

Universidad Católica de Santa María

Escuela de Postgrado

Maestría en Ingeniería de Mantenimiento



ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE RCM EN ÁREA DE MANTENIMIENTO SECCIÓN EQUIPO PESADO EN LA CONSTRUCTORA RECIFE SAC

Tesis presentada por el Bachiller

Mamani Mamani, Julio

Para optar el Grado Académico de:

Maestro en Ingeniería de Mantenimiento

Asesor:

Dr. Valencia Becerra, Rolardi Mario

Arequipa – Perú

2023

DICTAMEN APROBATORIO

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ESCUELA DE POSTGRADO

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR DE TESIS

Arequipa, 16 de Febrero del 2022

Dictamen: 001717-C-EPG-2022

Visto el borrador del expediente 001717, presentado por:

2015005971 - MAMANI MAMANI JULIO

Titulado:

ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE RCM EN ÁREA DE MANTENIMIENTO SECCIÓN EQUIPO

PESADO EN LA CONSTRUCTORA RECIFE SAC

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**1341 - TICSE VILLANUEVA EDWING JESUS
DICTAMINADOR**



**1842 - PACHECO OVIEDO ABRAHAM ARTURO
DICTAMINADOR**



**2346 - MOLINA RODRIGUEZ FREDY NICOLAS
DICTAMINADOR**



DEDICATORIA

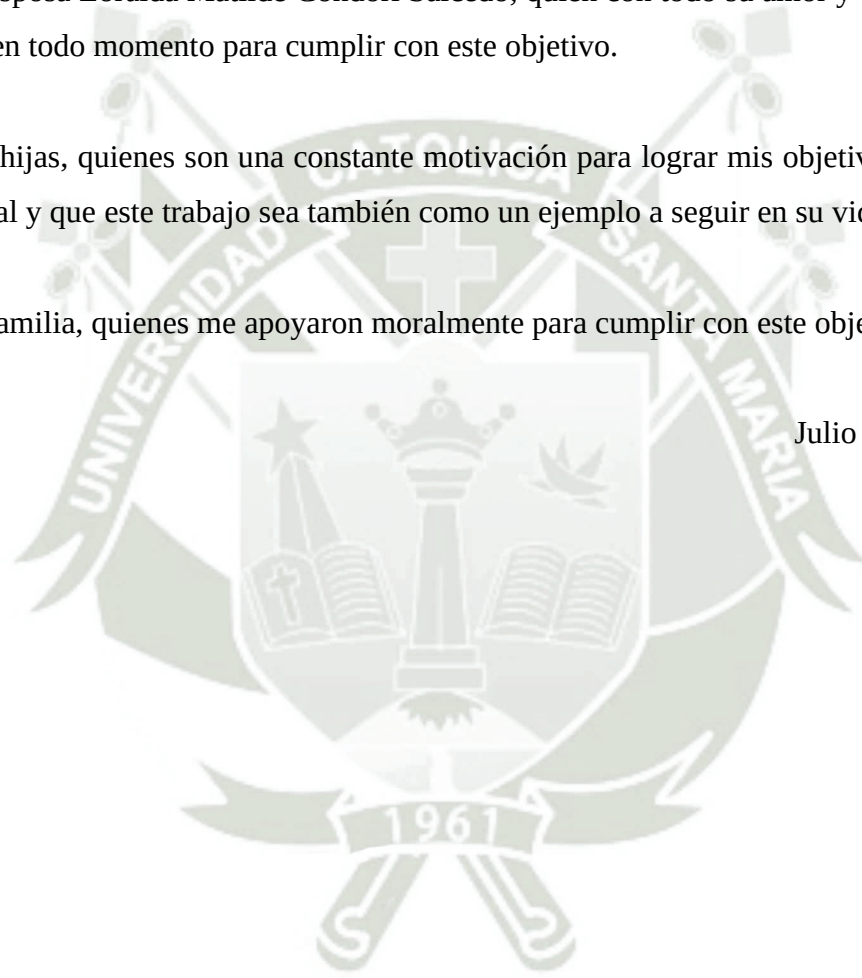
Dedico este trabajo a Dios mi Padre Celestial, quien me ha dado todo los talentos, dones y recursos para poder llevar a cabo el presente trabajo.

A mi esposa Zoraida Matilde Condori Salcedo, quien con todo su amor y dedicación me ha apoyado en todo momento para cumplir con este objetivo.

A mis hijas, quienes son una constante motivación para lograr mis objetivos como padre y profesional y que este trabajo sea también como un ejemplo a seguir en su vida profesional.

A mi familia, quienes me apoyaron moralmente para cumplir con este objetivo.

