes para la seguridad y el medio ambiente, y en la efectividad de cualquier tarea que pueda haber sido seleccionada para tratar fallas en estas dos categorías.

- Selección de Tareas: Cualquier tarea que haya sido seleccionada deberá cumplir no solo con el criterio de factibilidad técnica como lo explica el Capítulo 6, sino que también debe asumir las consecuencias de la falla. Las tareas propuestas o las acciones a falta deben ser descriptas con el detalle suficiente como para que no le queden dudas al auditor acerca de

lo que se pretende. La descripción de tareas también deben relacionarse directamente al modo de falla en cuestión.

- Intervalo Inicial: Los intervalos de tareas deben ser fijados acorde al criterio dado en el Capítulo 6. En particular, estar atentos y evitar la tendencia de confundir “intervalos P- F” con “Vida útil” en los intervalos de tareas a condición.

7.3. DESCRIPCIONES DE TAREAS

Antes de cualquier tarea llegue a la persona que debe realizarla, debe ser descrita con el detalle suficiente como para que no quede duda alguna de lo que deberá. Claramente el grado de detalle requerido será influenciado por el nivel general de habilidad y experiencias de los trabajadores involucrados. Sin embargo, tengamos en cuenta que cuanto más se deja de lado en la descripción de una tarea, mayor será la posibilidad de que alguien omita un paso clave o elija hacer una tarea equivocada. En este contexto, debe tenerse especial cuidado con la descripción de cualquier tarea de búsqueda de falla que implica la simulación peligrosa para probar la función de un dispositivo de seguridad.

Las descripciones de tareas también deben explicar qué acciones tomar si se encuentra un defecto. (Por ejemplo, ¿Debe ser reportado a un supervisor o al departamento de mantenimiento – o debe ser rectificado inmediatamente?).

Debe definirse cada tarea tan claramente como fuese posible en la Hoja de Decisión. Esto ahorra el esfuerzo duplicado que ocurre si los procedimientos detallados tienen que volver hacer escritos por otra persona. También reduce la posibilidad de errores de transcripción. Sin embargo, si la falta de tiempo no permite especificar los procedimientos durante el análisis de RCM, entonces deben ser especificados luego. Esto frecuentemente puede hacerse como parte de una iniciativa del tipo ISO 9000.

Notemos que si las descripciones detalladas de tareas van a ser preparadas más tarde, lo ideal será que lo hiciera alguien que haya participado en el análisis original de RCM.

Si esto no es posible, el tercero involucrado debe entender claramente qué se le está pidiendo, que defina las tareas de la hoja de decisión con mas detalle, y *no* que haga una nueva auditoria del análisis.

Información Básica

Además de una clara descripción de la tarea misma, el documento en el que se anota la tarea también debe especificar claramente lo siguiente:

- Una descripción del activo físico al que se refiere, además del número o código de equipo cuando sea relevante
- Quién debe realizar la tarea (operador de maquina, electricista, mecánico, técnico especialista en..., contratista externo Tal, etc.)
- La frecuencia con la que debe realizarse la tarea.
- Si el equipo debe estar detenido para intervención en cuestión, (y si es necesario, cómo hacerlo) o “aislarlo” mientras se realiza la tarea, junto con cualquier otra precaución de seguridad que deba tomarse.
- Herramientas especiales y repuestos necesarios. El hacer una lista de estos elementos puede ahorrar muchas idas y venidas no productivas luego de haber comenzado el trabajo.

7.4. INSTALANDO “CAMBIOS DE ÚNICA VEZ”

Al final de un típico análisis de RCM, es fácil encontrar que entre un 2% y un 10% de los modos de fallas apuntan al rediseño. El capítulo 6 menciona que en el contexto de RCM, rediseño significa un cambio “de una sola vez” en cualquiera de las siguientes áreas:

- Un cambio en la configuración física de un activo físico o sistema.
- Un cambio en un proceso o procedimiento operativo
- Un cambio en la capacidad de una persona, generalmente mediante formación, capacitación y/o entrenamiento.

Una vez aceptado por los auditores, estos cambios deben ser introducidos completamente y lo más rápidamente posible.

La implementación de estos cambios requiere el apoyo y la cooperación de la función de ingeniería/proyectos, el departamento de formación (capacitación) y la gerencia de operaciones. Esto significa que se debe asegurar que las personas indicadas

de estos sectores entiendan porqué se necesitan estos cambios para que estén preparados para desempeñar su rol, ayudando a instalarlos.

7.5. PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS ESTÁNDAR

En el punto anterior de este capítulo se menciona que cualquier cambio que deba realizarse en la forma en la que se opera el activo físico debe ser documentado en procedimientos operativos estándar, o SOP (Standard Operating Procedures). En los casos en que no existe con anterioridad, seguramente será necesario desarrollarlos para asegurar que los cambios realmente se realicen. En muchos casos, los SOP son también la manera más simple y económica de tratar tareas de alta frecuencia que necesitan ser realizadas por operadores, como lo ilustra la tabla 7.2.

Como regla, las tareas sólo deben ser incorporadas a los procedimientos operativos si deben ser realizadas a intervalos de una semana o menos. Las tareas que necesitan ser realizadas por los operadores a intervalos mayores deben ser agrupadas en programas separados y planeados, organizados, y controlados de la misma manera que los programas de mantenimiento.

Tabla 7-2: Transferencia de tareas de la Hoja de Decisión a SOP.

Tarea propuesta	Intervalo inicial	Puede ser realizado por	Procedimientos operativos estándar (Standard Operating Procedures: SOP)*
Ningún mantenimiento programado	Mensual	Mecánico	MÁQUINA DE LAVAR PERNOS Al comienzo del turno: <ul style="list-style-type: none"> • Llenar la tolva de alimentación • Abrir la válvula de aire y esperar hasta que la presión llegue a los 50 psi.
Chequear pernos de acople			
Ningún mantenimiento programado	Semanal	Operador	<ul style="list-style-type: none"> • (Sólo los lunes a la mañana) Chequear el nivel de aceite de la caja de engranajes del agitador utilizando la varilla de nivel y reportar si está por debajo del nivel 2
Rediseñar el protector			
Chequear el nivel de aceite de la caja reductora del agitador	Mensual	Mecánico	<ul style="list-style-type: none"> • Oprimir el botón de arranque • Abrir la válvula de detergente • Iniciar la alimentación de pernos • etc.
Chequear la tensión de la cadena de transmisión principal	Anual	Técnico electroinstrumentista	
Calibrar el indicador	Cada años	Operador	
Ningún mantenimiento programado			
Vaciar el tanque principal y chequear si la alarma de bajo nivel suena a los 50 litros			

7.5.1. Programa de mantenimiento

Un programa de mantenimiento es un documento que contiene un número de tareas de mantenimiento que deben ser realizadas por una persona con nivel especificado de habilidades, sobre un activo físico especificado, a una frecuencia especificada. La tabla 7.3 muestra la relación entre estos programas y Hojas de Decisión. Compilar programas de Hojas de Decisión de RCM es un proceso relativamente fácil. Sin embargo, deben tomarse en cuenta algunas precauciones adicionales como se explica en los párrafos siguientes.

Tabla 7-3: Transfiriendo tareas de una hoja de decisión a un programa de mantenimiento.

Tarea propuesta	Intervalo Inicial	Puede ser realizado por
Ningún mantenimiento programado		
Chequear pernos de acople	Mensual	Mecánico
Ningún mantenimiento programado		
Rediseñar el protector		
Chequear el nivel de aceite de la caja reductora del agitador	Semanal	Operador
Chequear la tensión de la cadena de transmisión principal	Mensual	Mecánico
Calibrar el interruptor	Anual	Técnico electroinstrumentista
Ningún mantenimiento programado		
Vaciar el tanque principal y chequear si la alarma de bajo nivel suena cuando el nivel desciende a los 50 litros	Cada 4 años	Operador

Programa de Mantenimiento	
MÁQUINA DE LAVAR PERNOS	
Intervalo	Puede ser realizado por
MENSUAL	MECÁNICO
<i>Parar la máquina y seguir el procedimiento X de bloqueo, luego</i>	
1 Chequear visualmente si hay pernos sueltos en el acoplamiento de la transmisión principal y ajustarlos si es necesario	
2 Chequear la tensión de la cadena de transmisión principal y ajustar el tensor si la flecha a mitad de la distancia entre ambos piñones excede los 10 mm	

Consolidación de Frecuencias.

En el Capítulo 5 se mencionó que si en la Hoja de Decisión aparece una amplia gama de diferentes intervalos de tareas, deben ser consolidados en programas (paquetes) de trabajo menores al compilar los programas basados en dichas Hojas de Decisión. La Tabla 7.4 da un ejemplo extremo de la variedad de intervalos de tareas que podrían aparecer en una Hoja De Decisión, y cómo podrían ser consolidadas en un menor número de frecuencias de programa.

Tabla 7-4: Consolidación de frecuencia de tareas.

Intervalos de tareas en Hojas de Decisión	Intervalos de programas de mantenimiento
Diarios	Diarios
Cada 2 semanas	Semanal
Mensual Cada 6 semanas Cada 2 meses	Mensual
Cada 3 meses Cada 4 meses	Cada 3 meses
Cada 6 meses Cada 9 meses	Cada 6 meses
Cada 12 meses	Cada 12 meses

Para las tareas más costosas, en términos del costo directo de realizarlas y la cantidad de tiempo de parada de máquina necesario para realizarlas, se tienen a disponer de intervalos de tareas básicos. Sin embargo, el planeamiento se ve simplificado si los intervalos de tareas son múltiplos unos de otros, como lo muestra la tabla 7.4.

Notemos además que si una frecuencia de tarea se adapta de esta manera, siempre debe ser incorporada a un programa de frecuencia más alta. Los intervalos de tareas nunca deben ser aumentados arbitrariamente, porque al hacerlo se podría llevar la frecuencia de una tarea a condición fuera del intervalo P – F para esa falla, o podría mover una tarea de sustitución cíclica más allá del fin de la “vida útil” del componente.

Agregando tareas.

Al compilar programas de mantenimiento como describimos anteriormente, existe a menudo una gran tentación de comenzar a agregar tareas al programa terminado. Esto casi siempre se hace basándose en que “cuando hacemos A y A, podríamos también hacer X, Y y Z”. Esto debe evitarse por las siguientes razones:

- Las tareas extra incrementan la carga de trabajo de rutina. Si se agregan demasiadas tareas, la carga de trabajo se incrementa al punto en que, o hay mano de obra insuficiente para realizar todas las tareas, o los equipos no pueden ser liberados por la cantidad de tiempo que se requiere para realizarlas, o ambos.
- Las personas que están ejecutando las tareas contenidas en los programas, pronto se dan cuenta que X, Y y Z no son estrictamente necesarias, y juzgan el programa como poco confiable. Como resultado, comienzan a buscar razones por las cuales no pueden realizar el programa completo. Cuando las encuentran, las tareas A y B tampoco se realizan, y todo el programa de mantenimiento comienza a desmoronarse.

7.6. SISTEMAS DE PLANEAMIENTO Y CONTROL DE LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO

Esta sección de este capítulo comenta brevemente algunas de las opciones que pueden ser utilizadas para planear, organizar y controlar los tipos más comunes de programas, bajo los siguientes encabezamientos:

- Tareas a ejecutar por los operadores
- “Programas” a cumplir por la función de calidad
- Programas de alta frecuencia a realizar por el personal de mantenimiento
- Programas de baja frecuencia a realizar por el personal de mantenimiento

7.6.1. Programas a ejecutar por los operadores

Desde el punto de vista del mantenimiento, el atributo más valioso de los operadores es que están cerca de los equipos durante mucho tiempo. Esto los coloca en una posición ideal para realizar muchas tareas a condición y de búsqueda de falla. Estas son frecuentemente tareas de alta frecuencia – algunas serán diarias o hasta una o dos veces por turno – por lo que debe tenerse especial cuidado de mantener los sistemas administrativos asociados lo mas simple posible.

Los sistemas de ayuda – memoria simples que pueden ser utilizados para tareas que deben ser realizadas por el operador, en vez de las hojas de chequeo formales comprenden:

- Incorporar chequeos de mantenimiento a los procedimientos operativos estándar, (SOP), como se vió anteriormente
- Montar el programa de forma permanente en una pared o en la cabina de control donde los operarios puedan verlas fácilmente
- Entrenar a los operarios de tal manera que las inspecciones se vuelvan algo natural (un enfoque de riesgo que no siempre es recomendable)

Cuando las consecuencias de la falla tienen posibilidades de ser particularmente severas, deben utilizarse listas de chequeo escritas y formales para los chequeos que deben ser realizados por el operador especialmente si hay razones para dudar si las tareas serán realizadas sin un recordatorio formal- las listas de chequeo pueden ser las mismas que las descritas más adelante para tareas de alta frecuencia realizadas por el personal de mantenimiento.

7.6.2. Programas y chequeos de calidad

Hemos visto como más y más parámetros de funcionamiento in corporal parámetros de calidad de producto. Esto significa que más y más fallas potenciales y funcionales pueden ser reveladas por chequeos de calidad de producto. Estos chequeos a menudo ya se realizan (por ejemplo, utilizando SPC (Statistical Process Control = Control Estadístico de Proceso). Los puntos centrales a notar son los siguientes:

- Los chequeos de calidad deben ser reconocidos como una fuente de información válida y valiosa para el mantenimiento.

- Deben tomarse los pasos necesarios para asegurar que las fallas potenciales detectadas a través de la calidad sean atendidas inmediatamente cuando se las encuentra.

7.6.3. Programas de tareas de alta frecuencia a realizar por mantenimiento

Más allá de todos los comentarios anteriores acerca de ventajas en la utilización de operadores para realizar las tareas de mantenimiento de alta frecuencia, muchas de estas tareas todavía necesitan ser realizadas por el personal de mantenimiento. En tales casos, éstas necesitan planearse mas formalmente que los chequeos que realizan los operadores, porque el personal de mantenimiento cubre mas máquinas y se extienden a un área mayor que los operadores, y generalmente realizan una mayor variedad de tareas. Un enfoque es dividir la planta en secciones y preparar cada sección una lista de verificación como la que se muestra en la tabla 7.5.

7.6.3.1. Emisión de programas de alta frecuencia

Las listas de chequeo son asignadas al individuo de mantenimiento que corresponde, la semana anterior a aquella en la que deban realizarse. Preferentemente, debe ser la primera actividad realizada por esa persona cada día. Si un día cualquiera el operario no puede completar las tareas planeadas, las tareas se realizan al día siguiente. El operario inicia la acción correctiva al final de cada ronda diaria. En algunos lugares esto puede ser la responsabilidad del operario, en otros, puede que tenga que trabajar con intervención de un supervisor. La acción variará desde coordinar que la planta pare inmediatamente a simplemente disponer que la falla se corrija la próxima vez que se pare.

7.6.3.2. Control de los programas de alta frecuencia

Un problema asociado con la mayoría de los sistemas de listas de cheque es el síndrome de sentarse a tildar los ítems. Esto significa que el personal indica que las listas de chequeo ha sido realizada cuando en realidad no lo ha sido. Para evitar estos problemas los supervisores deben realizar “sobre – inspecciones” al azar. Estas consisten en recorrer los programas establecidos en las listas de verificación, en compañía del operario habitualmente. Si la lista de cheque no es cumplida correctamente las fallas no reportadas pronto se vuelven evidente y el supervisor toma la acción apropiada.

7.6.4. Programas de baja frecuencia hechos por mantenimiento

Hemos visto que los programas de alta frecuencia pueden ser planeados, organizados, y controlados utilizando una lista de verificación cuidadosamente estructurada. En contraste, el horizonte a largo plazo asociado con programas de baja frecuencia significa que los pasos necesarios para planear, organizar y controlar los se llevan a cabo por separado.

7.6.4.1. Planeamiento por tiempo transcurrido

Los principios del planeamiento por tiempo transcurrido son conocidos, y son utilizados con varios propósitos además del planeamiento del mantenimiento. Para programas de baja frecuencia, el planeamiento por tiempo transcurrido generalmente aprovecha un tablero de planeamiento similar a la que muestra la Tabla 7.6 (o su equivalente informatizado).

Tengamos en cuenta al instalar tales sistemas que algunas tareas de búsqueda de falla en particular pueden tener tiempos de ciclo de hasta 10 años, y el horizonte de planeamiento de cualquier sistema de planeamiento asociado debe incluir tales tareas. Al instalar estos sistemas, notemos también que los programas de baja frecuencia casi siempre involucran para los equipos, y esto puede tener consecuencias operacionales en la misma manera que las paradas que se supone que previenen. Entonces debe tenerse especial cuidado para minimizar estas consecuencias.

- Este registro se carga al sistema de planeamiento
- Las horas acumuladas totales de funcionamiento son actualizadas para reflejar el tiempo de funcionamiento desde que fue hecho el último programa.

Los sistemas de planeamiento según tiempo de funcionamiento se prestan al uso de computadoras (ordenadores) porque involucran el procesamiento y almacenamiento de grandes cantidades de datos. Si van a utilizarse computadoras para el planeamiento según tiempo de funcionamiento, también debe automatizarse si es posible, la captura de datos. El sistema también debe estar para proveer un pronóstico permanentemente actualizado (al día) de la carga de trabajo programada para cada taller, al mayor plazo posible en el futuro. Esto da tiempo a los gerentes de suavizar los picos y valles que aparecen en el pronóstico.

7.6.4.3. Organizando programas de baja frecuencia

La mayoría de los sistemas de planeamiento comienzan a organizar los programas de baja frecuencia la semana anterior a que deban estar listos los programas (excepto para programas de parada). El proceso e organización normalmente contiene los siguientes elementos:

- Confección de una lista que muestra los programas para la semana siguiente. Se separan por especialidad y por sección de planta.
- Reuniones con el departamento de operaciones para ponerse de acuerdo en el día y la hora en que se realizarán los programas (especialmente aquellos que requieren tiempo de parada de máquina)
- Se transmiten los programas a los supervisores correspondientes, que planean quién los realizará y organizan cualquier otro recurso que pueda ser necesario, como lo harían para cualquier otro trabajo de mantenimiento que surgiera.

7.6.4.4. Controlando programas de baja frecuencia

Los programas de baja frecuencia están sujetos a los mismos controles de funcionamiento que cualquier otro tipo de trabajo de mantenimiento. Esto se aplica al tiempo que lleva cumplir con la ejecución de los programas, estándares de trabajo, y demás.

Necesitan considerarse dos factores adicionales. En primer lugar, el sistema de planeamiento debe indicar cuándo cualquier programa está retrasado.

En segundo lugar, los programas de mantenimiento deben ser revisados continuamente a la luz de circunstancias cambiantes (especialmente circunstancias que afectan las consecuencias de la falla) y de información nueva. En este contexto, tengamos en cuenta que cuanto más las personas asociadas por el equipo estén involucradas en determinar sus requerimientos de mantenimiento, más probable es que en el futuro puedan ofrecer una retroalimentación constructiva y reflexiva acerca de esos requerimientos.

7.7. INFORMACIÓN SOBRE DEFECTOS

Aparte de asegurar que las tareas sean realizadas, también necesitamos asegurar que cualquier falla potencial que se encuentre se corrija antes de que se convierta en falla funcional, y que las fallas funcionales ocultas sean corregidas antes de que pueda ocurrir una falla múltiple. Esto significa que cualquier persona que pueda descubrir una falla potencial o funcional debe tener libre acceso a un procedimiento simple, confiable y directo para reportarla inmediatamente a quien sea que la repare. Los sistemas manuales de reporte de defectos usualmente se basan en simple tarjetas de trabajo del tipo que nuestra la tabla 7.6 (estas tarjetas de trabajo también puede ser utilizada por el departamento de mantenimiento para planear y registrar el trabajo, pero este aspecto de su uso va más allá del alcance de este texto.) si se utiliza un sistema de reporte de defectos informatizado, a la pantalla se le da un formato similar a la de la tarjeta.

Tabla 7-7: Un típico pedido de trabajo.

TARJETA DE TRABAJO	DEPARTAMENTO	FECHA		
PLANTA N°	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO		Falla potencial	
PEDIDO DE TRABAJO	A (SUPERVISOR)	TRABAJO PEDIDO POR	Falla funcional	
<i>Por favor preste atención a lo siguiente</i> _____ _____ _____ _____ _____			Programa de mantenimiento	
			Modificación	
			Monto	
			Aprobado por	
			TAREA DE DE TENCIÓN SI NO	
			Si	No
INSTRUCCIONES DE TRABAJO	ASIGNADO A	FECHA	FECHA ESTIMADA	
			SUPERVISOR	

CAPÍTULO 8: CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE DE CHILE
CODELCO

8. CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE DE CHILE CODELCO

La historia de Codelco comienza con la promulgación de la reforma constitucional que nacionalizó el cobre el 11 de julio de 1971. La creación de la Corporación Nacional del Cobre de Chile como se la conoce en la actualidad fue formalizada por decreto el 1 de abril de 1976.

Pero la empresa es heredera de una larga historia de vinculación entre los seres humanos y la minería del cobre que deja en evidencia la riqueza minera en esta zona de la cordillera de Los Andes, identificada como el principal depósito de este elemento metálico en el planeta.

Existen pruebas sobre la utilización de cobre en la región andina varios cientos de años antes de Cristo. Las diversas culturas que habitaron la zona conocieron metalurgias elementales que les permitieron explotar y trabajar el metal, incluso para producir aleaciones.



Figura 8-1: Faena de extracción del cobre

En el norte de Chile atacameños y diaguitas conocieron este metal. Y desde un pasado remoto las comunidades de la zona habían comenzado a explotar las riquezas de un yacimiento con futuro: Chuquicamata. Las culturas Tiahuanaco e Inca, que ejercieron fuerte influencia en la región antes de la llegada de los europeos, utilizaban el bronce, una aleación de gran dureza elaborada a partir de cobre y estaño.

Durante la época de la Colonia la explotación de cobre se mantuvo como una pequeña industria, un hecho que comenzaría a cambiar en el siglo XIX. En 1810, año de

la Independencia de Chile, el país registraba una producción de 19.000 toneladas de cobre.

Entre 1820 y 1900 Chile produjo 2 millones de toneladas de cobre. Durante un tiempo fue el primer productor y exportador mundial. Sin embargo a fines del siglo XIX comenzó un período de decadencia, debido al gran impacto del salitre que acaparaba el interés y las inversiones, y al agotamiento de los yacimientos de alta ley. En 1897 se produjeron apenas 21.000 toneladas.

La situación cambió a comienzos del siglo XX cuando grandes consorcios internacionales comenzaron a poner la vista en los yacimientos chilenos, dotados de avances tecnológicos que permitirían la recuperación de cobre aún cuando estuviera presente en bajas concentraciones.