Julio Mamani Mamani



AGRADECIMIENTOS

Reconozco a todos los maestros de la maestría de Ingeniería de Mantenimiento, de manera especial a los miembros de mi proyecto de tesis al Ing. Edwing Ticse Villanueva, Ing. Rolardi Mario Valencia Becerra, Ing. Abraham A. Pacheco Oviedo, por su apoyo y el tiempo invertido en la revisión de este trabajo y las sugerencias de mejora.

También agradezco a la empresa Constructora Recife S.A.C. por darme las facilidades en la utilización de reportes de la información de costos de operación y mantenimiento de sus equipos a través de CMMS “SGE” para un análisis completo de este trabajo de investigación.



ÍNDICE GENERAL

DICTAMEN APROBATORIO

DEDICATORIA

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN1

CAPITULO I MARCO TEÓRICO.....2

1. MARCO TEÓRICO.....3

1.1. EL MANTENIMIENTO3

1.2. EL MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM).....3

1.2.1. DEFINICIÓN3

1.3. EVOLUCIÓN DE RCM4

1.4. FILOSOFÍA5

1.5. LAS SIETE PREGUNTAS BÁSICAS DEL RCM6

1.6. METODOLOGÍA LÓGICA DE RCM6

1.7. FASES DE IMPLANTACIÓN DEL RCM.7

1.8. DISEÑO DE UN PROYECTO RCM8

1.9. ANÁLISIS DE CRITICIDAD12

1.10. TAXONOMÍA DE LOS EQUIPOS19

1.11. TEORÍA DE FALLAS DE MANTENIMIENTO.20

1.11.1. FUNCIONES.20

1.11.2. ESTÁNDARES DE FUNCIONAMIENTO21

1.11.3. CONTEXTO OPERACIONAL21

1.11.4. TIPOS DE FUNCIONES22

1.12. FALLAS FUNCIONALES26

1.12.1.	CONCEPTO DE FALLA.....	26
1.12.2.	CONCEPTO DE FALLA FUNCIONAL	26
1.12.3.	ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA Y SUS EFECTOS	28
1.12.4.	CATEGORÍAS DE MODOS DE FALLA.....	29
1.12.5.	DETALLES DE LOS MODOS DE FALLA	32
1.12.6.	FUENTES DE INFORMACIÓN SOBRE MODOS DE FALLA	35
1.12.7.	EFFECTOS DE FALLA	35
1.12.8.	CONSECUENCIAS DE FALLA.....	36
1.13.	FUNCIONES OCULTA Y EVIDENTE.....	37
1.14.	TAREAS PROACTIVAS	38
1.15.	FACTIBILIDAD TÉCNICA Y MERECE LA PENA.....	38
1.16.	FALLAS POTENCIALES	39
1.17.	EL INTERVALO P-F	39
1.18.	INTERVALO P-F NETO.....	40
1.19.	TEORÍA DE LOS PROCESOS DE COMPACTACIÓN.....	41
1.19.1.	DEFINICIÓN DEL PROCESO DE COMPACTACIÓN	41
1.19.2.	¿PORQUE COMPACTACIÓN ES IMPORTANTE?.....	42
1.19.3.	DEFINICIÓN DE LA MAQUINARIA RODILLO COMPACTADOR.....	43
CAPÍTULO II METODOLOGÍA.....		52
2.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	53
2.1.	FASES DE LA INVESTIGACIÓN	53
3.	MÉTODO.....	91
4.	IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	92
4.1.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	92
4.1.1.	CAMPO, ÁREA Y LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	93
4.1.2.	PROBLEMA A INVESTIGAR	93

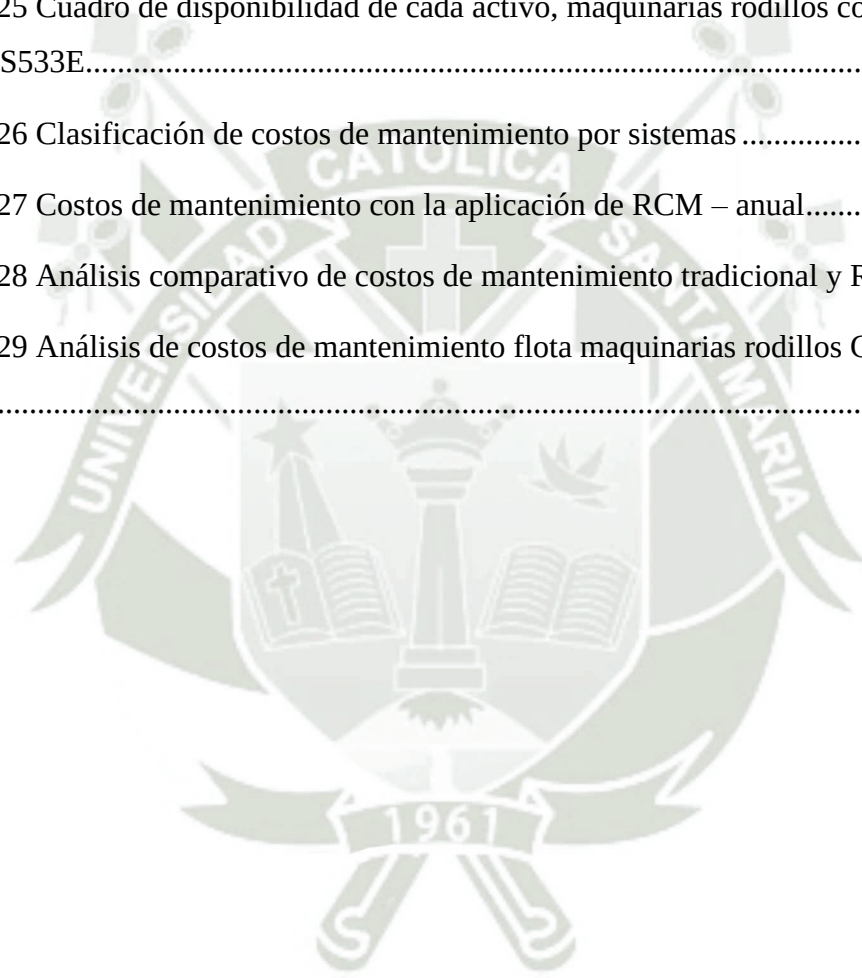
4.1.3. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	94
4.2. JUSTIFICACIÓN.....	98
4.3. ASPECTO SOCIAL.....	98
4.4. ASPECTO ECONÓMICO	99
4.5. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	99
4.6. OBJETIVOS.....	99
4.6.1. OBJETIVO GENERAL	99
4.6.2. OBJETIVO SECUNDARIO.....	100
4.7. HIPÓTESIS	100
4.8. VARIABLES	101
4.8.1. VARIABLE INDEPENDIENTE	101
4.8.2. VARIABLE DEPENDIENTE	101
4.9. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	102
4.10. MATRIZ DE CONSISTENCIA	103
4.11. CRONOGRAMA DE TRABAJO.....	104
CAPÍTULO III RESULTADOS	105
1. APLICACIÓN DEL RCM.....	106
1.1. SELECCIÓN DEL EQUIPO	106
1.2. CONTEXTO OPERACIONAL	106
1.3. SITUACIÓN DE LAS MAQUINARIAS RODILLOS COMPACTADORES.....	106
1.3.1. COSTOS ASOCIADOS A MANTENIMIENTO	106
1.3.2. DISPONIBILIDAD DE MAQUINARIAS RODILLOS COMPACTADORES	108
1.4. GRUPOS DE REVISIÓN RCM	113
1.5. FUNCIÓN DE FACILITADOR	114
1.6. FUNCIÓN DEL MANTENEDOR	115

1.7.	FUNCIÓN DEL PLANIFICADOR	115
1.8.	FUNCIÓN DEL ESPECIALISTA.....	115
1.9.	PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS	115
1.9.1.	HOJA DE INFORMACIÓN DE RCM.....	115
1.9.2.	HOJA DE DECISIÓN DE RCM	116
1.9.3.	DIAGRAMA DE DECISIÓN DE RCM.....	117
2.	ANÁLISIS DE COSTOS.....	127
2.1.	ANÁLISIS DE COSTOS FMA MODIFICADO.....	127
2.2.	DIAGRAMA DE PARETO DE FMA MODIFICADO POR SISTEMAS	127
2.3.	COSTOS DE MANTENIMIENTO CON LA APLICACIÓN DE RCM PARA LOS PRÓXIMOS 12 MESES (ANUAL).....	128
2.4.	ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS DE MANTENIMIENTO, TRADICIONAL Y RCM.....	129
2.5.	ANÁLISIS DE COSTOS ANUAL POR LA FLOTA DE EQUIPOS (06 MAQUINARIAS RODILLOS COMPACTADORES CS533E).....	129
	CONCLUSIONES	131
	RECOMENDACIONES	133
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	134
	ANEXOS.....	137
	ANEXO N° 01 DETALLE DE ANÁLISIS DE COSTOS FMA MODIFICADO	
	ANEXO N° 02 DETALLE DE COSTOS DE APLICACIÓN DE RCM PARA LOS PRÓXIMOS 12 meses	
	ANEXO N° 03 ANÁLISIS DEL RCM	