En 1904 fue iniciada la explotación de El Teniente por la Braden Copper Co., que luego fue traspasada a la administración de la Kenecott Corporation, también estadounidense. La Chile Exploration Company, propiedad de la familia Guggenheim de Nueva York, inició en 1910 la explotación de Chuquibambilla.

La explotación de estos dos yacimientos emblemáticos, que desde 1971 son propiedad del Estado chileno, demostró la viabilidad económica de los yacimientos de minerales sulfurados de baja ley, y eso permitió abastecer la creciente demanda de cobre en los mercados internacionales.

En 1923 la Chile Exploration Company fue vendida a la Anaconda Copper Company, también estadounidense, que administró además la Andes Copper Company a cargo de la explotación del yacimiento de Salvador, que también es operado por Codelco desde su fundación en la década de 1970.

Otras empresas extranjeras también realizaron actividades de exploración y explotación en Chile durante gran parte del siglo XX. El Estado chileno recibía pocos beneficios de la minería de cobre hasta que en 1951 la firma del Convenio de Washington le permitió disponer de 20 por ciento de la producción cuprífera.

En 1955 los parlamentarios chilenos comenzaron a legislar sobre la producción de cobre y produjeron leyes sobre tributación de esta actividad, destinadas a garantizar un ingreso mínimo al Estado. Ese año fue creado el Departamento del Cobre, con atribuciones de fiscalización y de participación en los mercados internacionales del metal.

Este Departamento tenía la función de informar a los poderes públicos de Chile sobre materias relacionadas con la producción y venta de cobre, y de fiscalizar la producción y el comercio del mineral.

La "chilenización del cobre", iniciada en 1966, partió con la aprobación por parte del Congreso de la ley 16.425 que determinaba la creación de sociedades mixtas con las

empresas extranjeras en las cuales el Estado tendría 51 por ciento de la propiedad de los yacimientos.

Este proceso determinó en esa época la transformación del Departamento del Cobre en una Corporación del Cobre. El Estado asumió un papel decisivo en la producción y comercialización del cobre.

La participación de 51 por ciento del Estado se concretó en los yacimientos más importantes y emblemáticos: Chuquicamata, El Teniente y Salvador, que como resultado de este proceso recibieron inversiones de importancia. Entre los objetivos de la chilenización también se buscaba refinar todo el cobre dentro de este país y aumentar la producción hasta un millón de toneladas.

El escenario de la industria cambió radicalmente en julio de 1971 cuando el Congreso aprobó por unanimidad el proyecto sobre Nacionalización de la Gran Minería del Cobre, promulgado en la ley 17.450.

Para concretar este proceso de nacionalización fue necesario modificar el artículo 10 de la Constitución Política del Estado de Chile, al cual se le agregó una disposición transitoria en la cual se planteaba que "por exigirlo el interés nacional y en ejercicio del derecho soberano e inalienable del Estado de disponer libremente de sus riquezas y recursos naturales, se nacionalizan y declaran por tanto incorporadas al pleno y exclusivo dominio de la Nación las empresas extranjeras que constituyen la gran minería del cobre...".

Los bienes y las instalaciones de estas empresas pasaron a ser propiedad del Estado de Chile, que creó sociedades colectivas para hacerse cargo de las operaciones, coordinadas por la Corporación del Cobre de aquel entonces.

La nueva normativa facultó al Gobierno chileno para que dispusiera sobre la organización, explotación y administración de las empresas nacionalizadas. También determinó que sólo podrían enajenarse o constituirse derechos de explotación sobre concesiones mineras para yacimientos que no estuvieran en explotación para ese momento, previa autorización por ley.

Como resultado de estas atribuciones fueron dictados los decretos ley 1.349 y 1.350 publicados en 1 de abril de 1976, que formalizaron la creación de una empresa minera, la Corporación Nacional del Cobre de Chile, Codelco.

Codelco Chile fue constituida como una empresa del Estado que agrupaba los yacimientos existentes en una sola Corporación, minera, industrial y comercial, con personalidad jurídica y patrimonio propio, domiciliada en el departamento de Santiago.

Su primera misión fue profundizar la transformación administrativa que implicó darle continuidad a la explotación de los yacimientos nacionalizados, sus establecimientos, faenas y servicios anexos.

8.1. ORGANIZACIÓN

La promulgación de la reforma constitucional que nacionalizó el cobre en Chile, el 11 de julio de 1971, detonó un proceso que culminó con la creación de una empresa encargada de operar y administrar las pertenencias mineras cedidas al Estado.

El Decreto Ley 1.350 de 1976 creó la Corporación Nacional del Cobre de Chile, Codelco, concebida como una empresa propiedad del Estado chileno, minera, industrial y comercial, con personalidad jurídica y patrimonio propio.

La Corporación es encabezada por un Directorio con siete integrantes, nombrado por el Presidente de la República de Chile.

El Directorio es liderado por el Ministro de Minería, y lo integran también el Ministro de Hacienda, tres representantes designados por el Presidente de la República y dos directores representantes de los trabajadores y supervisores.

Codelco tiene su Casa Matriz en Santiago de Chile. Las operaciones de explotación, procesamiento de minerales y envío a los mercados son realizadas por sus divisiones. Estas son la División Codelco Norte (fusión de las divisiones Chuquicamata y Radomiro Tomic), la División Salvador, la División Andina y la División El Teniente. Codelco además participa en asociaciones mineras, no mineras y de negocios con otras empresas, y tiene una red de subsidiarias y agentes de venta que respaldan su gestión comercializadora.



Figura 8-2: Trabajadores

8.2. FINANZAS

La Corporación Nacional del Cobre, Codelco, es la mayor empresa productora de cobre del mundo y una de las principales empresas de Chile, con ventas por 3.782 millones de dólares (2004).

Codelco posee activos totales por 8.092 millones de dólares y un patrimonio de 2.821 millones de dólares (diciembre 2004), sin considerar el valor de sus concesiones mineras ni de sus reservas, que equivalen a 17 por ciento de las reservas a nivel mundial, suficientes para mantener su nivel de producción durante 70 años.

El Estado chileno es propietario de 100 por ciento de Codelco.

- Las actividades de producción de cobre de Codelco son realizadas a través de cuatro divisiones: la División Norte (que agrupa a las ex divisiones Chuquicamata y Radomiro Tomic), la División El Teniente, la División Andina y la División Salvador.
- El principal producto de Codelco es el cátodo de cobre Grado A. El año 2004 las ventas de cobre representaron 78 por ciento del total comercializado por la empresa, mientras que el resto correspondió a subproductos del cobre, principalmente molibdeno.
- La producción de cobre de Codelco, de unas 1,67 millones de tmf (2004), representa 15 por ciento de la producción registrada en el hemisferio occidental. La empresa también es el segundo productor mundial de molibdeno, con 23.173 tmf (2004).
- El costo de producción de cobre de Codelco es uno de los más bajos del mundo a un nivel de 42,7 centavos de dólar la libra (cash cost, 2004).
- Codelco cuenta con una amplia cartera de clientes en todo el mundo. En 2004 realizó 47 por ciento de sus ventas en Asia, 18 por ciento en América del Sur y del Norte, y 35 por ciento en Europa.



Figura 8-3: Faena Minera

8.3. CIFRAS DE CODELCO.

Las cifras disponibles en esta sección revelan los resultados de la gestión de Codelco durante los últimos años en las áreas económica y financiera, operacional y laboral.

Estos cuadros permiten darle una mirada rápida a las cifras. Si desea información más detallada por favor visite la sección de información para Inversionistas o bien consulte la Memoria Anual.

Tabla 8-1: Tabla de cifras financieras.

CIFRAS (Millones de US\$)	FINANCIERAS				
	2000	2001	2002	2003	2004
Ventas	2.944	3.610	3.588	3.490	3.782
Excedentes	572	753	412	369	606
Pagos al Fisco	269	702	370	326	688
Activo Total	5.817	5.819	6.120	6.733	8.092
Pasivo Total	3.035	3.042	3.411	4.000	5.268
Patrimonio	2.782	2.777	2.700	2.733	2.821
Inversiones	356	504	472	713	639
Miles de toneladas finas	1.615	1.612	1.699	1.630	1.674
Personal propio	17.313	17.349	17.166	16.907	16.595
Contratistas de operación	9.346	10.786	13.773	14.140	17.614
Contratistas de inversión	3.807	5.410	5.346	12.450	9.320
BML cátodos grado A	71,0	82,3	71,6	70,6	80,7

8.3.1. ¿Producción y excedentes de codelco desde el año 1990 a la fecha?

Tabla 8-2: Cifras de producción y excedentes Codelco desde 1990 hasta 2004

AÑO	PRODUCCIÓN DE COBRE (Miles de toneladas finas)	EXCEDENTES ANTES DE IMPUESTOS (Millones de US\$)
1991	1.195,3	1.536,6
1992	1.125,5	887,5
1993	1.156,3	920,7
1994	1.139,4	162,2
1995	1.134,1	1.102,2
1996	1.164,7	1.763,6
1997	1.221,3	1.103,3
1998	(*1.326,4	1.010,8
1999	(*1.500,5	355,3
2000	(*1.615,3	572,5
2001	(*1.612	753
2002	(*1.699	410
2003	(*1.630	369
2004	(*1.674	606

8.4. PREGUNTAS COMUNES

¿Quiénes trabajan en Codelco?

La Corporación Nacional del Cobre de Chile cuenta con la colaboración de más de 16 mil trabajadores.

¿Cuáles son sus objetivos?

La Corporación tiene una estrategia basada en una visión de futuro, que implica desplegar todo su potencial de negocios tanto en Chile como en el exterior para mantenerse como líder en la industria del cobre.

Codelco se propuso incrementar su valor económico durante el período 2000-2006, un objetivo que está enunciado en la estrategia conocida como Proyecto Común de Empresa.

¿Cuáles son sus productos?

El principal producto de Codelco es el cobre refinado en la forma de cátodos o lingotes con 99,99 por ciento de pureza. La Corporación también produce concentrados de cobre, cobre blister y anódico y subproductos como molibdeno, barro anódico y ácido sulfúrico.

Codelco además fabrica en Alemania Alambrón, un producto semielaborado que usa cátodos de cobre como materia prima.

¿Cuál es su producción?

En el año 2004 la producción de cobre de Codelco alcanzó las 1.674.000 toneladas métricas de contenido fino (incluye El Abra). También produjo 23.173 tmf de molibdeno, que es el principal subproducto de la minería del cobre comercializado por la Corporación.

¿Cuáles son sus mercados?

El cobre sale de Chile hacia clientes en todo el mundo. El principal mercado es Asia (47%), seguido por Europa (35%), Norteamérica (11 %) y Sudamérica (7%), según datos de 2004.

¿Cuánto cobre vende?

El año 2004 las ventas físicas de cobre llegaron a 1,674 millones de tmf, de producción propia.

¿Cuánto ingresa por ventas?

En el año 2004 los ingresos totales por las ventas de cobre y subproductos alcanzaron los 3.782 millones de dólares.



Figura 8-4: Producto Proceso Fundición Cobre.

8.5. DIVISIÓN EL SALVADOR

Las operaciones de la División Salvador se realizan en la zona de la cordillera de Los Andes a 2.600 metros de altura y a una distancia de 1.100 kilómetros al norte de Santiago de Chile.

| En dicho lugar las faenas en la zona datan de 1908, donde la obtención de la materia prima se ejecutaba a través operaciones en la Fundición de cobre y de la explotación del mineral “Mina Vieja”. Estas instalaciones se encuentran emplazadas en

Potreros a 40 kilómetros de El Salvador, donde a partir de la década de los noventa la producción de la “Mina Vieja” no era sustentable. Por ello se tomó la decisión de cerrar éste mineral el que fue reemplazado por el Salvador y donde se comenzó a explotar la mina "Inca" de explotación subterránea, y las minas "Campamento antiguo" y "Damiana Norte" a rajo abierto.



Figura 8-5: Mina El Salvador.

Hoy en día, la División Salvador explota minerales oxidados y sulfurados a partir de los cuales produce 72.819 toneladas métricas finas de cátodos de cobre al año. Además produce 1.258 toneladas métricas de molibdeno. Asimismo se obtienen barros anódicos y ácido sulfúrico. Toda la materia prima obtenida en la explotación de los minerales “Inca”, “Campamento antiguo” y “Damiana Norte” son procesados en las instalaciones de la Fundición de Potrerillos.



Figura 8-6: Fundición Potrerillos

La Fundición esta equipada con un Convertidor Teniente, que es donde se funde el concentrado de cobre. Este convertidor posee una capacidad de 2400 toneladas por día de fundición, tres Convertidores Piarse Smith Pro, tres Hornos de Limpieza de Escoria, dos Hornos de Ánodos, una Rueda de Moldeo y una Planta de ácido para procesar los gases que produce la fundición.



Figura 8-7: Convertidor

Ahora bien, para realizar el proceso completo en la función de cobre es de vital importancia vaciar los hornos de escoria. La figura 8.8 y 8.9 muestran los hornos de escoria en funcionamiento y el vaciado respectivamente.



Figura 8-8: Horno Limpieza de escoria

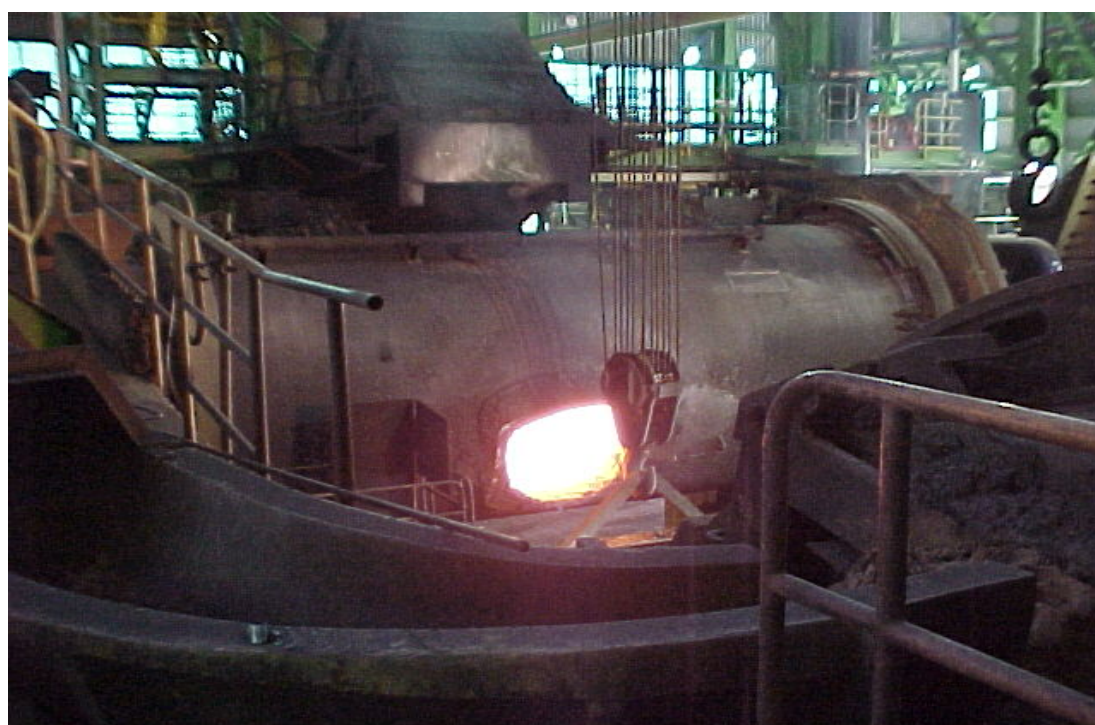


Figura 8-9: Horno Limpieza escoria de cobre

Hasta el año 2003 el vaciado se realizaba vertiendo el contenido del horno en un vago de un tren que llevaba la escoria hasta los botaderos. Este proceso fue reemplazado por un método, en el cual la escoria del horno es vertida en una olla, la cual es transportada hacia los botaderos y vaciada por un camión.



Figura 8-10: Hornos de Ánodo

Desde que la empresa incorporó al proceso de vaciado de escoria un camión, se han presentado diversas pérdidas en producción, donde al intentar establecer las causas de dicha pérdida, la paralización en las funciones del camión, producto de fallas propias en su desempeño; se torna una causa constante. Todo ello, porque un desperfecto en el camión puede significar horas de paralización en las faenas y por ende miles de dólares en pérdidas.

Frente al tema surge la necesidad de crear un sistema de mantención que contribuya a optimizar las faenas. Para ello, se verificó la información relativa a las causas de las fallas, se analizó el funcionamiento, las características propias del camión y las condiciones en que deben operar.

Todo lo anterior permitió tomar la decisión de crear un plan de mantenimiento de RCM2, que considerara a todos los procesos que tenían que ver con el desempeño del camión: operadores, área de mantenimiento, área medio ambiental, gerencia y estructura de la planta de fundición.



Figura 8-11: Planta de Ácidos para procesar gases

CAPÍTULO 9: PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM
(RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE) PARA CAMION KIROW SPCU
90-100/2 TRANSPORTADOR DE OLLA DE ESCORIA DE COBRE

9. PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM (RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE) PARA CAMION KIROW SPCU 90-100/2 TRANSPORTADOR DE OLLA DE ESCORIA DE COBRE

Considerando la metodología y requerimientos de manutención basados en el proceso de RCM, es necesario asignar roles y tareas a cada uno de los integrantes del grupo de análisis (Facilitador, Supervisores, operadores y Técnicos de Mantenimiento), todo ello con el fin de establecer las funciones, parámetros y decisiones necesarios para la implementación y desarrollo del Plan de Mantenimiento con que operará el camión transportador de olla de escoria.

Según lo anterior, a continuación se mencionan las tareas a realizadas por el grupo de análisis, siguiendo el orden estipulado en el funcionamiento del RCM (Reliability Centred Maintenance)

9.1. FUNCIONES PRINCIPALES (EL POR QUÉ DE LA ADQUISICIÓN DEL ACTIVO)

- Transportar olla de escoria de cobre 18 t desde la nave fundición hasta los Botaderos de escoria
- Vaciar la olla escoria en los botaderos de escoria seleccionados sin sacudir
- Sacudir la olla al final de la faena

9.1.1. Funciones secundaria

- Transporte de la olla de escoria transcurra en forma segura para el operador
- Transporte de la olla de escoria sea seguro para el medio ambiente
- Transportar olla de escoria a no más de 16 Km/h cuando esta se encuentre llena
- Transportar olla de escoria a no más 32 km/h cuando la olla se encuentre vacía
- Consumo de diesel en un rango no mayor de un km por litro
- Transportar una olla de escoria sin daño estructural al mismo
- Transportar una carga máxima de 100 t
- Poseer la potencia necesaria para sacar la olla de los hornos de limpieza y trasportarla hacia los botaderos

- Poseer una estructura estable para las diferentes condiciones de terreno en las cuales opera
- Poseer dimensiones estructurales acordes con las dimensiones de accesos a los hornos de limpieza
- Poseer una estética acordes con los estándares de la función
- Poseer una iluminación acorde a las condiciones del terreno en que desempeña labor.
- Poseer una autonomía acorde a los tiempos en que dura la operación
- Ser capaz de detener el movimiento en una distancia considerable cuando el camión transporta la olla llena
- Capacidad para operar en diferentes condiciones climáticas

9.2. HOJAS DE INFORMACIÓN

A continuación se presentan las hojas de información realizadas para este plan de mantenimiento.

Tabla 9-1: Hoja de información RCM N° 1.

Hoja de Información RCM		Elemento: Camión Transportador de Escoria	Realizado por:		Fecha:	Hoja: 1
			Revisado por:		Fecha:	De:
1	FUNCIÓN Transportar la taza de escoria de cobre 18 t, desde la nave fundición hasta los Botaderos de escoria.	A Totalmente incapaz de transportar la taza de escoria de cobre 18 t, desde la nave fundición hasta los Botaderos de escoria.	FALLA FUNCIONAL		EFECTO DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
			MODO DE FALLA (Causa de la falla)		Se encienden los testigos luminosos y zumbador de advertencia. Verifica estado mecánico del Motor. (Motor se analiza por separado)	
			1	Motor no gira.	2	Se enciende el testigo luminoso y zumbador de advertencia. 1 hora para su llenado de estanque. (Ver acción de Purga)
			2	Motor gira, pero no enciende por sistema de combustible. Falta de combustible.	3	Se enciende el testigo luminoso y el zumbador de advertencia. 2 horas en cambios de filtros de combustible.
			3	Motor gira, pero no enciende por sistema de combustible. Filtro sucio.	4	Se enciende el testigo luminoso y zumbador de advertencia. 3 horas en cambiar la bomba de trasvasije.
			4	Motor gira, pero no enciende por Sistema de combustible. Bomba de trasvasije dañada.	5	Se enciende testigo luminoso y zumbador de advertencia. 3 a 8 horas dependiendo si es un reemplazo o una reparación.
			5	Motor gira pero no enciende por sistema de combustible. Inyectores Bomba dañados.	6	Se enciende testigo luminoso y zumbador de advertencia. Reparación 5 a 12 horas dependiendo del daño.
			6	Motor gira, pero no enciende por compresión.	7	Se enciende testigo luminoso y zumbador de advertencia. 1 hora en cambio de filtro.
7	Motor gira, pero no enciende por Filtro de aire.					

Tabla 9-2: Hoja de información RCM N° 2

Hoja de Información RCM		Elemento: Camión Transportador de Escoria	Realizado por:		Fecha:	Hoja: 2	
			Revisado por:		Fecha:	De:	
1	FUNCION	Transportar la taza de escoria de cobre 18 t, desde la nave fundición hasta los Botaderos de escoria. (Continuación)	A	FALLA FUNCIONAL			EFFECTO DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)
				MODO DE FALLA (Causa de la falla)			
			8	Motor de arranque dañado.	Se enciende testigo luminoso. (Se analiza aparte el motor)		
			9	Temperatura excesiva del líquido refrigerante o del aceite.	Se enciende el testigo luminoso. La medida del líquido refrigerante o del aceite tiene que encontrarse entre los niveles alto y bajo. Dependiendo de la temperatura ambiente, toma entre dos a seis semanas consumir medio litro. 2 horas el llenado de líquido.		
			10	Corte de correa de transmisión.	Se dispara el motor, se enciende testigo luminoso y zumbador de advertencia. Detención inmediata del motor. 4 horas tiempo de cambio de correa de transmisión.		
			11	Batería con baja carga de electrolito o dañada.	Se enciende testigo luminoso de control. Se debe interrumpir el servicio, localizar y subsanar la causa de esta deficiencia antes de reanudar el servicio. 1 a 2 horas el cambio o el arreglo. Al conectar el encendido, con la falla ya solucionada, el Display entrega la tensión de a bordo y reserva de combustible.		
			12	Interrupción Principal dañado.	No responde los controles, por el daño del interruptor principal ya que este tiene como función interrumpir la alimentación eléctrica de los equipos a partir de las baterías incorporadas. 1 a 3 horas su reemplazo o reparación.		