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Cuadro de la metodología lógica del RCM.....	6
Tabla N° 2 Fases de implementación del RCM según la metodología a desarrollar	8
Tabla N° 3 Cuadro de requerimiento para un proyecto de RCM	8
Tabla N° 4 Cuadro de beneficios al aplicar RCM	11
Tabla N° 5 Cuadro de pasos a seguir en el proceso de implementación del análisis de criticidad.....	15
Tabla N° 6 Criterios de evaluación de las criticidades	16
Tabla N° 7 Cuadro de criterios para la elaboración de tablas de ponderación y cálculo de valores de criticidad	17
Tabla N° 8 Colores utilizados en la matriz de criticidad.....	18
Tabla N° 9 Funciones primarias y secundarias	23
Tabla N° 10 Funciones primarias y secundarias (continuación)	24
Tabla N° 11 Funciones primarias y secundarias (continuación)	25
Tabla N° 12 Cuadro de partes principales de la maquinaria rodillo compactador	45
Tabla N° 13 Cuadro de operaciones de compactación - presión estática	46
Tabla N° 14 Cuadro de operaciones de compactación - manipulación e impacto	47
Tabla N° 15 Cuadro de operaciones de compactación - vibración y fuerzas dinámicas de compactación.....	48
Tabla N° 16 Cuadro de operaciones de compactación - amplitud	49
Tabla N° 17 Cuadro de operaciones de compactación - frecuencia, velocidad y fuerza centrífuga.....	50
Tabla N° 18 Cuadro de operaciones de compactación - frecuencia, velocidad y fuerza centrífuga.....	51
Tabla N° 19 Cuadro de operacionalización de variables independientes.....	102
Tabla N° 20 Cuadro de matriz de consistencia.....	103
Tabla N° 21 Costos asociados a mantenimiento	107

Tabla N° 22 Horas fuera de servicio por equipo, maquinarias rodillos compactadores – periodo año 2017	109
Tabla N° 23 Horas fuera de servicio por equipo, maquinaria rodillo compactador – periodo año 2018	110
Tabla N° 24 Horas fuera de servicio por equipo, maquinaria rodillo compactador - periodo año 2019	111
Tabla N° 25 Cuadro de disponibilidad de cada activo, maquinarias rodillos compactadores modelo CS533E.....	112
Tabla N° 26 Clasificación de costos de mantenimiento por sistemas	127
Tabla N° 27 Costos de mantenimiento con la aplicación de RCM – anual.....	128
Tabla N° 28 Análisis comparativo de costos de mantenimiento tradicional y RCM.....	129
Tabla N° 29 Análisis de costos de mantenimiento flota maquinarias rodillos CAT. CS533E - anual	130



INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 Fases de implementación del RCM	7
Figura N° 2 Diagrama de decisión del RCM.....	9
Figura N° 3 Diagrama de decisión del RCM (continuación)	10
Figura N° 4 Modelo básico de análisis de criticidad	12
Figura N° 5 Campos de aplicación de análisis de criticidad	13
Figura N° 6 Campos de aplicación de análisis de criticidad	14
Figura N° 7 Ecuación de criticidad.....	15
Figura N° 8 Matriz de criticidad.....	18
Figura N° 9 Pirámide de taxonomía	19
Figura N° 10 Categoría de funciones	20
Figura N° 11 Relación entre la capacidad inicial y el funcionamiento deseado	21
Figura N° 12 Tipos de funciones de un equipo	22
Figura N° 13 Estado general de falla.....	26
Figura N° 14 Falla funcional	27
Figura N° 15 Probabilidad razonable de producirse un modo de falla.....	29
Figura N° 16 Clasificación de modos de falla	29
Figura N° 17 Categoría de los modos de falla.....	30
Figura N° 18 Descripción de las categorías de los modos de falla.....	31
Figura N° 19 Cuadro de efectos de detalles	32
Figura N° 20 Modos de fallas más probables.....	34
Figura N° 21 Curva e intervalo P-F	39
Figura N° 22 Curva e intervalo P-F Neto	40
Figura N° 23 Sección transversal de una carretera.....	43
Figura N° 24 Diagrama de la maquinaria rodillo compactador.....	44