Tabla 9-3: Hoja de información RCM N° 3.

Hoja de Información RCM		Elemento: Camión Transportador de Escoria	Realizado por:		Fecha:	Hoja:
			Revisado por:		Fecha:	De:
1	FUNCION	Transportar la taza de escoria de cobre 18 t, desde la nave fundición hasta los Botaderos de escoria. (Continuación)	A	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFFECTO DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)
			14	Caja de cambio con falta de líquido.	Se verifica la medida. Se lleva el nivel, se verifica si hay filtración. 2 a 4 horas dependiendo la causa de la baja en el líquido.	
			15	Dirección del Vehículo con fuga.	Se enciende testigo luminoso control y de pérdida de presión en el sistema. Se verifica problema (empalmes, cojinetes, vástagos y mangueras).	
			16	Cilindro de dirección dañado.	Se enciende testigo luminoso y zumbador de advertencia. Se reemplaza el cilindro. (tiempo 4 horas)	
			17	Sistema de freno de servicio con fuga.	Se enciende testigo luminoso y zumbador de advertencia. Se detiene el motor y se verifica la fuga. 2 a 3 horas de reparación dependiendo el grado de falla.	
			18	Acumuladores de presión de diafragma con daño.	Se enciende testigo luminoso control, presión inferior a 100 bares. Se reparan o reemplazan. Tiempo de 2 a 3 horas.	
			19	Accionamiento hidráulico de freno con aire en su interior.	Se detiene el vehículo, se sangra el sistema y se rellena. 3 horas en arreglo.	

Tabla 9-4: Hoja de información RCM N° 4.

Hoja de Información RCM		Elemento:	Realizado por:	Fecha:	Hoja:
		Camión Transportador de Escoria	Revisado por:	Fecha:	De:
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTO DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
1	Transportar la taza de escoria de cobre 18 t, desde la nave fundición hasta los Botaderos de escoria. (Continuación)	B Totalmente incapaz de transportar la taza de escoria de cobre 18 t, desde la nave fundición hasta los Botaderos de escoria; Por no ser posible recoger la taza.	1 Llave de paso del equipo hidráulico cerrada o dañada.	"Si están cerradas las llaves de paso en el lado de aspiración, las bombas trabajan en vacío, se destruyen dentro de un plazo muy corto de tiempo". "Si están cerradas las llaves de paso en el lado de alimentación (conducciones de presión), se recalienta el aceite hidráulico dentro de un plazo muy corto de tiempo". Se reemplazan.	
			2 Mangueras, conexiones y elementos de sujeción, dañados y fugas.	Se decae la presión, testigo luminoso encendido y zumbador de advertencia o panel de control se indica si hay falla. Reemplazo de pieza fallada.	
			3 Bomba regulable de embolo axial dañado.	Se paraliza la tarea o decae la presión. Si tiene ruido y este se incrementa con la subida de presión, puede haber daño en su interior. Luz testigo encendido y panel de control.	
			4 Falla en la sección de carga. (la posición más inferior)	Se enciende testigo luminoso y zumbador de advertencia. Se detiene la acción y se lleva a mantenimiento. 3 a 6 horas.	
			5 Enclavamiento de los Ganchos con falla en el cilindro.	Se enciende testigo luminoso y zumbador. Inspección visual, limpieza, cojinetes, purga de aire y juntas, se verifican y se reemplaza los elementos dañados. 3 a 5 horas.	
			6 Enclavamiento de los Ganchos con falla en el interruptor de fin de carrera.	Se enciende testigo luminoso y zumbador. Posible falla de aislamiento de los cables.	

Tabla 9-5: Hoja de información RCM N° 5.

Hoja de Información RCM		Elemento: Camión Transportador de Escoria		Realizado por:		Fecha:	
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		Revisado por:		De:	
		MODO DE FALLA (Causa de la falla)		EFFECTO DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)			
1	Transportar la taza de escoria de cobre 18 t, desde la nave fundición hasta los Botaderos de escoria. (Continuación)	C	Totalmente incapaz de transportar la taza de escoria de cobre 18 t, desde la nave fundición hasta los Botaderos de escoria; Por no ser posible depositar la taza.	1	Llave de paso del equipo hidráulico cerrada o dañada. (Como 1 - B - 1)	“Si están cerradas las llaves de paso en el lado de aspiración, las bombas trabajan en vacío, se destruyen dentro de un plazo muy corto de tiempo”. “Si están cerradas las llaves de paso en el lado de alimentación (conducciones de presión), se recalienta el aceite hidráulico dentro de un plazo muy corto de tiempo”. Se reemplazan.	5
				2	Mangueras, conexiones y elementos de sujeción, dañados y fugas. (Como 1 - B - 2)	Se decae la presión, testigo luminoso encendido y zumbador de advertencia o panel de control se indica si hay falla. Reemplazo de pieza fallada.	
				3	Bomba regulable de embolo axial dañado. (Como 1 - B - 3)	Se paraliza la tarea o decae la presión. Si tiene ruido y este se incrementa con la subida de presión, puede haber daño en su interior. Luz testigo encendido y panel de control.	
				4	Falla en la sección de carga. (Como 1 - B - 4)	Se enciende testigo luminoso y zumbador de advertencia. Se detiene la acción y se lleva a mantenimiento. 3 a 6 horas.	
				5	Enclavamiento de los Ganchos con falla en el cilindro. (Como 1 - B - 5)	Se enciende testigo luminoso y zumbador. Inspección visual, limpieza, cojinetes, purga de aire y juntas, se verifican y se reemplaza los elementos dañados. 3 a 5 horas.	

Tabla 9-6: Hoja de información RCM N° 6.

Hoja de Información RCM		Elemento: Camión Transportador de Escoria	Realizado por:		Fecha:	Hoja:
			Revisado por:		Fecha:	De:
1	<p>FUNCIÓN</p> <p>Transportar la taza de escoria de cobre 18 t, desde la nave fundición hasta los Botaderos de escoria. (Continuación)</p>	<p>FALLA FUNCIONAL</p> <p>C Totalmente incapaz de transportar la taza de escoria de cobre 18 t, desde la nave fundición hasta los Botaderos de escoria; Por no ser posible depositar la taza.</p> <p>D Parcialmente incapaz de transportar la taza de escoria de cobre 18 t, desde la nave fundición hasta los Botaderos de escoria.</p>	MODO DE FALLA (Causa de la falla)		EFECTO DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
			6	Enclavamiento de los Ganchos con falla en el interruptor de fin de carrera. (Como 1 - B - 6)	Se enciende testigo luminoso y zumbador. Posible falla de aislamiento de los cables.	
		1	Presión demasiado baja del aceite lubricante del motor.	Se enciende testigo luminoso. Se detiene el motor y se rellena el depósito.		
		2	Potencia Insuficiente del motor.	Se dispara el motor o se detiene, por problemas de potencia. (se analiza aparte el motor)		
		3	Ruidos desacostumbrados.	Se detiene el motor, por sospecha de avería. (Se analiza aparte el motor)		
		4	Producción considerable de Humo.	Se detiene la faena si es posible y se analiza el motor.		
		5	Consumo excesivo de liquido refrigerante, combustible o aceite lubricante.	Se enciende testigo luminoso. Se analiza motor . Verificando fuga, filtración.		
		6	Falta de estanqueidad en el sistema de refrigeración, en el sistema de combustible o en el sistema de lubricación.	Se verifican los sistemas. Testigo luminoso de enciende.		
		7	Armarío de conexiones con daño.	Se enciende testigo luminoso y panel de control. Se indica si hay una falla en componente eléctrico o electrónico de mando, de supervisión o la alimentación el efecto será distinto.		

Tabla 9-7: Hoja de información RCM N° 7.

Hoja de Información RCM		Elemento: Camión Transportador de Escoria	Realizado por:		Fecha:	Hoja: 7
			Revisado por:		Fecha:	De:
FUNCION		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)		EFECTO DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
1	Transportar la taza de escoria de cobre 18 t, desde la nave fundición hasta los Botaderos de escoria. (Continuación)	D	8	Caja de distribución de los cables con daño o falla.	Panel de control o con un testigo luminoso de control se indica si hay una falla.	
			9	Alumbrado dañado.	Dependiendo de la hora del día de la faena, el alumbrado es una parte importante en el desempeño de la faena. Panel de control o con un testigo luminoso de control se indica si hay una falla.	
			10	Neumáticos Dañado o desinflados.	Se disminuye la superficie de contacto del camión con el suelo, pudiendo ocasionar poco equilibrio o pérdida de tracción, también aumentando la presión de los otros neumáticos por el peso del camión. Reemplazo de neumático 5 horas.	
2	Descargar la taza de escoria en la estación de Volcado, sin sacudir la Taza	A	1	Llave de paso del equipo hidráulico cerrada o dañada. (Como 1 - B - 1)	"Si están cerradas las llaves de paso en el lado de aspiración, las bombas trabajan en vacío, se destruyen dentro de un plazo muy corto de tiempo". "Si están cerradas las llaves de paso en el lado de alimentación (conducciones de presión), se recalienta el aceite hidráulico dentro de un plazo muy corto de tiempo". Se reemplazan.	
			2	Mangueras, conexiones y elementos de sujeción, dañados y fugas. (Como 1 - B - 2)	Se decae la presión, testigo luminoso encendido y zumbador de advertencia o panel de control se indica si hay falla. Reemplazo de pieza fallada.	

Tabla 9-8: Hoja de información RCM N° 8.

Hoja de Información RCM		Elemento: Camión Transportador de Escoria	Realizado por:		Fecha:	Hoja: 8
			Revisado por:		Fecha:	De:
2	Función Descargar la taza de escoria en la estación de Volcado, sin sacudir la Taza. (Continuación)	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTO DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
		A	No se logra descargar la taza de escoria en la estación de Volcado, sin sacudir la Taza.	3 Bomba regulable de embolo axial dañado. (Como 1 - B - 3)	Se paraliza la tarea o decae la presión. Si tiene ruido y este se incrementa con la subida de presión, puede haber daño en su interior. Luz testigo encendido y panel de control.	
3	Descarga en la estación de Volcado, sacudir la Taza.	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTO DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
		A	No se logra la descarga en la estación de Volcado, sacudir la Taza.	4 Falla en la sección de carga. (Como 1 - B - 4)	Se enciende testigo luminoso y zumbador de advertencia. Se detiene la acción y se lleva a mantenimiento. 3 a 6 horas.	
3	Descarga en la estación de Volcado, sacudir la Taza.	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTO DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
		A	No se logra la descarga en la estación de Volcado, sacudir la Taza.	5 Enclavamiento de los Ganchos con falla en el cilindro. (Como 1 - B - 5)	Se enciende testigo luminoso y zumbador. Inspección visual, limpieza, cojinetes, purga de aire y juntas, se verifican y se reemplaza los elementos dañados. 3 a 5 horas.	
3	Descarga en la estación de Volcado, sacudir la Taza.	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTO DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
		A	No se logra la descarga en la estación de Volcado, sacudir la Taza.	6 Enclavamiento de los Ganchos con falla en el interruptor de fin de carrera. (Como 1 - B - 6)	Se enciende testigo luminoso y zumbador. Posible falla de aislamiento de los cables.	
3	Descarga en la estación de Volcado, sacudir la Taza.	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTO DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
		A	No se logra la descarga en la estación de Volcado, sacudir la Taza.	7 Cilindro de Volcado con falla.	Se enciende testigo luminoso y zumbador. Inspección visual, limpieza, cojinetes, purga de aire y juntas, se verifican y se reemplaza los elementos dañados. 3 a 5 horas.	
3	Descarga en la estación de Volcado, sacudir la Taza.	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTO DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
		A	No se logra la descarga en la estación de Volcado, sacudir la Taza.	1 Interruptor de sacudida dañado.	Panel de control o con un testigo luminoso de control se indica si hay una falla. Reemplazo de interruptor.	
3	Descarga en la estación de Volcado, sacudir la Taza.	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTO DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
		A	No se logra la descarga en la estación de Volcado, sacudir la Taza.	2 Como 2 - A anterior.	Panel de control o con un testigo luminoso de control se indica si hay una falla. Reemplazo de interruptor.	

Tabla 9-9: Hoja de información RCM N° 9.

Hoja de Información RCM		Elemento: Camión Transportador de Escoria	Realizado por:		Fecha:	Hoja: 9					
			Revisado por:		Fecha:	De:					
4	FUNCIÓN Transporte de la taza de escoria transcurra en forma segura para el operador.	A	FALLA FUNCIONAL Transporte de la taza de escoria no transcurra en forma segura para el operador.	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTO DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)						
				1 Como 1 - A - 15	2 Como 1 - A - 16	3 Como 1 - A - 17	4 Como 1 - A - 18	5 Como 1 - A - 19	6 Como 1 - D - 7	7 Como 1 - D - 8	8 Como 1 - D - 9
						<p>Causar un descontrol en el manejo del camión, cambio de dirección abrupta o un frenado no previsto, con un posible riesgo en el entorno, operario, obreros y estructuras en su inmediaciones.</p> <p>Maniobra de gran posibilidad de ocasionar un accidente; Operario debe acudir a la ayuda de una persona que le guíe con señas. (Se presume que tanto la persona que emite las señas como el conductor del vehículo emiten y entienden correctamente los gestos o las señas). Solo una persona es la que tiene que emitir la señal.</p> <p>Detener la maniobra, enclavar y asegurarse que todas las ventanillas y puerta están cerradas.</p>					

Tabla 9-10: Hoja de información RCM N° 10.

Hoja de Información RCM		Elemento: Camión Transportador de Escoria		Realizado por: Revisado por:		Fecha:	Hoja: 10
FUNCION		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA (Causa de la falla)		Fecha:	De:
5	Transportar una carga máxima de 100 t.	A	Transportar taza de escoria con sobrecarga.	1	Proceso de llenado de taza se haya realizado en forma incorrecta, o por mala supervisión.	EFECTO DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla) Si se alcanza la sobrecarga, se bloquean las funciones que comporten el movimiento del vehículo. Se ilumina el piloto de control, se ilumina el piloto de aviso, suena el zumbador de aviso y en lo posible "asentar la carga". Mensaje textual en el Display si hay una sobre carga de un 110%.	
6	Consumo de combustible (Diesel) en un rango no mayor a 1 Litro por 1 Km.	A	Consumo de Combustible (Diesel) mayor a un rango de 1 Litro por 1 Km.	1	Sistema de Combustible dañado, mal regulado o con imperfectos.	Se enciende testigo luminoso y zumbador de advertencia. 3 a 7 horas dependiendo si es un reemplazo o una reparación.	
				2	Mala compresión en el motor.	Se enciende testigo luminoso y zumbador de advertencia. Reparación 5 a 12 horas dependiendo del problema. También se presenta como una pérdida de Potencia.	
				3	Problemas con la temperatura del motor.	Se enciende testigo luminoso y zumbador de advertencia. Se verifica los componentes del sistema de refrigeración.	
				4	1 - D - 5		
				1	6 - A - 1		
				2	6 - A - 2		
				3	6 - A - 3		
				4	1 - D - 5		
7	Poseer una autonomía acorde a los tiempos en que dura la operación.	A	No posee una autonomía acorde a los tiempos en que dura la operación.				

Tabla 9-11: Hoja de información RCM N° 11.

Hoja de Información RCM		Elemento: Camión Transportador de Escoria		Realizado por:	Fecha:	Hoja: 11
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		Revisado por:	Fecha:	De:
7	Poseer una autonomía acorde a los tiempos en que dura la operación. (Continuación)	A	Acorde a los tiempos en que dura la operación.	5	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFEECTO DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)
8	Ser capaz de detener el camión a una distancia considerable cuando este transporta la taza.	A	No ser capaz de detener el camión a una distancia considerable cuando este transporta la taza.	1 2 3 4	<p>Poseer un estanque de combustible no apto para la autonomía de los turnos.</p> <p>1 - A - 17</p> <p>1 - A - 18</p> <p>1 - A - 19</p> <p>Holgura en los frenos mayor a la especificada por el fabricante (1 mm).</p>	<p>El camión se vera en una deficiencia en la faena, por el paro del camión en el llenado del estanque a intervalos más seguidos que los habituales produciendo pérdidas de costo en la faena.</p> <p>Con la holgura del sistema de freno ajustada a una dimensión mayor, la eficiencia del frenado disminuye considerablemente, produciendo mayor riesgo de accidentes en la faena. (ajustar la holgura)</p>
				5	Forros del freno desgastados.	<p>Para los limites de desgastes de los forros es de 2 mm a cada lado. Hay que sustituir inmediatamente los forros desgastados, deteriorados o endurecidos.</p>
				6	Disco de freno desgastados.	<p>Hay que sustituir inmediatamente los discos de freno desgastados o deterioraos, pues de otro modo existe peligro de desgaste prematuro de los forros del freno.</p>
				7	Presión de inflado deficiente o excesivo.	<p>La presión de inflado de lo neumáticos no debe ser demasiado baja ni demasiado alta, pues de otro modo pueden producirse daño en las llantas y en los neumáticos. Ver también modo de falla 1 - D - 10.</p>

Tabla 9-12: Hoja de información RCM N° 12.

Hoja de Información RCM		Elemento: Camión Transportador de Escoria	Realizado por:		Fecha:	Hoja:
			Revisado por:	Fecha:	De:	
9	FUNCION Poseer una iluminación acorde con los estándares de la fundición.	FALLA FUNCIONAL A No poseer una iluminación acorde con los estándares de la fundición.	MODO DE FALLA (Causa de la falla)		EFECTO DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
			1	Intermitentes a la Derecha / a la Izquierda con fallas en su iluminación.	El camión presenta fallas en los intermitentes, testigo de control se enciende, o también no se enciende. Arreglo de falla.	
10	Transporta taza de escoria a no más de 16 km / h. cuando la taza se encuentre llena.	A Transporta taza de escoria sobre pasando los 16 km / h. establecidos por el fabricante cuando la taza se encuentre llena.	2	Pilotos panorámicos como intermitentes de advertencia al circular con fallas.	Paro del camión, por el arreglo del intermitente de advertencia.	
			3	Intermitentes de advertencia con fallas.	Paro del camión, por el arreglo o reemplazo del intermitente de advertencia.	
			4	Faro delantero de trabajo dañados o con fallas.	Paro del camión, por el arreglo o reemplazo de Faros delanteros de trabajo. Ver también modo de falla 1 - D - 9.	
			5	Faros traseros de trabajo dañados o con fallas.	Paro del camión, por el arreglo o reemplazo de Faros traseros de trabajo.	
			6	Faros de trabajo tarima dañados o con fallas.	Paro del camión, por el arreglo o reemplazo de Faros de trabajo tarimas.	
			1	1 - A - 13.	No se ha ajustado correctamente el pedal. Ajustar el pedal de acuerdo con las instrucciones para el montaje.	
2	Error de ajuste de la unidad del pedal.	Falla de una o de las dos señales PWM. Puede proseguirse la marcha con una señal PWM; no funciona el tempostat, o se utiliza la señal para ralentí.				
3	Error en la señal: Unidad de pedal					

Tabla 9-13: Hoja de información RCM N° 13.

Hoja de Información RCM		Elemento: Camión Transportador de Escoria	Realizado por:	Fecha:	Hoja: 13
			Revisado por:	Fecha:	De:
	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFEECTO DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
10	Transporta taza de escoria a no más de 16 km / h. cuando la taza se encuentre llena.	A Transporta taza de escoria sobre pasando los 16 km / h. establecidos por el fabricante cuando la taza se encuentre llena.	4 Señal de velocidad con fallas.	Cortocircuito a masa, o capacidad demasiado alta en el conductor. En función del programa, limitación del actuador, y se desactiva la función v.	
11	Transporta taza de escoria a no más de 32 km / h. cuando la taza se encuentre vacía.	A Transporta taza de escoria sobre pasando los 32 km / h. establecidos por el fabricante cuando la taza se encuentre vacía.	5 Problemas con el operador 1 1 - A - 13. 2 Error de ajuste de la unidad del pedal. (Como 10 - A - 2)	No se ha ajustado correctamente el pedal. Ajustar el pedal de acuerdo con las instrucciones para el montaje.	
			3 Error en la señal: Unidad de pedal PWM. (Como 10 - A - 3)	Falla de una o de las dos señales PWM. Puede proseguirse la marcha con una señal PWM; no funciona el tempostat, o se utiliza la señal para ralenti.	
			4 Señal de velocidad con fallas. (Como 10 - A - 4)	Cortocircuito a masa, o capacidad demasiado alta en el conductor. En función del programa, limitación del actuador, y se desactiva la función v.	
			5 Problemas con el operador		
12	Transporte de taza de escoria transcurra en forma segura para el Medio Ambiente.	A Transporte de la taza de escoria no transcurra en forma segura para el Medio Ambiente.	1 1 - D - 10. 2 4 - A - 10. 3 4 - A - 11. 4 5 - A - 1.		

Tabla 9-14: Hoja de información RCM N° 14.

Hoja de Información RCM		Elemento: Camión Transportador de Escoria	Realizado por:	Fecha:	
				Revisado por:	Fecha:
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTO DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
12	Transporte de taza de escoria transcurra en forma segura para el Medio Ambiente. (Continuación)	A Transporte de la taza de escoria no transcurra en forma segura para el Medio Ambiente.	5 Problemas con el operador		
13	Transporta taza de escoria sin daño estructural al mismo.	A Transporta taza de escoria con daño estructural al mismo.	1 Falla neumáticos 2 Falla de sistema Hidráulico. 3 Fatiga de materia estructural.	Desnivelación del camión (4 horas para su verificación, reparación o sustitución de neumáticos) Se enciende el testigo luminoso y el zumbador de advertencia. (4 horas) Deformación o fatiga de uniones estructurales de sistema de levante y enclavamiento de taza de escoria.	
14	Poseer la potencia necesaria para sacar la taza de escoria de los hornos de limpieza y transportarla hacia los botaderos.	A No poseer la potencia necesaria para sacar la taza de escoria de los hornos de limpieza y transportarla hacia los botaderos.	1 Motor con baja compresión 2 Perdida de potencia por obstrucción de sistema de alimentación de aire. 3 Sistema de alimentación de combustible mal calibrado (bomba, inyectores)	Se enciende testigo luminoso y zumbador de advertencia. 1 hora en dependiendo del daño. Reparación 5 a 12 horas Se enciende testigo luminoso y zumbador de advertencia. 1 hora en cambio de filtro u obstrucción de múltiple. Se enciende testigo luminoso y zumbador de advertencia. 3 a 8 horas dependiendo si es un reemplazo o una reparación.	

Tabla 9-15: Hoja de información RCM N° 15.

Hoja de Información RCM		Elemento: Camión Transportador de Escoria		Realizado por:	Fecha:	Hoja: 15
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA (Causa de la falla)	Fecha:	De:
14	Poseer la potencia necesaria para sacar la taza de escoria de los hornos de limpieza y transportarla hacia los botaderos. (Continuación)	A	No poseer la potencia necesaria para sacar la taza de escoria de los hornos de limpieza y transportarla hacia los botaderos.	4 Temperatura excesiva del líquido refrigerante o del aceite. (Como 1 - A - 9)	Se enciende el testigo luminoso. La medida del líquido refrigerante o del aceite tiene que encontrarse entre los niveles alto y bajo. Dependiendo de la temperatura ambiente, toma entre dos a seis semanas consumir medio litro. 2 horas el llenado de líquido.	
				5 Caja de Cambios Dañada. (Como 1 - A - 13)	El motor se dispara y se acciona el zumbador de advertencia y testigo luminoso, el movimiento se detiene. 5 a 6 horas para cambiar la caja de cambios.	
				6 Caja de cambio con falta de líquido. (Como 1 - A - 14)	Se verifica la medida. Se lleva el nivel, se verifica si hay filtración. 2 a 4 horas dependiendo la causa de la baja en el líquido.	
				7 Motor inadecuado para el trabajo a realizar.		
				8 Disposición geográfica de trabajo del camión inadecuada.	Motor no es capaz de transportar la taza de escoria de cobre con una eficacia esperada. Poca potencia por falta de aire en el sistema de alimentación.	
15	Poseer una estructura estable para las diferentes condiciones de terreno en las cuales opera.	A	No poseer una estructura estable para las diferentes condiciones de terreno en las cuales opera.	1 Neumáticos Dañador o desinflados.	Se disminuye la superficie de contacto del camión con el suelo, pudiendo ocasionar poco equilibrio o pérdida de tracción, también aumentando la presión de los otros neumáticos por el peso del camión. Reemplazo de neumático 5 horas.	

Tabla 9-16: Hoja de información RCM N° 16.

Hoja de Información RCM		Elemento: Camión Transportador de Escoria	Realizado por: Revisado por:	Fecha:	Hoja: 16
				Fecha:	De:
15	FUNCIÓN Poseer una estructura estable para las diferentes condiciones de terreno en las cuales opera. (Continuación)	FALLA FUNCIONAL A No poseer una estructura estable para las diferentes condiciones de terreno en las cuales opera.	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTO DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
			2	Falla en sistema de amortiguación.	Se disminuye el efecto de amortiguación ocasionando que el andar la estabilidad y el manejo del camión sean más inseguros para el operador. Reemplazo de sistema de amortiguación (9 horas).
			3	Mangueras, conexiones y elementos de sujeción, dañados y fugas. (Como 1 - B - 2)	Se decae la presión, testigo luminoso encendido y zumbador de advertencia o panel de control se indica si hay falla. Reemplazo de pieza fallada.
			4	Bomba regulable de embolo axial dañado. (Como 1 - B - 3)	Se paraliza la tarea o decae la presión. Si tiene ruido y este se incrementa con la subida de presión, puede haber daño en su interior. Luz testigo encendido y panel de control.
			5	Falla en la sección de carga. (Como 1 - B - 4)	Se enciende testigo luminoso y zumbador de advertencia. Se detiene la acción y se lleva a mantención. 3 a 6 horas.
			6	Enclavamiento de los Ganchos con falla en el cilindro. (Como 1 - B - 5)	Se enciende testigo luminoso y zumbador. Inspección visual, limpieza, cojinetes, purga de aire y juntas, se verifican y se reemplaza los elementos dañados. 3 a 5 horas.
			7	Enclavamiento de los Ganchos con falla en el interruptor de fin de carrera. (Como 1 - B - 6)	Se enciende testigo luminoso y zumbador. Posible falla de aislamiento de los cables.

Tabla 9-17: Hoja de información RCM N° 17.

Hoja de Información RCM		Elemento: Camión Transportador de Escoria		Realizado por:	Fecha:	Hoja: 17
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		Revisado por:	Fecha:	De:
16	Poseer dimensiones estructurales acordes con las dimensiones de acceso a los hornos de limpieza.	A	No poseer dimensiones estructurales acordes con las dimensiones de acceso a los hornos de limpieza.	1	EFECTO DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla) Camión no cumple con requisitos.	
17	Capacidad de operar en diferentes condiciones climáticas.	A	No posee las condiciones apropiadas para operar en diferentes condiciones climáticas.	1	Se verifica el sistema de refrigeración si es una T° alta y se revisa el sistema puesta en marcha en frío si la T° es baja, y También el problema puede presentarse por el sintoma de la altura.	
				2	Motor no es apropiado para condiciones de trabajo en alturas.	
				3	Habitáculo no apropiado para diferentes condiciones climáticas.	
				4	Sin sistema de alumbrado en Botaderos. Se produce una mala operación del camión por efecto de la condición de no contar con un sistema de alumbrado, lo cual afecta al desempeño del trabajo del operador. Se produce una mala operación del camión por efecto de las condiciones climáticas, las cuales afectan al desempeño del trabajo del operador.	

9.3. HOJAS DE DECISIÓN

El siguiente material corresponde a las Hojas que deberán ser utilizadas en la toma de decisiones las cuales fueron desarrolladas con la información presentada en el punto 9.2 de la presente Tesis.

Tabla 9-18: Hoja de Decisión RCM N° 1.

Hoja de Decisión RCM.										Elemento: Camión Transportador de Escoria					Hoja: 1	
Referencia de Información		Evaluación de las consecuencias			H1	H2	H3	Tareas "a falta de"				Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por	De:	
F	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3	H6	H5	S4					
1	A	1	S	N	N	S						Revisión. Motor (estado)	No. Mant. Progr.	Mecánico.		
1	A	2	S	N	N	S						Revisión. Nivel combustible.	Diaria.	Operador / Mecánico.		
1	A	3	S	N	N	S						Revisión. Cambio Filtro segur horometro.	600 horas.	Mecánico.		
1	A	4	S	N	N	S						Revisión. Bomba.	600 horas.	Mecánico.		
1	A	5	S	N	N	S						Revisión. Inyectores.	600 horas.	Mecánico.		
1	A	6	S	N	N	S						Revisión Perdida Compresión.	600 horas.	Mecánico.		
1	A	7	S	N	N	S						Revisión. Cambio Filtro Aire.	1200 horas.	Mecánico.		
1	A	8	S	N	N	S						Revisión. Motor Arranque.	600 horas.	Mecánico.		
1	A	9	S	N	N	S						Revisión. Termostato, búsqueda de Falla.	No. Mant. Progr.	Mecánico.		
1	A	10	S	N	N	S						Revisión de Coresas.	200 horas.	Mecánico.		
1	A	11	S	N	N	S						Revisión. Batería, Carga.	100 horas.	Mecánico.		
1	A	12	S	N	N	S						Sustitución.	No. Mant Progr.	Eléctrico / Mecánico.		
1	A	13	S	N	N	S						Revisión. Caja de Cambio. (Estado)	1200 horas.	Mecánico.		
1	A	14	S	N	N	S						Revisión periódica de niveles.	100 horas /	Mecánico.		
1	A	15	S	N	N	S						Revisión de fugas.	Diaria.	Mecánico.		
1	A	16	S	N	N	S						Reparación o sustitución del mismo.	Diaria.	Mecánico.		
1	A	17	S	S	N	S						Reparación.	200 horas.	Mecánico.		
1	A	18	S	N	N	S						Reparación Acumulador.	200 horas.	Mecánico.		
1	A	19	S	N	N	S						Sangra miento sistema de freno y relleno.	Cada 100 Horas /	Mecánico.		
												una pérdida de potencia de frenado.	Diaria.	Mecánico / Operador.		
1	B	1	S	N	N	S						Revisión de llave hidráulica.	Diaria.	Mecánico / Operador.		
1	B	2	S	N	N	S						Revisión e inspección de sistema.	Diaria.	Mecánico / Operador.		
1	B	3	S	N	N	S						Revisión y reparación.	600horas.	Mecánico.		
1	B	4	S	N	N	S						Revisión y reparación.	Cada 600 Horas	Mecánico.		
1	B	5	S	N	N	S						Revisión.	Diaria.	Mecánico / Operador.		
1	B	6	S	N	N	S						Revisión y reemplazo.	Diaria.	Mecánico / Operador.		

Tabla 9-19: Hoja de Decisión RCM N° 2.

Hoja de Decisión RCM.										Elemento:				Hoja: 2	
Hoja de Decisión RCM.										Camión Transportador de Escoria				De:	
Referencia de Información		Evaluación de las consecuencias			Tareas						Frecuencia Inicial	A realizar por			
F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	"a falta de"			Tareas Propuestas		
							S1	S2	S3	H6	H5	S4			
1	C	1	S	N	N	S	S						Revisión de llave hidráulica.	Diaria.	Mecánico / Operador.
1	C	2	S	N	N	S	S						Revisión e inspección de sistema.	Diaria.	Mecánico / Operador.
1	C	3	S	N	N	S	S						Revisión y reparación.	600 horas.	Mecánico.
1	C	4	S	N	N	S	S						Revisión y reparación.	Cada 600 Horas	Mecánico.
1	C	5	S	N	N	S	S						Revisión.	Diaria.	Mecánico / Operador.
1	C	6	S	N	N	S	S						Revisión y reemplazo.	Diaria.	Mecánico / Operador.
1	D	1	S	N	N	S	S						Revisión del sist. de lubricación del motor (nivel y estado)	100 horas.	Mecánico.
1	D	2	S	N	N	S	S						Revisión Motor.	600 horas.	Mecánico.
1	D	3	S	N	N	S	S						Revisión Motor.	No.Mant.Progr.	Mecánico.
1	D	4	S	N	N	S	S						Revisión Motor.	200 horas.	Mecánico.
1	D	5	S	N	N	S	S						Revisión Motor.	1200 horas.	Mecánico.
1	D	6	S	N	N	S	S						Revisión Sistema.	600 horas.	Mecánico.
1	D	7	S	N	N	S	S						Revisión Sistema.	200 horas.	Eléctrico.
1	D	8	S	N	N	S	S						Revisión Sistema.	200 horas.	Eléctrico.
1	D	9	S	N	N	S	S						Revisión Sistema.	Diaria.	Eléctrico.
1	D	10	S	N	N	S	S						Reemplazo o Regulación de pº Neumático.	Diaria.	Mecánico.
2	A	1	S	N	N	S	S						Revisión de llave hidráulica.	Diaria.	Mecánico / Operador.
2	A	2	S	N	N	S	S						Revisión e inspección de sistema.	Diaria.	Mecánico / Operador.
2	A	3	S	N	N	S	S						Revisión y reparación.	600 horas.	Mecánico.
2	A	4	S	N	N	S	S						Revisión y reparación.	Cada 600 Horas	Mecánico.
2	A	5	S	N	N	S	S						Revisión.	Diaria.	Mecánico / Operador.
2	A	6	S	N	N	S	S						Revisión y reemplazo.	Diaria.	Mecánico / Operador.
2	A	7	S	N	N	S	S						Revisión.	Diaria.	Mecánico / Operador.
3	A	1	S	N	N	S	S						Reemplazo.	Diaria.	Mecánico / Operador.
3	A	2	S	N	N	S	S						Revisión de llave hidráulica.	Diaria.	Mecánico / Operador.
3	A	3	S	N	N	S	S						Revisión e inspección de sistema.	Diaria.	Mecánico / Operador.
3	A	4	S	N	N	S	S						Revisión y reparación.	600 horas.	Mecánico.
3	A	5	S	N	N	S	S						Revisión y reparación.	Cada 600 Horas	Mecánico.
3	A	6	S	N	N	S	S						Revisión.	Diaria.	Mecánico / Operador.

Tabla 9-20: Hoja de Decisión RCM N° 3.

Hoja de Decisión RCM.				Elemento: Camión Transportador de Escoria										Hoja: 3			
Referencia de Información				Evaluación de las consecuencias			Tareas "a falta de".							Frecuencia Inicial		A realizar por	
F	FF	MF		H	S	E	O	H1	H2	H3	H6	H5	S4	Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por	
				S	N	N	S	S1	S2	S3	O1	O2	O3	O3			
				S	N	N	S	N1	N2	N3							
3	A	7		S	N	N	S	S						Revisión y reemplazo.	Diaria.	Mecánico / Operador.	
3	A	8		S	N	N	S	S						Revisión.	Diaria.	Mecánico / Operador.	
4	A	1		S	N	N	S	S						Revisión de fugas.	Diaria.	Mecánico.	
4	A	2		S	N	N	S	S						Reparación o sustitución del mismo.	200 horas.	Mecánico.	
4	A	3		S	N	N	S	S						Reparación.	100 horas.	Mecánico.	
4	A	4		S	N	N	S	S						Reparación Acumulador.	No.Mant.Progr.	Mecánico.	
4	A	5		S	N	N	S	S						Sangra miento sistema de freno y relleno.	Cada 100 Horas./ y cuando haya una pérdida de Potencia de frenado.	Mecánico.	
4	A	6		S	N	N	S	S						Revisión Sistema.	200 horas.	Eléctrico.	
4	A	7		S	N	N	S	S						Revisión Sistema.	200 horas.	Eléctrico.	
4	A	8		S	N	N	S	S						Revisión Sistema.	Diaria.	Mecánico.	
4	A	9		S	N	N	S	S						Reemplazo o Regulación de P ^o Neumático.	Diaria.	Mecánico.	
4	A	10		S	S			S									
4	A	11		S	S			S									
4	A	12		S	S			S									
5	A	1		S	N	S		S						Enclavar Ventanas y Puertas.	Diaria.	Operador.	
6	A	1		S	N	S		S						Vigilar el proceso correctamente.	Diaria.	Operador.	
6	A	2		S	N	S		S						Revisión y reparación	600 horas.	Mecánico.	
6	A	3		S	N	S		S						Verificar motor estanquidad.	600 horas.	Mecánico.	
6	A	4		S	N	S		S						Verificar el sistema de refrigeración.	No.Mant.Progr.	Mecánico.	
6	A	5		S	N	S		S						Revisión Motor.	1200 horas.	Mecánico.	
7	A	1		S	N	S		S						Revisión y reparación	600 horas.	Mecánico.	
7	A	2		S	N	S		S						Verificar motor estanquidad.	600 horas.	Mecánico.	
7	A	3		S	N	S		S						Verificar el sistema de refrigeración.	No.Mant.Progr.	Mecánico.	
7	A	4		S	N	S		S						Revisión Motor.	1200 horas.	Mecánico.	
7	A	5		S	N	S		S						Cambio de estanque de combustible o Reacondicionamiento.	No.Mant.Progr.	Mecánico.	

Tabla 9-22: Hoja de Decisión RCM N° 5.

Hoja de Decisión RCM.		Elemento: Camión Transportador de Escoria										Hoja: 5			
F	Referencia de Información		Evaluación de las consecuencias			H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas "a falta de"				Frecuencia Inicial	A realizar por	
	FF	MF	H	S	E				O	H6	H5	S4			S
11	A	2	S	N	N	S	S						100 horas.	Mecánico.	
11	A	3	S	N	N	S	S						100 horas.	Mecánico / Eléctrico.	
11	A	4	S	N	N	S	S						100 horas.	Mecánico / Eléctrico.	
11	A	5	S	N	N	S	S						Diaria.	Mecánico.	
12	A	1	S	N	N	S	S						Diaria.	Mecánico.	
12	A	2	S	S	S	S	S						Diaria.	Operador.	
12	A	3	S	S	S	S	S						Diaria.	Mecánico.	
12	A	4	S	N	S	S	S						600 horas.	Mecánico.	
12	A	5	S	N	S	S	S						Diaria.	Operador / Mecánico.	
13	A	1	S	N	N	S	S						600 horas.	Mecánico.	
13	A	2	S	N	N	S	S						100 horas.	Mecánico.	
13	A	3	S	S	S	S	S						600 horas.	Mecánico.	
14	A	1	S	N	N	S	S						600 horas.	Mecánico.	
14	A	2	S	N	N	S	S						100 horas.	Mecánico.	
14	A	3	S	N	N	S	S						600 horas.	Mecánico.	
14	A	4	S	N	N	S	S						No. Mant Progr.	Mecánico.	
14	A	5	S	N	N	S	S						1200 horas.	Mecánico.	
14	A	6	S	N	N	S	S						100 horas / Diaria.	Mecánico.	
14	A	7	S	N	N	S	S						Diaria.	Mecánico.	
14	A	8	S	N	N	S	S						Diaria.	Mecánico.	
15	A	1	S	N	N	S	S						Diaria.	Mecánico.	

9.4. DESARROLLO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

En el siguiente punto se presenta el desglose de los criterios utilizados para, posteriormente, confeccionar el Programa de Mantenimiento propiamente tal. Ello utilizando como parámetros de clasificación la Función del camión (F), el Modo de Falla (MF), y la Falla Funcional (FF), en todos los ámbitos correspondientes a la labor que debe desempeñar el camión (Figura N° 1, Figura N° 2, Figura N° 3, Figura N° 4).

Lo anterior, llevo a confeccionar una hoja que agrupará el estado funcional del camión, correspondiente al Mantenimiento Programado, y que debe hacerse según el tiempo estipulado, en cada una de ellas (tabla de verificación, 9.4.2). Para ello el personal asignado a cargo deberá completar una ficha de observación denominada lista de verificación de mantenimiento (listado de verificación 9.4.3).

9.4.1. Confección del programa de mantenimiento

Tabla 9-24: Confección del Programa de Mantenimiento

F	FF	MF	ITEM	DESCRIPCIÓN	PROGRAMA
1	A	1	001	Motor camión	M-001 Revisación motor (por parte)
1	A	2	002	Falta de combustible.(Motor)	M-002 Purga de sistema y llenado de Diesel.
1	A	3	003	Filtro de Diesel. (Motor)	M-003 Revisión y cambio de filtro Diesel.
1	A	4	004	Sistema Bomba de Diesel	M-004 Revisión Bomba.
1	A	5	005	Sistema Inyección Bomba.	M-005 Revisión Inyectores.
1	A	6	006	Sist. de Compresión. (Motor)	M-006 Revisión pérdida de Compresión.
1	A	7	007	Filtro de Aire y Combustible. (Motor)	M-007 Revisión y Cambio de filtro Aire ó Combsutable.
1	A	8	008	Motor de arranque con Falla	M-008 Revisión Motor Arranque.
1	A	9	009	Sist. de T° de Refrig. y aceite	M-009 Revisión Termostato.
1	A	9a	009-a	Radiador.	M-009 Revisión Radiador.
1	A	10	010	Corea de Transmisión	M-010 Revisión de Corea.
1	A	11	011	Sistema de Batería	M-011 Revisión batería, Carga.
1	A	12	012	Interruptor Principal	M-012 Sustitución.
1	A	13	013	Caja de Cambio	M-013 Revisión caja de cambio (Estado)
1	A	14	013	Caja de Cambio	M-013 Revisión caja de cambio (Estado)
1	A	15	014	Sistema de Dirección	M-014 Revisión de fugas.
1	A	16	015	Cilindro de Dirección	M-015 Reparación o Sustitución.
1	A	17	016	Sistema de Freno.	M-016 Revisión y / o Reparación.
1	A	18	017	Sist. Acumuladores de Aire	M-017 Revisión y / o Reparación.
1	A	19	018	Accionamiento hidráulico Freno	M-018 Sangramiento del sistema y llenado.
1	B	1	019	Llave de paso equipo hidráulico	M-019 Revisión de llave hidráulica.
1	B	2	020	Mangueras, conexiones y elementos de sujeción	M-020 Revisión e inspección de sistema
1	B	3	021	Bomba regulable Axial.	M-021 Revisión y / o Reparación.
1	B	4	022	Sistema de Carga Taza	M-022 Revisión y / o Reparación.
1	B	5	023	Sistema de Enclavamiento.	M-023 Revisión y / o Reparación.
1	B	6	023	Sistema de Enclavamiento.	M-023 Revisión y / o Reparación.
1	C	1	019	Llave de paso equipo hidráulico	M-019 Revisión de llave hidráulica.
1	C	2	020	Mangueras, conexiones y elementos de sujeción	M-020 Revisión e inspección de sistema
1	C	3	021	Bomba regulable Axial.	M-021 Revisión y / o Reparación.
1	C	4	022	Sistema de Carga Taza	M-022 Revisión y / o Reparación.
1	C	5	023	Sistema de Enclavamiento.	M-023 Revisión y / o Reparación.
1	C	6	023	Sistema de Enclavamiento.	M-023 Revisión y / o Reparación.
1	D	1	024	Sistema Lubricación Motor.	M-024 Revisión del sist. de Lubricación (nivel y estado)
1	D	2	025	Potencia Motor no adecuada	M-025 Revisión Motor.
1	D	3			
1	D	4	026	Sistema de emisión de humos	M-026 Revisión Motor.
1	D	5	027	Consumo excesivo liquido refrigerante, Diesel o aceites.	M-027 Revisión Motor.
1	D	6	028	Sistema de estanqueidad.	M-028 Revisión Sistema.
1	D	7	029	Armario de conexiones	M-029 Revisión Sistema.
1	D	8	030	Caja de distribución cables	M-030 Revisión Sistema.
1	D	9	031	Sist. de alumbrado Camión	M-031 Revisión Sistema.
1	D	10	032	Neumáticos	M-032 Reemplazo o regulación de P° neumáticos, u /o nivelación.