Figura N° 25 Fases de puesta en marcha de la investigación.....	53
Figura N° 26 Proceso de aplicación del RCM y detección de los modos y efectos de falla	91
Figura N° 27 Cuadro de campo, área y línea de investigación.....	93
Figura N° 28 Cronograma de trabajos de investigación.....	104
Figura N° 29 Costos asociados a mantenimiento	107
Figura N° 30 Horas fuera de servicio por equipo, maquinarias rodillos compactadores – periodo año 2017	108
Figura N° 31 Horas fuera de servicio por equipo, maquinarias rodillos compactadores – periodo año 2018	109
Figura N° 32 Horas fuera de servicio por equipo, maquinarias rodillos compactadores - periodo año 2019.....	110
Figura N° 33 Grupo típico revisión RCM	113
Figura N° 34 Grupo de análisis maquinaria rodillo Cat. CS533E.....	114
Figura N° 35 Estructura de la hoja de información de RCM	116
Figura N° 36 Estructura de la hoja de decisión de RCM.....	117
Figura N° 37 Diagrama de decisión de RCM.....	118
Figura N° 38 Diagrama de decisión de RCM (continuación)	119
Figura N° 39 Como se registran las consecuencias de falla en la hoja de decisión	120
Figura N° 40 Resumen de las consecuencias de falla	122
Figura N° 41 Criterios de factibilidad técnica	124
Figura N° 42 Las preguntas “A falta de”	125
Figura N° 43 Diagrama de pareto (FMEA modificado), maquinaria rodillo compactador CAT. CS533E por sistemas.....	127

RESUMEN

En el actual trabajo de investigación, se realizó un análisis de la implementación de RCM en área de mantenimiento sección equipo pesado de la Constructora Recife SAC. Después se realizó la identificación de los sistemas, subsistemas y componentes del equipo crítico seleccionado la maquinaria Rodillo Compactador Caterpillar CS533E por los altos costos de mantenimiento y baja disponibilidad con lo que cuenta. Esto ayudó para el análisis de Modos de Fallas y Efectos (AMFE), que se presentan en este trabajo mediante tablas que facilitaron el manejo de la información. También se realizó el análisis de costos de mantenimiento y disponibilidad de la maquinaria, mediante la recolección de información de los registros de mantenimiento de los equipos, que se facilitaron por parte del área de Gestión de Equipos. Esto sirvió para el cálculo de la Disponibilidad y Costos de Mantenimiento de los equipos; factores clave para determinar la Disponibilidad de la misma. Todo este análisis sirvió para la toma de Decisiones con respecto a las posibles soluciones del problema de investigación. Para la realización de la Investigación se ha considerado las condiciones de trabajo y el contexto operacional del activo Maquinaria Compactador Caterpillar modelo CS533E en una altitud de trabajo 4500 m.s.n.m.

Para el Análisis de la Implementación de RCM en Área de Mantenimiento Sección Equipo Pesado, se ha seleccionado a la Maquinaria Rodillo Compactador Caterpillar modelo CS533E siendo el equipo más crítico por los altos costos de mantenimiento y baja disponibilidad para lo cual se le adaptó los procedimientos para la implementación del RCM estipulados en las Normas JA-1011, JA 10-12 y la ISO 14224.

Palabras Claves: Costos de Mantenimiento, Aplicación de RCM (mantenimiento centrado en la confiabilidad) en sección Equipo Pesado, Análisis de Costos FMA modificado.

ABSTRACT

In the current research work, an analysis of the implementation of RCM in the maintenance area of the heavy equipment section of Constructora Recife SAC was carried out. Afterward, the identification of the systems, subsystems, and components of the critical equipment was carried out, selecting the Caterpillar CS533E Compactor Roller machinery due to its high maintenance costs and low availability. This helped with the analysis of Failure Modes and Effects (AMFE), which are presented in this work through tables that facilitated the handling of the information. The analysis of maintenance costs and availability of the machinery was also carried out, by collecting information from the equipment maintenance records, which were provided by the Equipment Management area. This served to calculate the Availability and Maintenance Costs of the equipment; key factors to determine its availability. All this analysis served to make decisions regarding possible solutions to the research problem. To carry out the Investigation, the working conditions, and the operational context of the Caterpillar Compactor Machinery model CS533E asset at a working altitude of 4500 m.s.n.m.

For the Analysis of the Implementation of RCM in the Maintenance Area Heavy Equipment Section, the Caterpillar Compactor Roller Machinery model CS533E has been selected, being the most critical equipment due to high maintenance costs and low availability for which the procedures were adapted to the implementation of RCM stipulated in Standards JA-1011, JA 10-12 and ISO 14224.

Key Words: Maintenance Costs, Application of RCM (maintenance centered reliability) in the Heavy Equipment section, Cost Analysis modified FMA.