Tabla 9-24: Confección del Programa de Mantenimiento (Continuación)

F	FF	MF	ITEM	DESCRIPCIÓN	PROGRAMA
2	A	1	019	Llave de paso equipo hidráulico	M-019 Revisión de llave hidráulica.
2	A	2	020	Mangueras, conexiones y elementos de sujeción	M-020 Revisión e inspección de sistema
2	A	3	021	Bomba regulable Axial.	M-021 Revisión y / o Reparación.
2	A	4	022	Sistema de Carga Taza	M-022 Revisión y / o Reparación.
2	A	5	023	Sistema de Enclavamiento.	M-023 Revisión y / o Reparación.
2	A	6	023	Sistema de Enclavamiento.	M-023 Revisión y / o Reparación.
2	A	7	033	Cilindro de Volcado	M-033 Revisión y / o Reparación.
3	A	1	034	Interruptor de Sacudida.	M-034 Revisión, Reemplazo.
3	A	2	019	Llave de paso equipo hidráulico	M-019 Revisión de llave hidráulica.
3	A	3	020	Mangueras, conexiones y elementos de sujeción	M-020 Revisión e inspección de sistema
3	A	4	021	Bomba regulable Axial.	M-021 Revisión y / o Reparación.
3	A	5	022	Sistema de Carga Taza	M-022 Revisión y / o Reparación.
3	A	6	023	Sistema de Enclavamiento.	M-023 Revisión y / o Reparación.
3	A	7	023	Sistema de Enclavamiento.	M-023 Revisión y / o Reparación.
3	A	8	033	Cilindro de Volcado	M-033 Revisión y / o Reparación.
4	A	1	014	Sistema de Dirección	M-014 Revisión de fugas.
4	A	2	015	Cilindro de Dirección	M-015 Reparación o Sustitución.
4	A	3	016	Sistema de Freno.	M-016 Revisión y / o Reparación.
4	A	4	017	Sist. Acumuladores de Aire	M-017 Revisión y / o Reparación.
4	A	5	018	Accionamiento hidráulico Freno	M-018 Sangramiento del sistema y llenado.
4	A	6	029	Armario de conexiones	M-029 Revisión Sistema.
4	A	7	030	Caja de distribución cables	M-030 Revisión Sistema.
4	A	8	031	Sist. de alumbrado Camión	M-031 Revisión Sistema.
4	A	9	032	Neumáticos	M-032 Reemplazo o regulación de Pº neumático, u /o nivelación.
4	A	10			
4	A	11			
4	A	12	035	Sistema enclavamiento de puertas y ventanas camión.	M-035 Revisión.
5	A	1	036	Llenado de tasa de escoria	M-036 Supervisión.
6	A	1	037	Sistema de Combustible.	M-037 Revisión y Reparación.
6	A	2	006	Sist. de Compresión. (Motor)	M-006 Revisión perdida de Compresión.
6	A	3	009	Sist. de Tº de Refrig. y aceite	M-009 Revisión Termostato.
6	A	4	027	Consumo excesivo liquido refrigerante, Diesel o aceites.	M-027 Revisión Motor.
7	A	1	037	Sistema de Combustible.	M-037 Revisión y Reparación..
7	A	2	006	Sist. de Compresión. (Motor)	M-006 Revisión perdida de Compresión.
7	A	3	009	Sist. de Tº de Refrig. y aceite	M-009 Revisión Termostato..
7	A	4	027	Consumo excesivo liquido refrigerante, Diesel o aceites.	M-027 Revisión Motor.
7	A	5	038	Autonomía del Camión.	M-038 Cambio de estanque o Reacondicionamiento.
8	A	1	016	Sistema de Freno.	M-016 Revisión y / o Reparación.
8	A	2	017	Sist. Acumuladores de Aire	M-017 Revisión y / o Reparación.
8	A	3	018	Accionamiento hidráulico Freno	M-018 Sangramiento del sistema y llenado.

Tabla 9-24: Confección del Programa de Mantenimiento (Continuación)

F	FF	MF	ITEM	DESCRIPCIÓN	PROGRAMA	PROGRAMA
8	A	4	016	Sistema de Freno.	M-016	Revisión y / o Reparación.
8	A	5	016	Sistema de Freno.	M-016	Revisión y / o Reparación.
8	A	6	016	Sistema de Freno.	M-016	Revisión y / o Reparación.
8	A	7	032	Neumáticos.	M-032	Reemplazo o regulación de P° neumáticos, u /o nivelación.
9	A	1	039	Sistema de luces intermitentes del Camión.	M-039	Revisión y / o Reparación.
9	A	2	039	Sistema de luces intermitentes del Camión.	M-039	Revisión y / o Reparación.
9	A	3	039	Sistema de luces intermitentes del Camión.	M-039	Revisión y / o Reparación.
9	A	4	040	Sistema de Iluminación del Camión (Faro)	M-040	Revisión y / o Reparación.
9	A	5	040	Sistema de Iluminación del Camión (Faro)	M-040	Revisión y / o Reparación.
9	A	6	040	Sistema de Iluminación del Camión (Faro)	M-040	Revisión y / o Reparación.
10	A	1	013	Caja de Cambio.	M-013	Revisión caja de cambio (Estado)
10	A	2	041	Sistema de Aceleración.	M-041	Revisión, Ajuste y / o Reemplazo.
10	A	3	041	Sistema de Aceleración.	M-041	Revisión, Ajuste y / o Reemplazo.
10	A	4	041	Sistema de Aceleración.	M-041	Revisión, Ajuste y / o Reemplazo.
10	A	5				
11	A	1	013	Caja de Cambio.	M-013	Revisión caja de cambio (Estado)
11	A	2	041	Sistema de Aceleración.	M-041	Revisión, Ajuste y / o Reemplazo.
11	A	3	041	Sistema de Aceleración.	M-041	Revisión, Ajuste y / o Reemplazo.
11	A	4	041	Sistema de Aceleración.	M-041	Revisión, Ajuste y / o Reemplazo.
11	A	5				
12	A	1	032	Neumáticos.	M-032	Reemplazo o regulación de P° neumáticos, u /o nivelación.
12	A	2				
12	A	3				
12	A	4	036	Llenado de tasa de escoria	M-036	Supervisión.
12	A	5				
13	A	1	032	Neumáticos.	M-032	Reemplazo o regulación de P° neumáticos, u /o nivelación.
13	A	2	042	Sistema Hidráulico.	M-042	Revisión y / o Reparación
13	A	3	043	Estructura del Camión	M-043	Revisión y / o Reparación de material estructural.
14	A	1	006	Sist. de Compresión (Motor)	M-006	Revisión pérdida de Compresión
14	A	2	007	Filtro de Aire. (Motor)	M-007	Revisión y Cambio de filtro Aire
14	A	3	005	Sistema inyección Bomba	M-005	Revisión Inyectores.
14	A	4	009	Sist. de T° de Refrig. y aceite	M-009	Revisión Termostato.
14	A	5	013	Caja de Cambio	M-013	Revisión caja de cambio (Estado)
14	A	6	013	Caja de Cambio	M-013	Revisión caja de cambio (Estado)
14	A	7				
14	A	8				
15	A	1	032	Neumáticos.	M-032	Reemplazo o regulación de P° neumáticos, u /o nivelación.
15	A	2	044	Sistema de Amortiguación.	M-044	Revisión, Regulación y / o Reemplazo
15	A	3	020	Mangueras, conexiones y elementos de sujeción	M-020	Revisión e inspección de sistema

9.4.2. Tablas del mantenimiento programado

Tabla 9-25: Verificación Diaria:

VERIFICACIÓN DIARIA DEL CAMIÓN:			
PROGRAMA	DESCRIPCIÓN	HH	HH \$5.20
M-002	Purga de sistema y llenado de Diesel.	0.083	0.43
M-013	Revisión caja de cambio (Estado).	0.066	0.346
M-043	Estructura del Camión.		
M-020	Manguera, conexión y Elemento.		
M-014	Sistema de Dirección.		
M-017	Sistema de acumulador de Aire.	0.041	0.216
M-019	Revisión de llave hidráulica.	0.0166	0.086
M-023	Sistema de Enclavamiento.	0.16	0.866
M-033	Cilindro de Volcado.		
M-034	Interruptor de Sacudida.		
M-031	Sistema de Alumbrado.	0.0166	0.086
M-039	Sistema de Luces intermitentes del Camión.		
M-040	Sistema de Alumbrado Camión (Faros).		
M-032	Neumáticos.	0.083	0.43
M-035	Sistema de enclavamiento de Puertas y Ventanas.	0.0083	0.043
M-024	Nivel de Lubricante.	0.083	0.43
M-009-a	Radiador.		
		TOTAL:	TOTAL:
		0.5575	2.899

Tabla 9-26: Verificación 100 Horas:

VERIFICACIÓN DEL CAMIÓN 100 HORAS:			
PROGRAMA	DESCRIPCIÓN	HH	HH \$5.20
M-007	Filtro de Aire.	0.166	0.866
M-011	Sistema de Batería.	0.166	0.866
M-013	Caja de Cambio (Estado)	0.0833	0.433
M-016	Sistema de Frenos.	0.5	2.6
M-018	Accionamiento Hidráulico Freno.		
M-024	Sistema de Lubricación (nivel y estado)	0.033	0.173
M-041	Sistema de Aceleración.	0.166	0.166
M-027-a	Nivel de líquido Refrigerante.	0.033	0.173
	Lavado de Camión.	0.5	2.60
		TOTAL:	TOTAL:
		1.6473	8.5659

Tabla 9-27: Verificación 200 Horas

VERIFICACIÓN DEL CAMIÓN 200 HORAS:

	PROGRAMA	HH	HH \$5.20
M-007	Filtro de Aire.(Limpieza)	0.166	0.866
M-010	Corea de Transmisión.	0.166	0.866
M-013	Caja de Cambio (Estado)	0.0833	0.433
M-015	Cilindro de Dirección.	0.05	0.26
M-016	Sistema de Freno.	0.5	2.6
M-017	Sistema Acumuladores de Aire.	0.041	0.216
M-024	Sistema de Lubricación (Nivel , Estado y Filtro)	0.33	1.73
M-026	Sistema de Emisiones.	0.166	0.866
M-029	Armario de Conexiones.		
M-030	Caja de Distribución de Cables.	0.0833	0.433
M-044	Sistema de Amortiguación	1	5.20
	Lavar Motor	0.5	2.6
	Engrase General	1	5.20
		TOTAL:	TOTAL:
		2.5833	13.433

Tabla 9-28: Verificación 600 Horas

VERIFICACIÓN DEL CAMIÓN 600 HORAS:

	PROGRAMA	HH	HH \$5.20
M-004	Sistema Bomba de Diesel		
M-005	Sistema Inyección Bomba		
M-007	Limpieza Filtro de Aire, Cambio filtro Combustible	0.75	3.9
M-006	Sistema de Compresión Motor.	0.75	3.9
M-025	Potencia Motor.		
M-008	Motor de Arranque.	0.5	2.6
M-009	Sistema de Refrigeración.	0.25	1.3
M-021	Bomba regulable Axial.	0.5	2.6
M-042	Sistema Hidráulico		
M-022	Sistema de Carga Tasa.	0.16	0.866
M-028	Sistema de Estanquidad sistemas en general	0.5	2.6
M-037	Sistema de Combustible (regulación)	0.41	2.166
		TOTAL:	TOTAL:
		3.82	19.932

Tabla 9-29: Verificación 1200 Horas

VERIFICACIÓN DEL CAMIÓN 1200 HORAS:

	PROGRAMA	HH	HH \$5.20
M-007	Revisión y Cambio de filtro Aire.	0.25	1.3
M-013	Revisión caja de cambio (Estado)	0.05	0.26
M-027	Revisión Motor (poner a punto).	4	20.8
	Lavado de Estanque Diesel , Hidráulico	2	10.4
	Reapriete pernos Diferencial	0.5	2.6
	Cambio Liquido de refrigerante	0.5	2.6
		TOTAL:	TOTAL:
		7.3	37.96

9.4.3. Lista de verificación de mantenimiento

Tabla 9-30: Lista de verificación Diaria

LISTADO DE VERIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO			Sección de Planta: Camión Transportador de Escoria.	Para ser realizado por: Mecánico	Fecha en que termina el día.
ITEM N°	DESCRIPCIÓN	PROGRAMA	DIARIA	COMENTARIOS	
002	Falta de combustible	M-002			
014	Sistema de Dirección	M-014			
019	Llave de paso equipo Hidráulico	M-019			
020	Mangueras, conexiones y elementos de sujeción.	M-020			
023	Sistema de Enclavamiento.	M-023			
032	Neumáticos.	M-032			
033	Cilindro de Volcado.	M-033			
034	Interruptor de sacudida.	M-034			
035	Sistema enclavamiento de puertas y ventanas Camión.	M-035			
036	Llenado de tasa de escoria.	M-36			
039	Sistema de luces intermitentes del Camión.	M-039			
040	Sistema de Iluminación del Camión (Faro)	M-040			
ASIGNADO A...		TIEMPO	EJECUTADO POR	SUPERVISOR	

Tabla 9-31: Lista de verificación 100 horas

LISTADO DE VERIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO			Sección de Planta: Camión Transportador de Escoria.	Para ser realizado por: Mecánico	Fecha en que termina el día.
ITEM N°	DESCRIPCIÓN	PROGRAMA	100 HORAS	COMENTARIOS	
007	Filtro de Aire.	M-007			
011	Sistema de Batería.	M-011			
013	Caja de Cambio (Estado)	M-013			
016	Sistema de Frenos.	M-016			
018	Accionamiento Hidráulico Ereno.	M-018			
024	Sistema de Lubricación (nivel y estado)	M-024			
041	Sistema de Aceleración.	M-041			
027	Nivel de líquido Refrigerante.	M-027-a			
	Lavado de Camión.				
ASIGNADO A...			TIEMPO	EJECUTADO POR	SUPERVISOR

Tabla 9-33: Lista de verificación 600 horas

LISTADO DE VERIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO				Sección de Planta: Camión Transportador de Escoria.	Para ser realizado por: Mecánico	Fecha en que termina el día.
ITEM N°	DESCRIPCIÓN	PROGRAMA	600 HORAS		COMENTARIOS	
003	Filtro de Diesel.	M-003				
022	Sistema de Carga Taza.	M-002				
042	Sistema Hidráulico.	M-042				
006	Sistema de Compresión.	M-006				
005	Sistema inyección Bomba	M-005				
009	Sistema de refrigeración y aceite.	M-009				
045	Puesta en marcha en frío	M-045				
004	Sistema Bomba Diesel.	M-004				
005	Sistema Inyección Bomba.	M-005				
008	Motor de Arranque.	M-008				
021	Bomba Regulable Axial.	M-021				
025	Potencia Motor.	M-025				
ASIGNADO A...		TIEMPO		EJECUTADO POR		SUPERVISOR

CAPITULO 10: SUSTENTABILIDAD DEL PLAN DE MANTENIMIENTO
BASADO EN RCM (RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE)
CREADO PARA CAMIÓN KIROW SPCU 90-100/2 TRANSPORTADOR DE
OLLA DE ESCORIA DE COBRE FUNDICIÓN POTRERILLO, CODELCO
CHILE DIVISIÓN SALVADOR

10. SUSTENTABILIDAD DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM (RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE) CREADO PARA CAMIÓN KIROW SPCU 90-100/2 TRANSPORTADOR DE OLLA DE ESCORIA DE COBRE FUNDICIÓN POTRERILLO, CODELCO CHILE DIVISIÓN SALVADOR

10.1. DISPONIBILIDAD

Según la real academia de la lengua española, disponibilidad se define como: “Dícese de aquello de que se puede disponer libremente o de lo que está pronto para utilizarse”. Para el desarrollo de este plan de mantenimiento, disponibilidad se considera como el tiempo que el equipo está operativo durante la faena del proceso productivo de la fundición, lo que para estos efectos debe constituir el 100 %.

La Figura 10.1, muestra el proceso productivo en el cual el camión desempeña su labor. Se tiene lo siguiente:

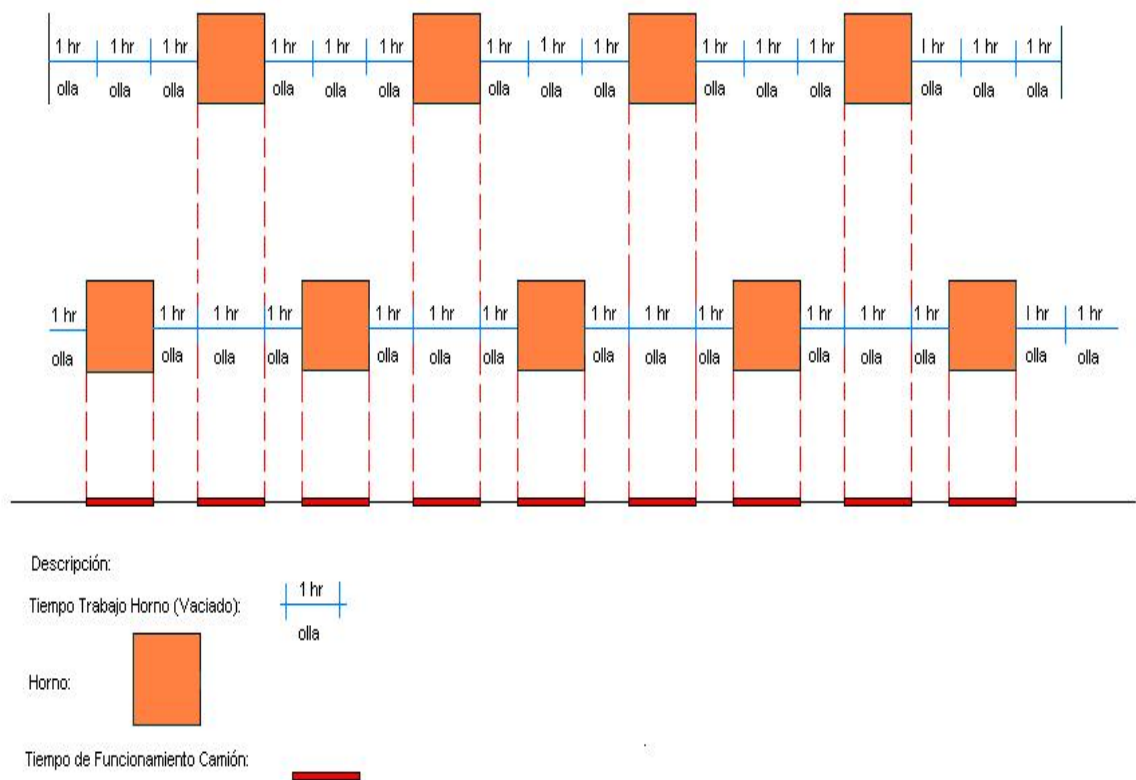


Figura 10-1: Esquema proceso productivo Fundición Horno limpieza escoria (HLE)

La grafica anterior, muestra el desarrollo del proceso de fundición, definiéndolo respectivamente a continuación.

Para obtener la disponibilidad real del camión se planteó el siguiente caso:

Se considero una fundición con dos hornos, cada uno con su propia olla de escoria. Los hornos están dispuestos de tal forma de que exista un funcionamiento intermitente, logrando así una mayor optimización en el proceso productivo. Cada horno para completar su faena, necesariamente tiene que ser vaciado aproximadamente cada tres horas, lo que quiere decir que durante dicho periodo hay una descarga en una de las ollas de escoria.

Según lo anterior la olla de que el camión transporta es llenada cada tres vaciados de un horno, por ende el camión debería trabajar cada tres horas en un horno, pero al estar intercalados los hornos, el camión desempeña su labor cada una hora, teniendo un lapso de una hora en el traslado y vaciado de una olla a otra.

De la información anterior se desprende la siguiente grafica de tiempo, que permite obtener la disponibilidad real del camión y el tiempo de funcionamiento en términos de porcentaje.

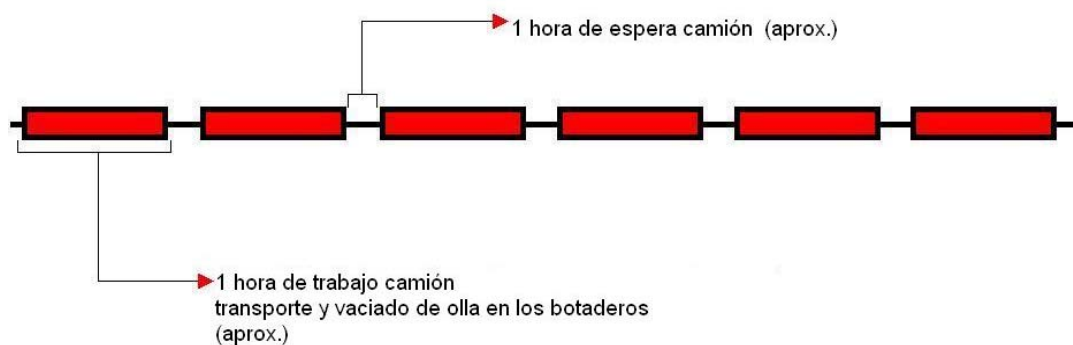


Figura 10-2: Diagrama de tiempo trabajo camión

La figura 10.2, presenta esquemáticamente cómo es el desarrollo de los tiempos de trabajo y de espera del camión, los cuales son intercalados en un lapso de una hora aproximadamente cada uno.

La figura, nos permite calcular la razón de tiempo de funcionamiento del camión el cual se describe de la siguiente forma:

- $\text{Tiempo Funcionamiento} = \frac{12 \text{ horas de trabajo del camión}}{24 \text{ horas duración turno}} = 50 \%$

De esta razón se obtiene que con un tiempo de funcionamiento de un 50%, se resulta una disponibilidad ideal de un 100% dentro de las horas de trabajo.

La disponibilidad ideal no considera los imprevistos que puedan ocurrir durante el periodo de mantención o en la faena. Tomando como dato que las 24 horas de trabajo del camión, corresponden al 100% de la disponibilidad ideal requerida para un día de faena, se logra obtener la disponibilidad real que el camión entrega al proceso productivo.