INTRODUCCIÓN

La función principal del mantenimiento la de asegurar el buen funcionamiento de los equipos y conservar en buen estado las máquinas a lo largo del tiempo. El análisis de implementación de RCM en el área de mantenimiento sección equipo pesado enfocado en los altos costos y baja disponibilidad de la maquinaria pesada de la constructora RECIFE SAC, que se presenta en este trabajo, muestra los costos actuales y la disponibilidad de cada uno de los activos seleccionados y un análisis completo de cada uno de los factores que intervienen en los altos costos y baja Disponibilidad. Teniendo en cuenta los métodos de análisis de fallos para determinar los puntos críticos del equipo y las formas en que estos pueden fallar, mediante los métodos de Hojas de Información de cada Sistema/Componente y Hojas de Decisión de cada Sistema/Componente, para un correcto y profundo análisis de mantenimiento de los equipos, con la identificación de los componentes que más influyen en cada uno de los sistemas de cada uno de los equipos a analizarse. Todos estos procesos son fundamentales para la toma de Decisiones con respecto a actividades para mitigar los problemas más comunes que se presentan en los equipos pesados de la Constructora Recife SAC en el cual se desarrolla la problemática de investigación del presente trabajo.

Las consecuencias de este análisis serán evidenciados en los resultados económicos de la organización, en gestión de activos de la gerencia de mantenimiento en la optimización de los costos de mantenimiento, al analizar el RCM en las maquinarias rodillos compactadores Caterpillar modelo CS533E se implementará una estrategia de mantenimiento de acorde al contexto operacional del activo lo cual permitirá al mantenedor acciones acertadas en la ejecución de tareas de mantenimiento y asegurar la confiabilidad del activo para área de operaciones.

La razón primordial del desarrollo de esta tesis se justifica en que los activos de modelo CS533E presentan baja disponibilidad y altos costos de mantenimiento y con la pérdida de sus Funciones generan retrasos en la ejecución de obras en área de operaciones.



CAPITULO I
MARCO TEÓRICO

1. MARCO TEÓRICO

1.1. EL MANTENIMIENTO

Desde el punto de vista de la ingeniería hay dos elementos que hacen al manejo de cualquier activo físico. Debe ser mantenido y de tanto en tanto quizás también necesite ser modificado. Los diccionarios más importantes definen mantener como causar que continúe (Oxford), o conservar su estado existente (Webster), o conservar cada cosa en su ser (Real Academia Española). 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. Cuando no disponemos a mantener algo, ¿Qué es eso que deseamos causar que continúe?, ¿Cuál es el estado existente que deseamos preservar?. La respuesta a estas preguntas está dada por el hecho de que todo activo físico es puesto en funcionamiento porque alguien quiere que haga algo, en otras palabras, se espera que cumpla una función o ciertas Funciones específicas. Por ende al mantener un activo, el estado que debemos preservar es aquel en el que continúe haciendo aquello que los usuarios quieran que haga. Mantenimiento: asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan. (Moubray, 2004, pág. 7)

1.2. EL MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM)

1.2.1. DEFINICIÓN

Es fundamental que el usuario tenga conocimiento la aplicación y su utilización de los activos físicos con que cuenta para garantizar una confiabilidad de los mismos.

Según el libro RCM II de John Moubray, el RCM define de la siguiente forma: “Un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual” (Moubray, 2004, pág. 7).

La Norma SAE JA1011 de agosto 1999 define que:

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad es una filosofía de Gestión de Mantenimiento, en el cual un equipo de trabajo multidisciplinario, se encarga de optimizar la Confiabilidad Operacional de un sistema productivo, que funciona bajo condiciones de operación definidas estableciendo las actividades más efectivas en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, considerando

los posibles efectos que originan los modos de fallas de estos activos, en la seguridad, el ambiente y las Funciones operacionales. (Norma para Vehículos Aeroespaciales y de Superficie SAE JA1011, 1999, pág. 01)

La norma SAE JA1011, nos permite tener criterios de evaluación para analizar y proponer tareas de mantenimiento que permitan minimizar las fallas de los equipos considerados críticos en área de producción/operaciones, al mismo tiempo elevará su confiabilidad, disponibilidad y costos óptimos de mantenimiento.

1.3. EVOLUCIÓN DE RCM

El RCM está evolucionando favorablemente y cada vez su utilización y aplicación se hace necesario para dar confiabilidad a los activos físicos del área producción/operaciones de una organización

Según la historia, los promotores del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) son la industria aeronáutica y el gobierno norteamericano a finales de la década de los años sesenta y a comienzos de los setenta.

Desde 1960 hasta 1980, el mantenimiento preventivo PM fue la técnica más avanzada usado por las organizaciones dedicadas al mantenimiento. El PM asume que las probabilidades de falla pueden determinarse estadísticamente para las máquinas y componentes individuales y los repuestos o ajustes pueden reemplazarse o puede realizarse para evitar la falla a tiempo. Por ejemplo, una práctica común en el pasado era reemplazar o renovar los rodamientos después de que algún número de horas de operación basados en la asunción que la tasa de falla de los rodamientos se incrementa con el tiempo de servicio. Esto ha sido demostrado ser ineficaz. De acuerdo con los estudios, se ha descubierto que en varios casos la vida de los rodamientos excede su vida de diseño, por ejemplo, SKF propuso cambios desde el método clásico de evaluación de vida de rodamientos, propuesto por Lundberg y Palmaren a uno donde los rodamientos muestran una vida mínima a la fatiga, cuando ciertas condiciones de operación como: Lubricación adecuada, montaje, operación y protección contra polvo y humedad, son archivadas. A este proceso se le conoce como Exploración de vida, y fue usado por la fuerza armada de los Estados Unidos de América en 1970, para extender el tiempo entre las reparaciones mayores y reemplazar las tareas basadas en el tiempo con tareas basadas en la condición. Se deduce entonces que todos los mantenimientos basados en intervalos deben ser reemplazados por los mantenimientos basados en la

condición. El desarrollo de nuevas tecnologías durante la década de los '90, incrementó el énfasis al monitoreo en la condición, llamado comúnmente Mantenimiento Predictivo e Inspección. A todo esto, el RCM provee la estructura para desarrollar la mejor estrategia de mantenimiento a aplicar al trabajo seleccionado. (Córdova Morales, 2005, págs. 22,23)

1.4. FILOSOFÍA

La filosofía del RCM emplea las técnicas del mantenimiento preventivo (pm), mantenimiento predictivo e inspección PT&I, reactivo y mantenimiento proactivo de una manera integrada con la finalidad de incrementar la probabilidad de que el equipo funcione de una manera requerida sobre su vida de diseño con el mínimo mantenimiento realizado. la finalidad principal es de mantener su función de diseño, con la requerida confiabilidad y disponibilidad a bajos costos. en varios países desarrollados, rigurosos análisis del rcm han sido usados extensivamente por las industrias de la aviación, aeroespacial, de defensa y nucleares donde las fallas funcionales tienen el potencial de un resultado en cuantiosas pérdidas de vida, implicancias de seguridad nacional y de impacto extremo al medio ambiente.

el riguroso análisis del rcm está basado en un detallado análisis de modos y efectos de falla fmea e incluye las probabilidades de falla y cálculos de la confiabilidad del sistema. este análisis es usado para determinar las apropiadas tareas de mantenimiento y direccionarlas a cada uno de los modos de falla identificados y a sus consecuencias.

Mientras que este proceso es el apropiado para estas industrias, no es necesariamente el más práctico para usar en otros sistemas. Para estos sistemas un proceso de análisis intuitivo del RCM sería el más apropiado.

1.5. LAS SIETE PREGUNTAS BÁSICAS DEL RCM

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

1¿cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?, 2¿de qué manera falla en satisfacer dichas funciones?, 3¿cuál es la causa de cada falla funcional?, 4¿qué sucede cuando ocurre cada falla?, 5¿en qué sentido es importante cada falla?, 6¿qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?, 7¿qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?. (Moubray, 2004, pág. 7)

1.6. METODOLOGÍA LÓGICA DE RCM

“La metodología lógica del RCM ha sido desarrollada en base a diversas investigaciones, lo que se puede sintetizar en el siguiente cuadro” (Siles Nates, 2014, págs. 178-179).

Tabla N° 1

Cuadro de la metodología lógica del RCM

PASOS	1	Identificar los sistemas básicos de la planta y definir sus Funciones principales
	2	Identificar los Modos de Falla que puedan producir cualquier Falla funcional
	3	Jerarquizar las necesidades funcionales de los Equipos mediante el Análisis de Criticidad
	4	Determinar la Criticidad de los Efectos de las Fallas funcionales
	5	Emplear el diagrama de árbol lógico para establecer la Estrategia de Mantenimiento
	6	Seleccionar las actividades proactivas, más convenientes u otras acciones que conserven a Función del Sistema

Fuente: Siles Nates, (2014).