En el siguiente ejemplo se demuestra como se puede calcular la disponibilidad real que entrega el camión al proceso productivo en un día de faena :

Según el historial de mantenimiento (anexo 5). El día 26 de febrero de 2004 se presentó la siguiente falla:

“Se cambia neumático trasero interno izquierdo, se limpian vidrios de cabina y se entrega operativo”

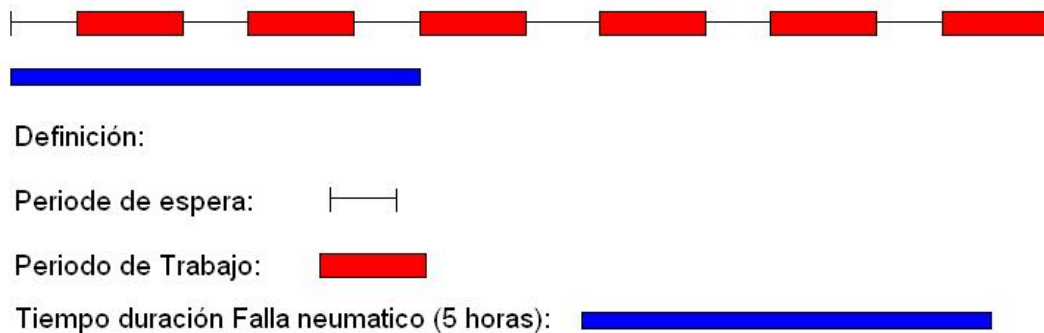


Figura 10-3: Diagrama de tiempo para calcular Disponibilidad Real del día 26 de Febrero 2004

- $D.\text{Real} = \frac{n^\circ \text{ de periodos de trabajo que ocupó la reparación de la falla}}{\text{Total periodos}} - 1$
- $D.\text{Real} = \frac{2 \text{ periodos}}{12 \text{ periodos}} - 1 = 83\%$

10.2. ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD REAL QUE ENTREGA EL CAMIÓN KIROW SPCU 90-100/2 AL PROCESO PRODUCTIVO DE FUNDICIÓN DE POTRERILLOS

Para demostrar la sustentabilidad del plan de mantenimiento basado en RCM sobre un plan de mantenimiento convencional aplicado al camión Kirow SPCU 90-100/2, se tomó como información el historial de fallas que la empresa posee (Anexo n° 5). Analizando dicha bitácora se pudo obtener la clasificación de las fallas, según su frecuencia y tiempo de duración, lo cual permitió desarrollar el siguiente análisis.

- Porcentaje de falla en el tiempo = $\frac{\text{Frecuencia}}{\text{Total de Fallas}} * 100$

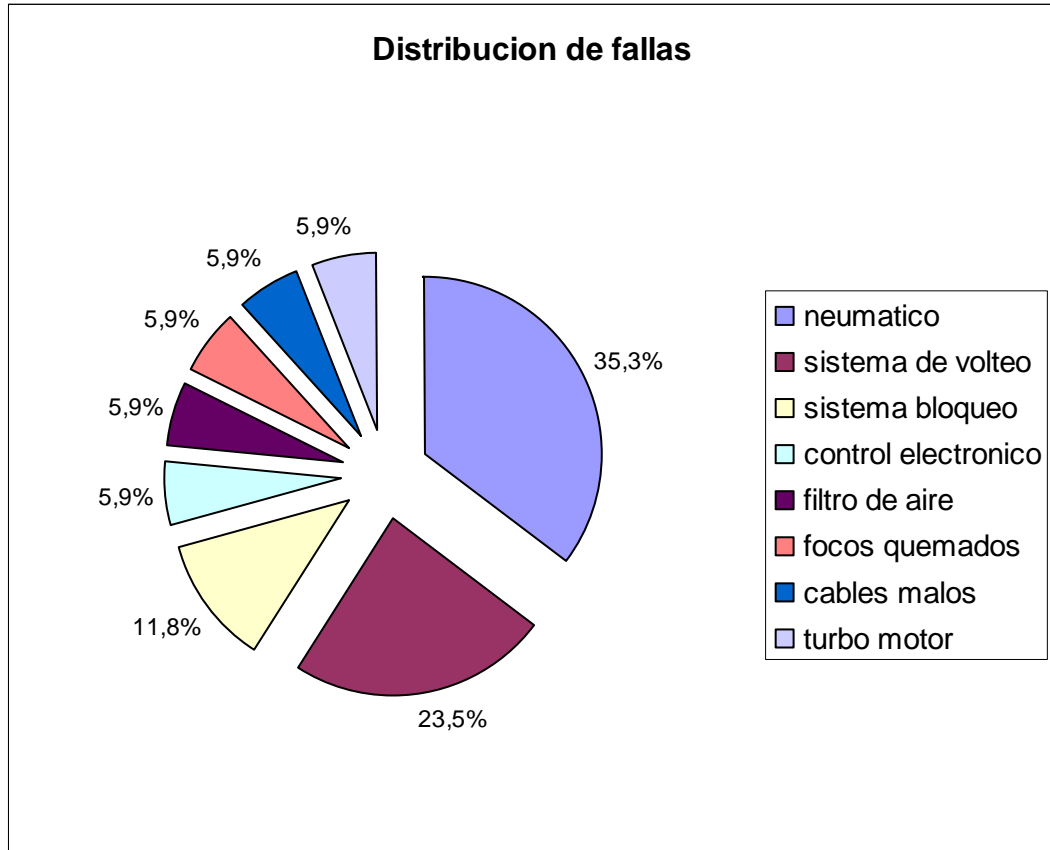
- Neumáticos = $\frac{6}{18} * 100$

La Tabla 10.1 muestra las fallas que presentó el camión entre los meses de Febrero y Abril del 2004

Tabla 10-1: Tabla de fallas, frecuencia y porcentajes.

FALLAS	FRECUENCIA	PORCENTAJE
neumático	6	35,3%
sistema de volteo	4	23,2%
sistema bloqueo	2	11,8%
control electrónico	1	5,9%
filtro de aire	1	5,9%
focos quemados	1	5,9%
cables malos	1	5,9%
turbo motor	1	5,9%
TOTAL FALLAS	17	100%

Como se muestra en la tabla 10.1, la frecuencia señalada representa a la recurrencia con la que se representa cada falla, con su respectivo porcentaje.



Gráfica 10-1: Gráfico de Distribución de Fallas.

Teniendo en consideración los periodos de trabajos y de espera del camión ya antes mencionados y la frecuencia en que sucedieron las fallas, se calculan la disponibilidad con que contó el camión en ese periodo de faena. Este cálculo fue representado en la Figura 10.3 (Diagrama de tiempo para calcular Disponibilidad Real del día 26 de Febrero 2004).

De la siguiente tabla se deduce:

Tabla 10-2: Tabla de cálculos para la Disponibilidad real, mantención Codelco.

	Frecuencia	Porcentaje (P)	Disponibilidad (D)	P*D
Neumático	6	35,3%	16,67%	1
Sistema de volteo	4	23,5%	58,33%	2,333333333
Sistema bloqueo	2	11,8%	58,33%	1,16666667
Control electrónico	1	5,9%	58,33%	0,583333333
Filtro de aire	1	5,9%	91,67%	0,91666667
Focos quemados	1	5,9%	91,67%	0,91666667
Cables malos	1	5,9%	91,67%	0,91666667
Turbo motor	1	5,9%	91,67%	0,91666667
Total fallas	17			
Días con falla	17			
Días sin falla (febrero-abril)	73	100,00%		73
Periodo análisis (febrero-abril)(días)	90			81,75
Disponibilidad total				90,83%

Supuesto 1: Una falla por día

Como se demuestra en la tabla 10.2 la disponibilidad con que contó el camión Kirow SPCU 90-100/2 entre el periodo de Febrero y Abril del 2004 (90 días) fue de un 90,83% de disponibilidad real.

Tabla 10-3: Tabla de cálculos para la Disponibilidad real y pérdidas, mantención Codelco.

Fallas	Periodos	Disponibilidad	Perdidas
neumático	10	16,67%	100000
sistema de volteo	5	58,33%	50000
sistema bloqueo	5	58,33%	50000
control electrónico	5	58,33%	50000
filtro de aire	1	91,67%	10000
focos quemados	1	91,67%	10000
cables malos	1	91,67%	10000
turbo motor	1	91,67%	10000
		total por perdidas	290000

La tabla presentada anteriormente, muestra el análisis considerando periodos de tiempo correspondientes a la cantidad de horas que el camión permaneció sin poder ejecutar su función. De esta manera cuando se refiere a diez periodos, se esta mencionando que el activo físico estuvo detenido alrededor de 19 a 20 horas. Todo ello utilizando la información de la figura 10.3. (Diagrama de tiempo para calcular Disponibilidad Real del día 26 de Febrero 2004)

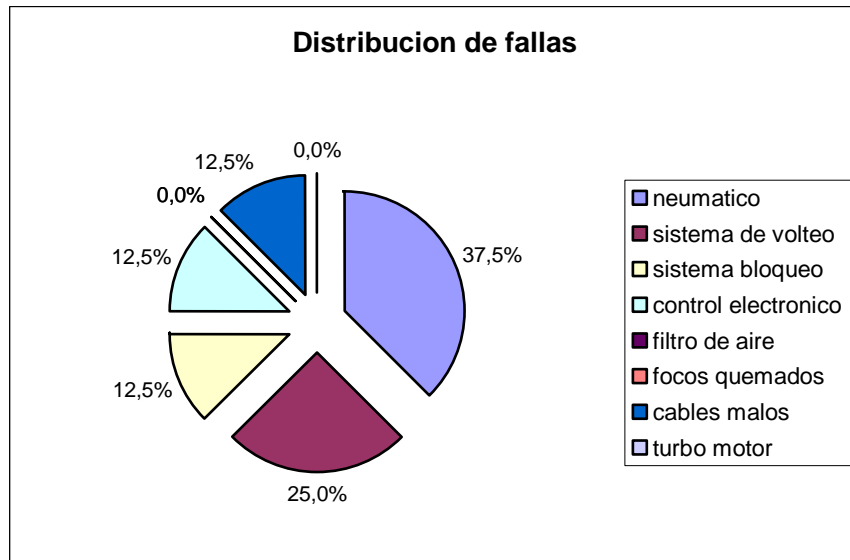
Una vez aplicado el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM, se busca disminuir con el transcurso del tiempo a la mitad las frecuencias de las fallas, disminuyendo los periodos de trabajo que se pierden por causa de la falla ocurrida o que puedan ocurrir, aumentando así la disponibilidad real que el camión entrega al proceso productivo.

De la siguiente tabla se demuestra lo anteriormente nombrado.

Tabla 10-4: Tabla de cálculos para la Disponibilidad real, mantención RCM.

	Frecuencia	Porcentaje (P)	Disponibilidad (D)	P*D
neumático	3	37,5%	41,67%	1,25
sistema de volteo	2	25,0%	75,00%	1,5
sistema bloqueo	1	12,5%	83,33%	0,83333333
control electrónico	1	12,5%	83,33%	0,83333333
filtro de aire	0	0,0%	100,00%	0
focos quemados	0	0,0%	100,00%	0
cables malos	1	12,5%	83,33%	0,83333333
turbo motor	0	0,0%	100,00%	0
Total fallas	8			
Días con falla	8			
Días sin falla (febrero-abril)	82	100,00%		82
Periodo análisis (febrero-abril)(días)	90			87,25
Disponibilidad total				96,94%

Supuesto 1: Una falla por día



Gráfica 10-2: Gráfico de Distribución de Fallas con RCM.

Con el desarrollo del plan de mantenimiento basado con RCM, se logra un aumento en el porcentaje de disponibilidad real de un 96,94%, versus un 90,83% de disponibilidad real con el plan de mantenimiento efectuado por la empresa en su actualidad.

También se demuestra una considerable baja en el valor representado en pérdidas producidas por las fallas. Lo anterior es representado en la siguiente tabla.

Tabla 10-5: Tabla de cálculos para la Disponibilidad real y pérdidas, mantención RCM.

Fallas	Periodos	Disponibilidad	Perdidas
neumático	7	41,67%	70000
sistema de volteo	3	75,00%	30000
sistema bloqueo	2	83,33%	20000
control electrónico	2	83,33%	20000
filtro de aire	0	100,00%	0
focos quemados	0	100,00%	0
cables malos	2	83,33%	20000
turbo motor	0	100,00%	0
		total por perdidas	160000

10.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM (RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE)

En toda implementación de un nuevo sistema, se pueden evidenciar una serie de ventajas y desventajas que al ser evaluadas definen la efectividad de la propuesta.

Considerando lo anterior, en el presente capítulo se presentan las principales ventajas al utilizar el RCM y que en definitiva definen la efectividad de la propuesta.

10.3.1. Ventajas

- Ahorro significativo de tiempo Horas Hombre (HH), lo que trae como consecuencia una disminución de los costos designados para el mantenimiento del camión.
- Al contar con tablas de mantenimiento previamente establecidas y con bitácoras de estas mismas, el personal cuenta con una rápida y efectiva información que permiten realizar las mantenciones, logrando así una fácil retroalimentación del mismo. Esto es de vital importancia, ya que la empresa por un proyecto común, permite la continua rotación de su personal a nivel divisional.
- Al implantar el sistema de mantenimiento basado en RCM, el área de mantenimiento de la fundición de Potrerillos (Garaje) se integra al sistema de trabajo a nivel corporativo.
- Aumenta el umbral de disponibilidad real del camión, el cual fue desarrollado a través de una comparación del umbral efectuado por RCM versus el umbral con que la compañía cuenta en su actualidad.

10.3.2. Desventajas

- Necesidad de contar con gente entrenada en el tema RCM, ya que desde el operador hasta los encargados de garaje tienen que estar capacitados en el Sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad.
- Dificultad de crear conciencia que este tipo de mantenimiento, presenta diferentes tipos de ventajas que favorecen al sistema productivo
- Problemática que presenta reunir a los encargados de las distintas secciones en la cual opera el activo físico (operadores, supervisores, mecánico, etc.)

10.3.3. Tablas de reparación

- Lista de reparación de las verificaciones diarias:

Esta tabla muestra el costo de la reparación al no haber realizado la mantención programada diaria.

Tabla 10-6: Costo de la reparación al no haber realizado la mantención programada diaria.

**REPARACIONES POR NO HABER REALIZADO MANTENIMIENTO
ADECUADO (VERIFICACIÓN DIARIA):**

	PROGRAMA	HH	HH \$5.20
M-002	Purga de sistema y llenado de Diesel.	1	5.20
M-013	Reparación caja de cambio (Estado)	5.5	28.6
M-014	Reparación de fugas Sist. Dirección	2	10.4
M-017	Reparación Sist. Acumuladores de aire	2.5	13
M-019	Reparación de llave hidráulica ó Sist. Hidráulico	3	15.6
M-020	Reparación de sistema Mangueras, conexiones y elementos de sujeción.	3	15.6
M-023	Reparación. Sist. Enclavamiento	4	20.8
M-031	Revisión Sistema alumbrado.	1	5.20
M-032	Reemplazo o regulación de Pº neumáticos, u /o nivelación.	7	36.4
M-033	Reparación Cilindro de volcado.	4	20.8
M-034	Reparación ó Reemplazo Interruptor de sacudida.	2.5	13
M-035	Reparación Sistema enclavamiento de puertas y ventanas	1	5.20
M-036	Supervisión llenado de taza de escoria.	1	5.20
M-039	Reparación Sist. Luces intermitentes del camión.	1	5.20
M-040	Reparación Sist. Iluminación camión (Faros)	1	5.20
M-043	Reparación de material estructural.	4	20.8
M-009-a	Reparación Radiador.	3	15.6
		TOTAL:	TOTAL:
		46.5	241.8

- Lista de reparación de las verificaciones 100 Horas:

Esta tabla muestra el costo de la reparación al no haber realizado la mantención programada que corresponde a las 100 Horas.

Tabla 10-7: Costo de la reparación al no haber realizado la mantención programada que corresponde a las 100 Horas

**REPARACIONES POR NO HABER REALIZADO MATENIMIENTO
ADECUADO (VERIFICACIÓN DE 100 HORAS):**

PROGRAMA		HH	HH \$5.20
M-007	Reparación y Cambio de filtro Aire.	1	5.20
M-011	Reparación Batería, Carga.	1.5	7.8
M-013	Revisión caja de cambio (Estado)	5.5	28.6
M-016	Revisión y / o Reparación.	2.5	13
M-018	Reparación ó Sangramiento del sistema y llenado.	3	15.6
M-024	Reparación del sist. de Lubricación (nivel y estado)	1	5.20
M-041	Reparación óAjuste y / o Reemplazo.	2	10.4
		TOTAL:	TOTAL:
		16.5	85.8

- Lista de reparación de las verificaciones 200 Horas:

Esta tabla muestra el costo de la reparación al no haber realizado la mantención programada que corresponde a las 200 Horas.

Tabla 10-8: Costo de la reparación al no haber realizado la mantención programada que corresponde a las 200 Horas

**REPARACIONES POR NO HABER REALIZADO MATENIMIENTO
ADECUADO (VERIFICACIÓN DE 200 HORAS):**

	PROGRAMA	HH	HH \$5.20
M-010	Reparación de Corea.	4	20.8
M-016	Reparación Sistema de frenos.	2.5	13
M-017	Reparación Sistema acumuladores de aire	2.5	13
M-015	Reparación o Sustitución Cilindro de dirección.	4	20.8
M-044	Regulación y / o Reemplazo Sistema de amortiguación.	9	46.8
M-026	Reparación Motor.	4	20.8
M-029	Reparación armario de conexiones.	2	10.4
M-030	Reparación de caja de distribución cables.	2	10.4
M-006	Reparación por pérdida de Compresión.	8.5	44.2
		TOTAL:	TOTAL:
		38.5	200.2

- Lista de reparación de las verificaciones 600 Horas:

Esta tabla muestra el costo de la reparación al no haber realizado la mantención programada que corresponde a las 600 Horas.

Tabla 10-9: Costo de la reparación al no haber realizado la mantención programada que corresponde a las 600 Horas

**REPARACIONES POR NO HABER REALIZADO MATENIMIENTO
ADECUADO (VERIFICACIÓN DE 600 HORAS):**

PROGRAMA		HH	HH \$5.20
M-004	Reparación Bomba.	3	15.6
M-005	Reparación Inyectores.	5.5	28.6
M-006	Reparación por perdida de Compresión.	8.5	44.2
M-008	Reparación Motor Arranque.	2	10.4
M-009	Reparación Termostato.	5.5	28.6
M-021	Reparación Bomba regulable Axial.	3.5	18.2
M-022	Reparación Sistema de Carga Taza.	4.5	23.4
M-025	Reparación Motor (potencia).	5	26
M-028	Reparación Sistema estanquidad.	2	10.4
M-037	Reparación Sistema de combustible.	5	26
M-042	Reparación Sistema Hidráulico	4	20.8
		TOTAL:	TOTAL:
		48.5	252.2

- Lista de reparación de las verificaciones 1200 Horas:

Esta tabla muestra el costo de la reparación al no haber realizado la mantención programada que corresponde a las 1200 Horas.

Tabla 10-10: Costo de la reparación al no haber realizado la mantención programada que corresponde a las 1200 Horas

**REPARACIONES POR NO HABER REALIZADO MATENIMIENTO
ADECUADO (VERIFICACIÓN DE 1200 HORAS):**

	PROGRAMA	HH	HH \$5.20
M-013	Reparación caja de cambio (Estado)	14	72.8
M-007	Reparación Motor.	15	78
M-027			
	Reparación Diferencial	12	62.4
		TOTAL:	TOTAL:
		41	212.8

CONCLUSIONES

Considerando que la prevención de la falla de un activo físico cualquiera sea su interpretación, incide en el tiempo y los costos a nivel industrial, es que el presente trabajo ha presentado un sistema de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) para ser aplicado sobre un camión Kirow SPCU 90-100/2 transportador de olla de escoria de cobre, perteneciente a la fundición Potrerillos Codelco Chile.

En la confección del mencionado plan de mantenimiento, se siguió la técnica propuesta por este tipo de método, en donde un grupo multidisciplinario de trabajo es guiado mediante hojas de decisión a definir que funciones operativas deben protegerse y como esta protección debe ser entregada al equipo; el uso de hojas de información, hojas de decisión, lista de verificación de mantenimiento, etc., generan en forma independiente canales de información estructurados, que ayudan a la definición de que actividad de mantenimiento entrega la mejor confiabilidad.

El sustento principal de este sistema de mantenimiento propuesto en este trabajo se fundamenta al establecer las ventajas y desventajas de este, frente a un método tradicional.

Fundamentalmente las ventajas ofrecidas por este plan de mantenimiento son: Ahorro en el tiempo de Horas Hombre (HH),

- **Participación del ente operativo y técnico en conjunto;**

Se logra juntar los requerimientos del usuario del equipo junto con el de los mantenedores; lo anterior conduce inmediatamente a la mejora en las practicas de mantenimiento y operativas debido a la retroalimentación mutua.

- **Metodología;**

Esta metodología plantea métodos de decisión frente a situaciones en particular.

- **Reingeniería;**

Esta disciplina parte del supuesto de que todo lo que se realiza no debe perder la función de seguridad a las personas, la disponibilidad y los costos involucrados.

Por su parte se establecieron desventajas de este sistema de mantención donde se tiene lo siguiente:

- **Entrenamiento inicial RCM;**

El método necesita de un cierto tiempo de afianzamiento, ya que debe contar con gente entrenada en RCM que tenga asimilado los conceptos que básicos que plantea este tipo de técnica. Es probable que en esta etapa inicial los costos sean mas elevados que en un método tradicional.

- **Inercia inicial;**

La conciencia alojada en los trabajadores de que tanto la función operativa y mantenedora recaen juntas en el objetivo común de la confiabilidad no es entendida fácilmente; se subentiende en algunos casos que la responsabilidad recae solo en áreas específicas y no en el total de los participantes.

- **Alto grado de conocimiento de los equipos;**

Requiere especialistas altamente capacitados y entrenados ya que se necesitan parámetros técnicos y operativos que defina condiciones óptimas de funcionamiento. Esta información no siempre se posee, siendo necesaria pedirla o consultarla a otros especialistas para luego incorporarla en el grupo de discusión.

Para nuestro caso, se llevo a establecer que la mayor ventaja ofrecida por este sistema de mantenimiento basado en RCM, lo constituya el aumento en el umbral de disponibilidad real del camión.

Según lo anterior, se logro concluir que una vez implementado el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM se logra reducir en el corto plazo los periodos de falla, obtenido así un umbral de disponibilidad real de un 97%, versus el 91 % de disponibilidad con el plan de mantenimiento tradicional utilizado por Codelco; con este cambio en la disponibilidad, los costos asociados se ve inmediatamente reducidos logrando alrededor de 160.000 dólares de ahorros, evitando perdidas producidas por el bajo desempeño del camión durante el proceso de faena.

Sin lugar a dudas, estas mejoras necesitan tiempo, pero si, en el breve plazo entregan la facilidad al administrador o dueño del equipo de establecer funciones objetivas que son gestionables, otorgando parámetros de evaluación respecto del resultado final de este tipo de mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

Curso de Formación Reliability – Centred Maintenance RCM2

Ellmann, Sueiro y asociados, en asociación con Aladon

Versión 2

2004

Manual Especifico

CTP-50-MM-F-601

Camión Transporte de escoria

Capitulo 2

Sección 2.1

Tomo 1

Copia 7

Minmetal

2004

Manuel de Instrucciones de servicio

SPUC 90/2

Kirow Leipzig

2002

Manual de operación y Mantenimiento

Motor industrial Diesel 3406C

Caterpillar

SSBU6993-01

Traducción Mayo 2000

Apuntes Asignatura Administración de la Mantención

Mecánica Automotriz USM. Viña del Mar

2003

FUENTES DE INFORMACION

<http://www.ellmann.net>

<http://www.rcm2.co.uk/>

<http://www.kirow.de/english/kirow.htm>

<http://www.squirtinme.com>

<http://www.minmetal.cl>

<http://www.ferrostaal.cl>

<http://www.codelco.cl>

<http://www.aldeaminera.cl>

<http://www.servicio.cedinco.cl>

<http://www.gestiopolis.com>

<http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/ger1/introalaih.htm>

<http://www.monografias.com>

<http://www.monografias.com/trabajos12/distpla/distpla.shtml>

ADICIONALES

Asistencia a Fundición, fundamentalmente lugar donde desempeña labor Camión
Kirow SPUC 90/2 transportador de olla de escoria de cobre
Fundición Potrerillos División Salvador 3ª región Chile
Octubre y Enero 2004

Visitas a:

- Guillermo Guzmán D., Ing. Jefe unidad HLE, Codelco, Potrerillos División Salvador
- Ricardo Alarcón Sch., Ing. Jefe Sección, Codelco, Potrerillos División Salvador
- Manuel Meriño, Ing., Jefe Sección, Codelco, Potrerillos División Salvador.
- Personal encargado mantenimiento (mecánicos turno) Camión Kirow SPUC 90/2, Maestranza Fundición Potrerillos, Codelco, Potrerillos División Salvador.
- Personal Facultado para operación en faena Camión Kirow SPUC 90/2, Codelco, Potrerillo División Salvador

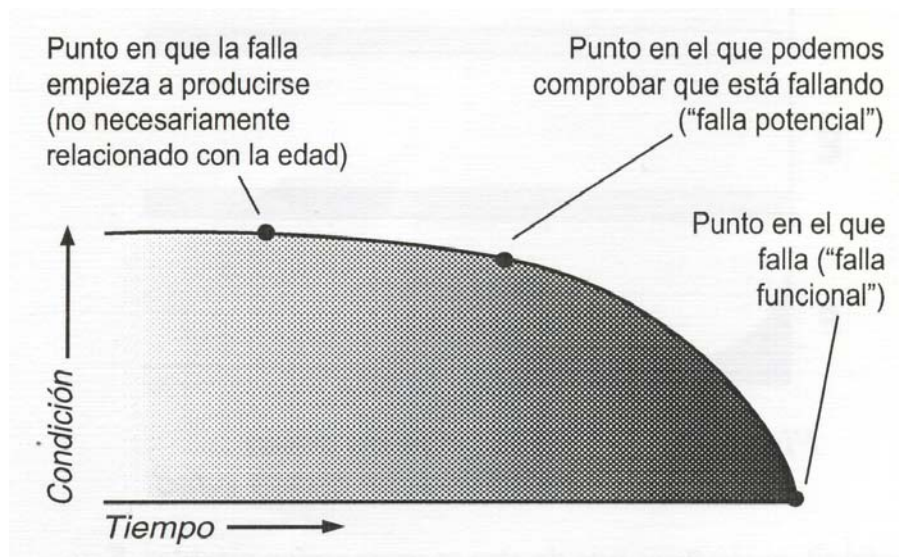
ANEXOS

ANEXO 1: EL INTERVALO P-F

1 EL INTERVALO P-F

A menudo hay poca relación, o ninguna, entre cuánto tiempo el activo físico ha estado en servicio y cuán probable es que falle. En cambio, aunque muchos modos de falla no se relacionan con la edad, la mayoría de ellos da algún tipo de advertencia de que ya están ocurriendo, o de que están por ocurrir. Si podemos encontrarse evidencia de este proceso de falla que ha comenzado, puede que sea posible actuar para prevenir que falle completamente.

La grafica 1.1 ilustra lo que sucede en los estadios finales de la falla. Se llama la curva la curva P-F por que muestra cómo comienza la falla. Cómo se deteriora al punto en que puede ser detectada (el punto “P”) y luego, si no es detectada y corregida, continúa deteriorándose – generalmente a una tasa acelerada – hasta que llegue al punto de falla funcional (“F”).



La curva P-F

El punto en el proceso de la falla en el que es posible detectar si la falla está ocurriendo o si está a punto de ocurrir se conoce como falla potencial. “Una falla potencial es un estado identificable que indica que una falla funcional está a punto de

ocurrir o en el proceso de ocurrir” [13]. En la práctica hay miles de maneras para averiguar si ya están en el proceso de ocurrir las fallas.

Ejemplos de falla potenciales: puntos caliente que muestran el deterioro de obra refractaria de un horno, vibraciones que indican la falla inminente de un cojinete, grietas que muestran la fatiga del metal, partículas en el aceite de una caja de engranes que muestra la falla inminente de los mismo, desgaste de lo neumáticos, etc.

Si se detecta una falla potencial, puede ser posible actuar para prevenir o evitar las consecuencias de la falla funcional. Entre el punto P Y F que s observa en la figura 1.1 (Si es posible actuar significativamente o no depende de la rapidez con la que ocurra la falla). Las tareas que se realizan para detectar fallas potenciales se conocen como tareas a condición. “La tareas a condición consisten en chequear si hay falla potenciales, que permitan actuar para prevenir la falla funcional o evitar las consecuencias de la falla funcional”[2]

Las tareas a condición se llaman así porque los elementos que se inspeccionan se dejan en funcionamiento a condición de que continúen cumpliendo con los parámetros de funcionamiento especificados. Esto también se conoce como mantenimiento predictivo (porque estamos tratando de predecir si - y posiblemente cuándo - el elemento va a fallar basándose en su comportamiento actual) o mantenimiento basado en la condición (porque la necesidad de accines correctivas o para evitar las consecuencias se basa en una evaluación de la condición del elemento.)

Además de la falla potencial en sí misma, necesitamos considerar la cantidad de tiempo (o el número de ciclos de esfuerzo) que transcurre entre el punto en el que ocurre una falla potencial- en otras palabras, el punto en el que se hace detectable - y el punto en el que se deteriora llegando a la falla funcional. Como se muestra en la grafica 1.2, este intervalo se conoce como el intervalo P-F.

El intervalo P-F es el intervalo entre el momento en que ocurre una falla potencial y su decaimiento hasta convertirse en una falla funcional.

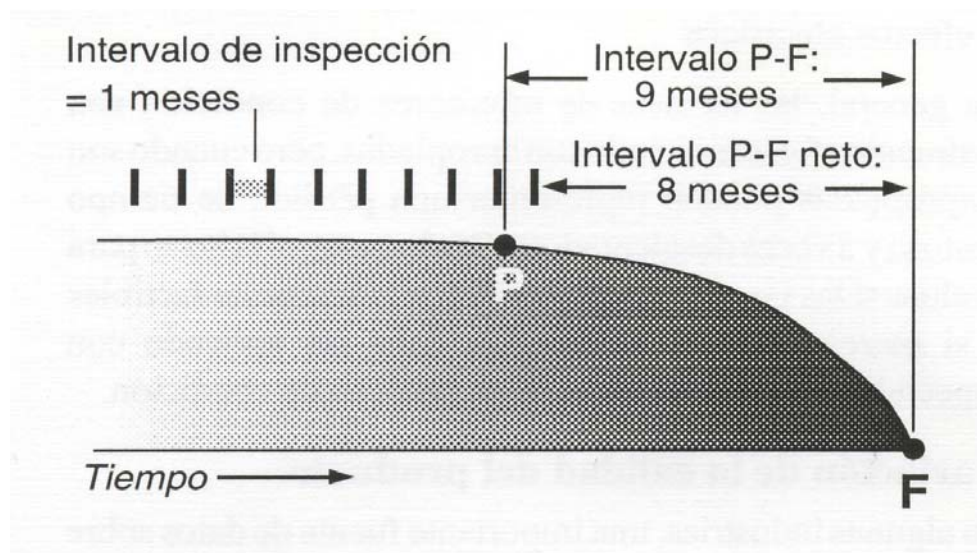
El intervalo P-F nos permite decidir con qué frecuencia deben realizarse las tareas a condición. Si queremos detectar la falla potencial antes de que se convierta en falla funcional, el intervalo entre las revisiones debe ser menor al intervalo P-F

^{13,2} “ Curso Formación RELIABILITY-CENTRED MAINTENANCE RCM II (versión 2)”

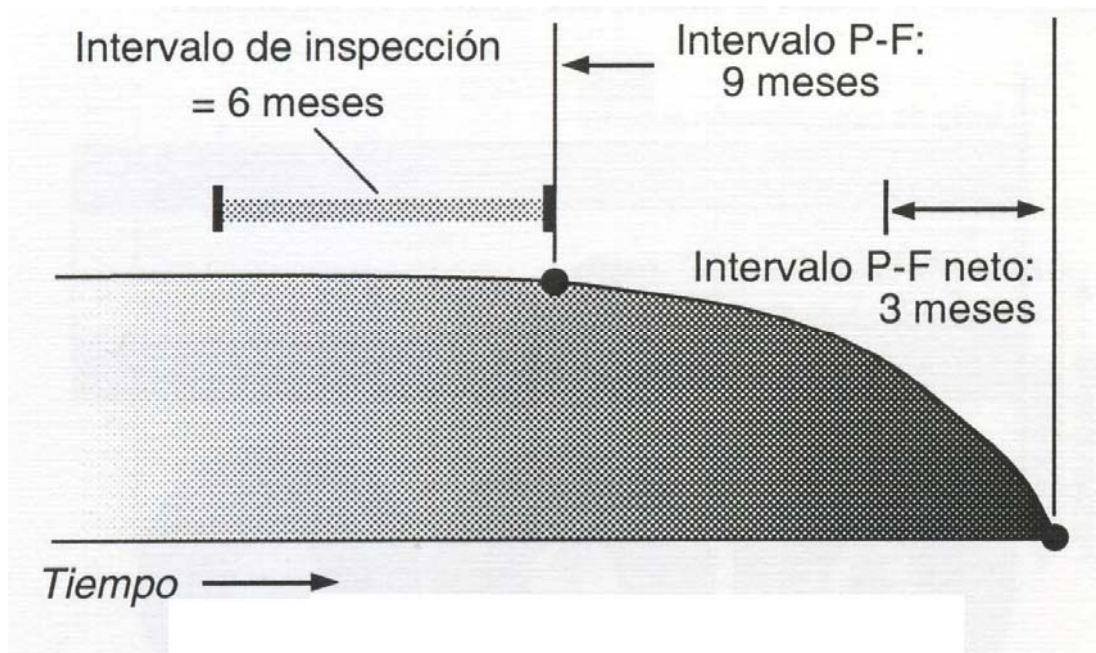
1.2. INTERVALO P-F NETO

El intervalo P-F neto es el mínimo intervalo que es probable que transcurra entre el descubrimiento de una falla potencial y la ocurrencia de la falla funcional. Esto se ilustra en las graficas 1.3 y 1.4, ambas muestran una falla con un intervalo P-F nueve meses.

La grafica 1.3 muestra que si el elemento es inspeccionado mensualmente, el intervalo P-F neto es de 8 meses. Por otra parte, si es inspeccionado en el intervalos de 6 meses como lo muestra la figura 1.4, el intervalo P-F neto es de tres meses.



Intervalo P-F Neto (1)



Intervalo P-F Neto (2)

Entonces en el primer caso la cantidad mínima de tiempo disponible para hacer algo en relación a la falla es cinco meses mayor que en el segundo, pero la tarea de inspección debe realizar seis veces más a menudo.

El intervalo P-F neto gobierna la cantidad de tiempo disponible para tomar cualquier acción que se necesaria para reducir o eliminar las consecuencias de la falla.

Dependiendo del contexto operacional del activo físico, el aviso de una falla incipiente posibilita a los usuarios de un activo físico a reducir o evitar consecuencias en las siguientes distintas maneras:

- Tiempo de parada de maquina: puede planearse una acción correctiva para un momento en el que no afecta a otras operaciones. La oportunidad de planear adecuadamente la acción correctiva significa que es más probable que se realice más rápidamente.
- Costo de reparación: los usuarios pueden actuar para eliminar el daño secundario que sería causado por fallas no anticipadas. Esto reducirá el tiempo de parada de máquina y los costos de reparación asociados con la falla.
- Seguridad: la advertencia de la falla provee el tiempo o bien para detener la planta antes de que la situación se vuelva peligrosa, o para poner fuera de peligro a personas que de lo contrario podrían resultar heridas

Para que una tarea a condición sea técnicamente factible el intervalo P-F neto debe ser mayor al tiempo requerido para realizar alguna acción que evite o reduzca las consecuencias de la falla. Si el intervalo P-F es demasiado corto para tomar cualquier acción sensata, entonces es claro que la tarea a condición no es técnicamente factible. En la práctica, el tiempo requerido varía ampliamente. En algunos casos puede que sea una cuestión de horas (digamos hasta el término de un ciclo de funcionamiento o la finalización de un turno) o hasta minutos (Apagar una máquina o evacuar un edificio). En otros casos pueden ser semanas o hasta meses (digamos hasta una parada de producción importante). En general, se prefieren los intervalos P-F más largos por dos razones:

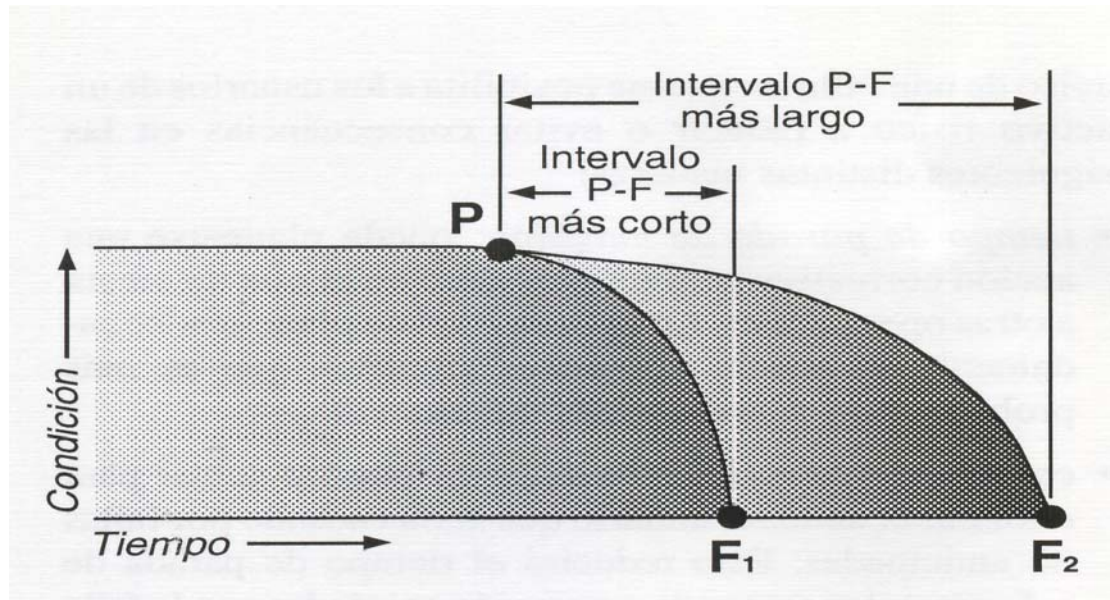
- Es posible hacer lo que sea necesario para evitar las consecuencias de la falla (incluyendo la planificación de la acción correctiva) de una manera más considerada y por lo tanto más controlada
- Se requiere menos inspecciones de condición

Esto explica porqué se está dedicando tanta energía a encontrar condiciones de falla potencial y técnicas a condición asociadas que den los intervalos P-F más largo posibles. Sin embargo, en algunos casos es posibles hacer usos de intervalos P-F muy cortos.

Por ejemplo, las fallas que afectan el equilibrio de ventiladores muy grandes causan problemas graves muy rápidamente, por lo cual se emplean sensores de vibración instalados para parar los ventiladores cuando se producen tales fallas. En este caso, el intervalo P-F es muy corto, y por ello el monitoreo es continuo. Notemos que una vez más, el dispositivo de monitoreo es utilizado para evitar las consecuencias de la falla.

1.3. CONSISTENCIA DEL INTERVALO P-F

Las curvas de intervalos P-F ilustrados hasta en este caso se indica que el intervalo P-F para cualquier falla constante. De hecho, este no es el caso: algunos en realidad varían en una amplia gama de valores, como lo muestra la grafica 1.5



Intervalos P-F inconsistentes

Está claro que en estos casos debe ser seleccionado un intervalo de tarea que sea significativamente menor al más corto de los intervalos P-F probables. Así siempre podemos estar razonablemente seguros de detectar la falla potencial antes de que transforme en una falla funcional. Si el intervalo P-F neto asociado con este intervalo mínimo es lo suficientemente largo como para tomar una acción adecuada para manejar las consecuencias de la falla, entonces la tarea a condición es técnicamente factible.

Por otro lado, si el intervalo P-F es muy inconsecuente, no es posible establecer un intervalo de tarea que tenga sentido, la tarea debe ser abandonada nuevamente a favor de alguna otra manera de tratamiento de la falla.

**ANEXO 2: DESCRIPCIÓN DEL CAMIÓN TRANSPORTADOR DE ESCORIA
DETALLADA POR CARACTERÍSTICAS Y SISTEMAS.**

Según se ha mencionado anteriormente, a continuación se presenta una descripción técnica del camión al cual se pretende aplicar el plan de mantenimiento propuesto en este trabajo.

2.1	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.
-----	-------------------------

Cantidad requerida.	1
Vendedor.	Ferrostaal
Fabricante.	Kirow
País	Alemania
Modelo No.	SPCU 90-100/2
Garantía, horas	-----



Camión Transportador de Olla de escoria de cobre.

2.2	CARACTERÍSTICAS GENERALES.
-----	----------------------------

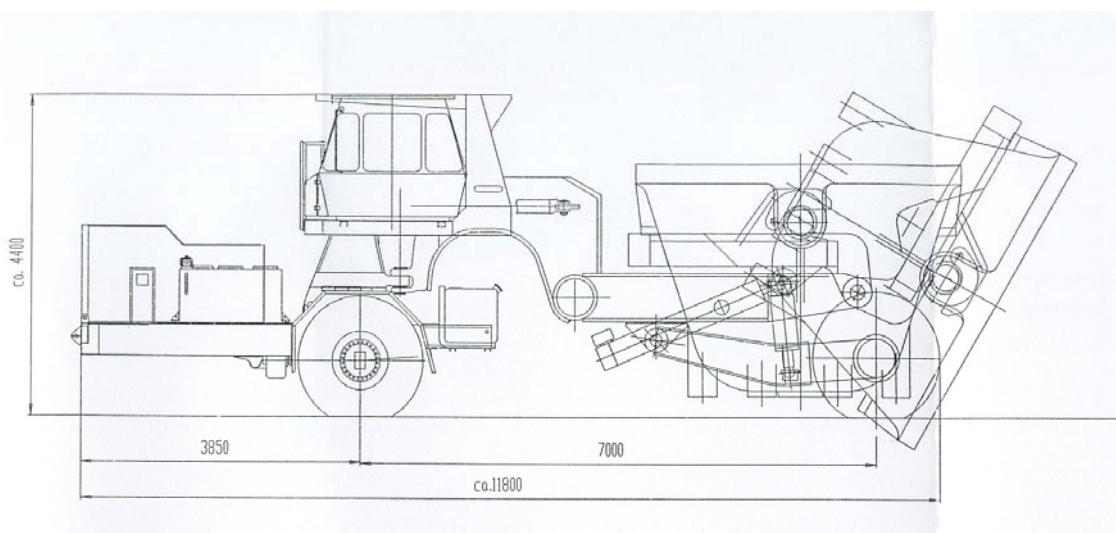
Capacidad máxima de transporte, t	100
Capacidad volumétrica de taza, m ³	18
Largo total, m	11.8
Distancia entre ruedas, m	3.1
Altura máxima, m	3.7
Radio de giro	10.2
Ancho requerido para giro en 180°, m	14.5
Ancho requerido para giro de 90°, m	11.2
Cargas por eje	
Eje tractor, daN	46.000
Eje acoplado, daN	102.000
Total, daN	148.000
Performance a 2% de resistencia rodado	-----
Potencia, kW @ rpm	269 Kw a 2.100 rpm
Máxima velocidad cargado, km/h	16 Km/Hr
Máxima velocidad vacío, km/h	32 Km/Hr



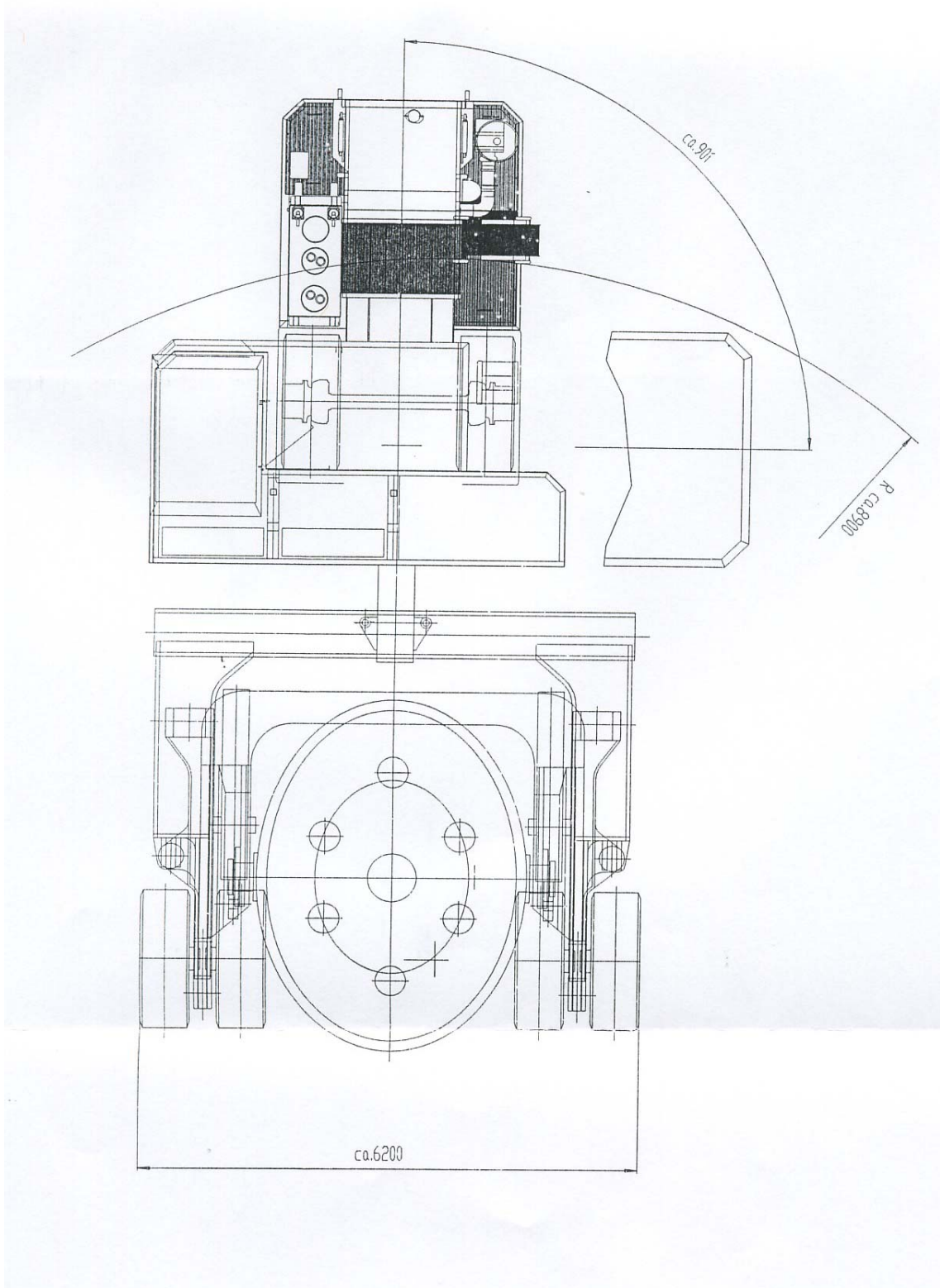
Camión Transportador de Olla de escoria de cobre.

2.2.1	Características
-------	-----------------

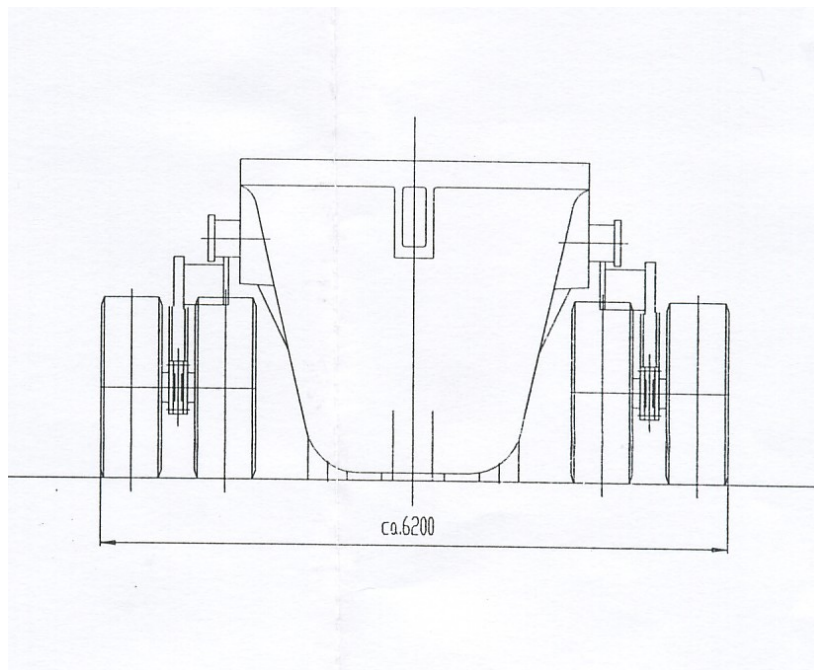
Largo total (m) (Según proveedor para cumplir con ancho máximo de camión de 0.8 m)	11.800
Distancia entre ruedas (M). Ancho camión (Según proveedor para cumplir con ancho máximo de camión de 0.8 m)	7.700
Altura máxima (mm)	3.700
Radio de giro exterior (mm). (Según proveedor para cumplir con ancho máximo de camión de 0.8 m)	10.200
Ancho de camión req. p/giro en 90° (mm)	11.200
Ancho de camión req. p/giro en 180° (mm)	14.500
Ancho de camión (mm)	6.200
Máx. gradiente hacia delante- u = 0.5 (%)	11.5
Máx. gradiente hacia delante- u = 0.7 (%)	16
Carga por eje tractor (Kg)	46.000
Carga por eje acoplado (Kg)	100.000



Plano Camión Transportador de Olla de escoria de cobre.



Plano Camión Transportador de Olla de escoria de cobre.



Plano Camión Transportador de Olla de escoria de cobre.

2.3	TRACTOR.
-----	----------

Fabricante	Kirow Leipzig
Modelo No	KT 50
Peso	18.000 Kg

2.3.1 Características del motor

Motor	Diesel 4 tiempos turbo y post enfriado
Cantidad y operación cilindros	6 en línea
Tipo sistema inyección combustible	inyección directa
Características sistema eléctrico	24 VDC
Potencia total, kW a rpm	269 a 2100
Potencia neta, kW @ rpm	247 a 2100
Máxima operación vacío, km/h	32
Diámetro pistón, mm	137
Carrera, mm	165
Desplazamiento, cm ³	14.6000

2.3.2 Características transmisión

Tipo de transmisión	Transmisión asistida Clark Powershift
Cantidad de marchas	4F / 4R
Descripción cambio de marchas	Cambios Electrónicos
Sistema monitoreo operación salida	si
Características convertidor torque	2292:1

2.3.3 Sistema de freno

Medio de operación	Freno húmedo de disco
Forma de liberación	Accionamiento por presión hidráulica
Frenos de estacionamiento	Freno seco de disco
Frenos emergencia	Si

2.3.4 Neumáticos tractor

Fabricante	Bridgestone/Michelin
Modelo No.	26.5R 25 EM
Cantidad	2
Diámetro, mm	1.740
Características constructivas	Radial
Horas garantizadas de operación	-----

2.3.5 Descripción, facilidades, operador y controles

Descripción sistema Clim. Y aire acondicionado	Operación
Panel de alarmas	Operación adjunta
Equipo operación incendios	Kidde

2.3.6 Sistema acoplamiento

Material construcción	ST 52-3; stE 355
Neumáticos acoplado	-----
Fabricante	Bridgestone/Michelin
Cantidad	4
Diámetro, mm	21.00R25
Características constructivas	Radial
Horas garantizadas de operación	-----
Descripción sistema para soltar acreciones	Radial

2.4	SISTEMA HIDRÁULICO.
-----	---------------------

Presión alivio, kPa	28.000
Capacidad estanque, m3	Aprox. 0.5
Bomba hidráulica	-----
Fabricante	Rexroth
Modelo No. Tipo	A11 VO 75
Cantidad	2
Caudal, m3/min	0.315
Presión máxima, kPa	35.000/40.000
Válvulas control	-----
Fabricantes	Rexroth/Beringe
Modelo No. Y tipo	Diferentes
Cantidad	Ver diagrama Circuitos
Cilindros hidráulicos (identificar por sistema)	
Fabricante	Neumeister
Modelo No. Y tipo (simple o doble efecto amortiguado, etc.)	DZ 260/120-1800 de doble efecto
Cantidad	2
Diámetro vástago, mm	260
Carrera., mm	1.800
Presión máxima del sistema para levante	20.000

taza	
Carga, kPa	-----
Presión máxima del sistema para vaciado de taza cargada; kPa	20.000



Distribución Sistema Hidráulico (desde estanque liquido hidráulico hacia actuadores)

2.4.1 Datos para manejo y embarque

Peso total a embarcar, t	58 t
Item de mayor peso al montar(Identificación y peso, t)	Neumáticos: 0.5
Item de mayor peso a mover en mantención (Identificación y peso, t)	-----
Volumen a embarcar, m * m * m	12 * 6 * 3.7

2.5	OLLA 18 M3
-----	------------

Cantidad requerida	2
Fabricante	GVA
Material	Acero Fundido
Peso	30
Dimensiones exteriores	4.4 * 4.1 * 3.3
Espesor máximo; mm	100
Espesor mínimo; mm	90
Revestimiento superficie interior	No
Diámetro o sección muñones	350
Estándar de diseño	GVA



Contenido d de una Olla de escoria de cobre



Cami3n Transportador de Olla de Escoria de cobre en faena.

ANEXO 3: PLAN MATRIZ DE MANTENIMIENTO UTILIZADO POR CODELCO

Para poder crear e implementar nuestro plan de mantenimiento, es necesario conocer el plan y la forma de mantenimiento de los activos físicos que la empresa ha adoptado para su perfecto funcionamiento. En este caso Codelco tiene implementado un Plan Matriz de mantenimiento para el camión transportador de olla de escoria, basado en la prevención de fallas y averías de los componentes del activo físico

(Mantenimiento programado), en el cual se realizan un serie de inspecciones, revisiones, cambios de elementos, lubricación, limpieza y lavado de acuerdo a lo que el fabricante del equipo especifica, recomienda, y la experiencia del personal encargado del garaje de manutención de la empresa.

En los siguientes puntos desarrollaremos en detalle las inspecciones, revisiones, cambios, limpieza realizados al activo físico analizado.

- **Manutención Diaria Codelco:**

PLAN MATRIZ
EQUIPO: CAMIÓN TRANS. OLLAS KIROW
UBICACIÓN TÉCNICA: SP17
PUESTO DE TRABAJO RESPONSABLE: TA0SP 605

FRECUENCIA: DIARIA

SIGNIFICADO DE ABREVIATURA USADA:

R = REVISAR, SI ES NECESARIO RELLENAR **C = CAMBIAR** **L = LUMBRICAR**
LA = LAVAR **LI= LIMPIAR** **INS = INSPECCIONAR**

Descripción breve de las actividades	TIPO DE MANT.	PERSONAL CODELCO		
		N° PERS.	HORAS	HH
1.- REVISAR ESTRUCTURA CAMIÓN	INS	1		
2.- REVISAR FUGAS DE ACEITE HIDRAULICO	INS			
3.- REVISAR ESTADO DE CORREAS	INS			
4.- REVISAR ESTADO DE NEUMATICOS	INS			
5.- REVISAR RADIADOR	INS			
6.- REVISAR CABLES DE LEVANTE OLLA	R			
7.- REVISAR SISTEMA DE ALUMBRADO Y BALIZA	R			
8.- REVISAR INSTRUMENTOS TABLERO	R			
9.- REVISAR SISTEMA DE ALUMBRADO Y BALIZA	R			
10.- REVISAR ESTADO GENERAL DE LUCES Y BOCINA	R			
11.- REVISAR FUNCIONAMIENTO DE ALARMA RETROCESO	R			
12.- REVISAR ESTADO DE MANGUERAS POR FUGAS O DAÑOS	R			
	TOTAL	2	0.5	1

OBSERVACIONES: _____

HOR: PLANIFICADO: _____ **HOR. REALIZADO:** _____

REALIZADO POR: _____
FECHA: _____

- Mantenimiento 200 Horas Codelco:

PLAN MATRIZ
EQUIPO: CAMIÓN TRANS. OLLAS KIROW
UBICACIÓN TECNICA: SP17
PUESTO DE TRABAJO RESPONSABLE: TA0SP 605

FRECUENCIA: 200 HRS

SIGNIFICADO DE ABREVIATURA USADA:

R = REVISAR, SI ES NECESARIO RELLENAR
LA = LAVAR

C = CAMBIAR
LI= LIMPIAR

L = LUMBRICAR
INS = INSPECCIONAR

Descripción breve de las actividades	TIPO DE MANT.	PERSONAL CODELCO		
		Nº PERS.	HORAS	HH
1.- ENGRASE GENERAL DE EQUIPO	L			
2.- CAMBIO ACEITE MOTOR	C			
3.- CAMBIO FILTRO ACEITE MOTOR	C			
4.- REVISAR SISTEMA DE FRENOS Y REGULAR FRENOS	R			
5.- REVISIÓN ESTADO DE CORREAS (TENSIÓN Y POSIBLE DAÑO)	R			
6.- REVISIÓN ESTADO DE NEUMATICOS	R			
7.- MEDICIÓN SISTEMA DE CARGA	I			
8.- REVISAR SISTEMA DE ALUMBRADO Y BALIZA	R			
9.- REVISAR FUNCIONAMIENTO TRANSMISIÓN	R			
10.- REVISAR NIVEL ACEITE DIFERENCIAL	R			
11.- LAVAR MOTOR TRANSMISIÓN, DIFERENCIAL, ETC	LA			
12.- REVISAR NIVEL DE ELECTROLITO DE BATERIA	R			
13.- REVISAR ESTADO DE MANGUERAS POR FUGAS O DAÑOS	R			
14.- LIMPIAR CONEXIONES ALTERNADOR Y MOTOR ARRANQUE	LI			
15.- REVISAR SOPORTES DE MOTOR	R			
TOTAL		2	12	24

OBSERVACIONES: _____

HOR: PLANIFICADO: _____ **HOR. REALIZADO:** _____

REALIZADO POR: _____
FECHA: _____

ANEXO 4: LISTADO DE REPUESTOS RECOMENDADOS

En el momento de la compra del camión transportador de olla de escoria de cobre, se realizó un estudio del camión a adquirir, este estudio tenía como objetivo entregar la información necesaria para el mantenimiento del equipo y las instalaciones auxiliares de los hornos de limpieza de escorias; el resumen de las materias contenidas en este manual son:

- Antecedentes técnicos de adquisición de los equipos.
- Diseño y fabricación de los componentes principales de equipos.
- Descripción detallada de las características de diseño y fabricación de los equipos.
- Rutinas y procedimientos de mantenimiento recomendados por el proveedor.
- Documentos y planos aportados por el proveedor.

En un segmento de este manual, donde se describen las rutinas y los procedimientos de mantenimiento recomendados, se incorpora un listado de repuestos que Ferrostal Chile S.A.C proveedor de camiones Kirow, entrega como datos necesarios para el perfecto funcionamiento del camión en faena durante un periodo de dos años. Estos datos son considerados como un aporte subalterno al plan de mantenimiento creado.

En las siguientes tablas se da a conocer el listado de repuestos recomendados para dos años de operación.

4	LISTADO DE REPUESTOS
---	----------------------

REPUESTO	CANTIDAD	COSTO EUR
Transmisión Clark	1	33.816
Kit de sello para cilindro de volteo	2	1.732
Cilindro de volteo Conducción	2	6.620
Kit de sello para cilindro de Conducción	2	1.115
Combinación bomba hidráulica A11VO+	1	6.321
Kit de sello para Conducción Bomba Hidráulica	1	490
-Kit de sello para Múltiple Hidráulico (Bloque de Control)	1	178
Válvula 1 de Presión para Múltiple Hidráulico	1	403
Válvula 2 de Presión para Múltiple Hidráulico	1	214
Amplificador Flujo Aceite	1	1.699
Elemento Filtro de Presión	4	1.637
Filtro de venteo para estanque de aceite hidráulico	4	504
Elemento de filtro línea Retorno	4	1.133
Elemento Filtro Depresión Freno	1	178

4.1	SISTEMA ELECTRÓNICO
-----	---------------------

REPUESTO	CANTIDAD	COSTO EUR
Caja electrónica de Control (CPU)	1	3.710
-Sensor Velocidad del Motor	2	597
-Sensor Velocidad del Transmisión	2	609
-Interruptor de Proximidad	2	100
-Interruptor de Presión	2	100
-Interruptor de Presión	2	363
-Sensor de Presión 400 bar	2	984
-Selector de Cambios	1	413
-Juego interruptor Cabina Conductor	1	154
-Juegos de Luces (focos Trabajo, conducción, indicador de viraje,...etc.)	1	234

4.2	MOTOR – TRANSMISIÓN
-----	---------------------

REPUESTO	CANTIDAD	COSTO EUR
-Elemento filtro de aceite Motor	5	388
-Elemento filtro de Combustible	5	116
-Elemento filtro Principal Combustible	5	308
-Elemento Seguridad Filtro de Aire	4	670
-Elemento Principal Filtro de Aire	4	702
-Kit sello cubierta Válvulas	2	72
-Juego correa en V	2	258
-Filtro Aceite Transmisión	4	666
-Kit sello Transmisión	1	1.779

4.3	EJES Y GRUPO DE ENGANCHE
-----	--------------------------

REPUESTO	CANTIDAD	COSTO EUR
-Juego de balatas para freno estacionamiento	2	535
-Perno c/ tuercas rueda para eje motriz	96	1.742
-Perno c/ tuercas rueda eje Trasero	80	2.904
-Ruedas Repuesto eje motriz	1	3.655
-Ruedas Repuesto eje Trasero	2	8.660
-Juego de piezas de desgaste grupo enganche	1	5.142
-Juego de pernos para grupo de enganche	1	5.958

4.4	SISTEMA CENTRALIZADO DE LUBRICACIÓN
-----	-------------------------------------

REPUESTO	CANTIDAD	COSTO EUR
-Bomba para lubricación Centralizada	1	680
-Juego de Reparación	1	490

Total	98.029
-------	--------

ANEXO 5: HISTORIAL DE FALLA CAMION KIROW SPUCU 90-100/2

En el área de Manutención de las maquinarias, fundición Potrerillo división El Salvador cuenta con una bitácora de las mantenencias al camión transportador de escoria, las cuales cuentan con una pequeña reseña u observación del trabajo realizado, como también la fecha de la manutención y con las horas hombre con que contó dicho trabajo.

Historial de falla camión Kirow:

6/02/2004 1 HH	Se comunica q la maquina tiene bajo los neumáticos traseros, se va a terreno, se repone el aire a los 4 neumáticos, se entrega operativo
22/2/2004 horometro 3593 18 HH	Se coordina y se traslada camión por camino de abajo ya que esta mas cómodo para realizarle el lavado y reparación, se ubica en pozo de lavado, se escobilla completo con detergente y se lava motor y chasis para luego comenzar con la manutención, se cambio filtro de petróleo y de admisión, se enderezo la cavidad del foco delantero y se instala en loza para seguir con la manutención
23/2/2004 horometro 3593 18 HH	Se continúa con manutención y cambio de componentes, se cambio filtro y aceite motor, se cambio filtros gemelos de transmisión y aceite, se cambio el aceite del diferencial, se cambio el aceite hidráulico en general de freno y refrigeración y se sangro el circuito. Se sacaron baterías, se lavaron, se chequeo el electrolito y se cambio el filtro del respiradero del tanque líquido hidráulico.
24/2/2004 horometro 3593 16 HH	Se habilito alarma del sistema de freno parqueo, para indicar que el equipo se encuentra frenado, se revisaron mangueras con fugas de aceite, detectando filtración por prensa de fitting, se llama a personal de ENSESA, se cambian las mangueras malas. Sacan graseras malas, se cambian por unas nuevas, se lubrican, se repara el bulbo de presión del sistema de freno y se conecta el B.S.P
25/2/2004 horometro 3593 3 HH	Se cambia vidrio trasero de cabina, se revisan frenos, se limpia cabina del operador, se repara luces y alarma de retroceso y se chequea todas las mangueras.
26/2/2004 horometro	Se limpian vidrios de cabina, se cambia neumático trasero interno izquierdo, y se entrega operativo

3593 5 HH	
1/03/2004 horometro 1 HH	Control electrónico y trabajo del sistema hidráulico
4/3/2004 horometro 2 HH	Se hace prueba de volteo también en este equipo, no hay problemas, sólo se intuye al operador sobre la alarma instalada para anunciar que esta activado el freno de parqueo campo operativo.
10/3/2004 horometro 36299 1 HH	Se llama que se cae el tapiz de la puerta y manilla interior (tirador). Se va a terreno, se repara el tapiz, se coloca un tirador nuevo, queda operativo.
16/3/2004 horometro 3671 1 HH	Operador comunica que los neumáticos delanteros están bajos, se traslada manguera y se repone con aire de la red. Se aprecia que a veces se prende luz indicadora de saturación del filtro, se revisa el equipo y queda trabajando normal.
17/3/2004 horometro 3675 1 HH	Se comunica que al camión se le enciende la luz en forma intermitente del filtro de aire, se va a terreno, se revisa líneas de contacto, se sopla el filtro, se prueba y queda operativo.
19/3/2004 horometro 3716 1 HH	Llaman que maquina esta votando agua del radiador, se va a terreno, se revisa y se encuentra que es una pequeña gota que cae por el panel del radiador, se revisa el nivel de agua, se rellena, y se recomienda al operador no descuidar el nivel de agua ya que el radiador es reparado (se informa a jefatura)
24/3/2004 horometro3742 5 HH	Comunican de sección que pinchan neumático trasero lado 3 exterior, se traslado uno nuevo y se cambia, se rellena nivel del radiador, y queda trabajando operativo.
26/3/2004 horometro 3757 7 HH	A entrada de turno se comunica que el equipo pincha neumático y queda votado en escorial, Se cambia neumático , se revisan niveles, y queda operativo
27/3/2004 horometro	En turno de noche se informa que la maquina tiene el sistema de volteo de la olla esta bloqueado, se va a revisar a terreno los fusibles,

3765 1 HH	se encontró que una línea del microswich del gancho se encuentra cortado, se repara y se revisan niveles, y queda operativo.
28/3/2004 horometro 3780 4 HH	Se informa que hay problemas con los ganchos de enclavamiento de la olla, el pasador del cilindro de enclavamiento de ganchos esta quebrado, se suelda, y queda operativo. Se manda a hacer 4 pasadores del cilindro de enclavamiento de los ganchos.
5/4/2004 horometro 3856 -- HH	Se cambian pasadores del cilindro de enclavamiento, esta era una detención programada.
13/4/2004 horometro 3937 1 HH	Se informa que camión no tiene alumbrado traseros, se va a terreno a revisar, y se encuentra que los focos estaban quemados, se cambiaron las ampolletas , y el camión queda operativo
19/4/2004 horometro 2 HH	Se informo q la protección de los cables esta destrozada, se cambio ,y la maquina queda operativa.
21/4/2004 horometro 5 HH	Se da aviso que el camión tiene poca fuerza, tira mucho humo, se chequea niveles, y se sopla el filtro de aire, se detecta que el turbo estaba malo, se repara turbo en el garaje.
23/4/2004 horometro -- HH	Se instala el turbo reparado, y se revisan niveles.
26/4/2004 horometro -- HH	Revisión general de niveles
27/4/2004 horometro 4067 2 HH	Filtraciones de aceite en conexiones manguera de alimentación del cilindro, se repara y queda operativo.
29/4/2004	Se avisa que hay filtraciones de manguera de gancho de la olla, se

horometro 4075 4 HH	queda sin señal eléctrica, se reviso, y se encontró que la caja eléctrica estaba chocada, se repara y se cambian fusibles, y queda operativo.
30/4/2004 horometro 1 HH	Se da aviso que faltan aire en las ruedas , se va a terreno , repone el aire con aire de la red y queda operativo.