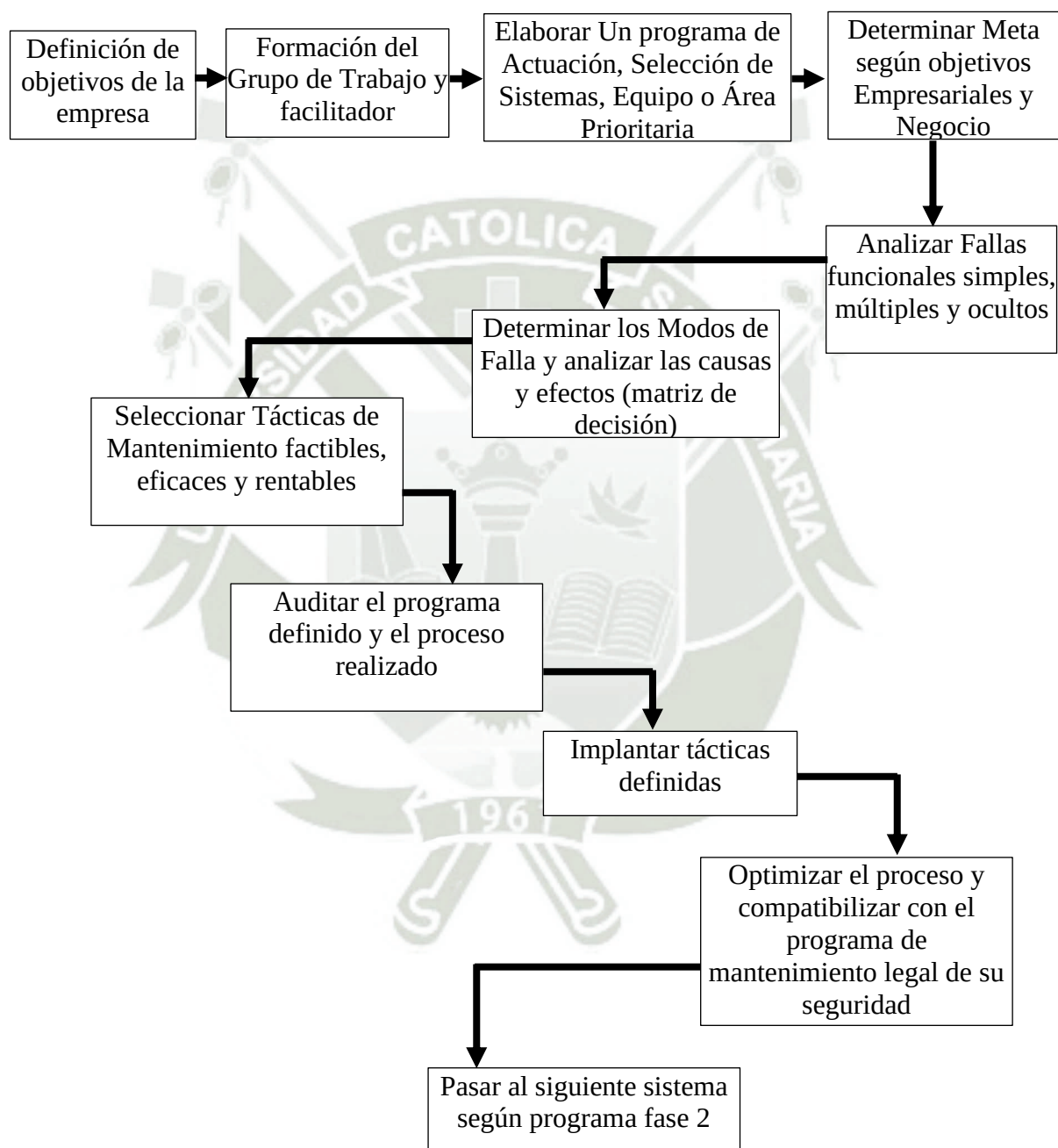
“Cada uno de los pasos anteriormente descritos resume la secuencia metodológica en la aplicación de la estrategia RCM, todos ellos están sustentados en función de las Normas SAE JA1011, SAE JA1012, ISO 14224 y la Norzok Z008 las dos primeras abocadas a la aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, la ISO 14224 abocada a la jerarquización y/o taxonomía del equipo y la Norzok aplicada a la Criticidad del Equipo” (Siles Nates, 2014, págs. 178-179).

1.7. FASES DE IMPLANTACIÓN DEL RCM.

El diagrama de bloques soporta las etapas que conducen en el proceso de implantación de RCM:

Figura N° 1

Fases de implementación del RCM



Fuente: Siles Nates, (2014).

Tabla N° 2
Fases de implementación del RCM según la metodología a desarrollar

FASES	METODOLOGÍA
I	Análisis de la planta para RCM Análisis de Criticidad Definición de equipo o Sistema Definición de Funciones del equipo Descripción de las fallas funcionales Descripción de los modos de falla Descripción de efectos de falla Aplicar Lógica de RCM: Metodología para elegir las acciones más apropiadas de mantenimiento y las frecuencias de aplicación
III	Documentación del programa de mantenimiento: Enfocado en la operación del Equipo o Sistema
IV	Aplicación de RCM (equipo de trabajo, recursos materiales, físicos, tecnológicos)

Fuente: Ariza Rincón, (2008).

1.8. DISEÑO DE UN PROYECTO RCM

A continuación, se visualiza una tabla de requerimientos básicos para la formulación de un análisis de RCM cuyo objetivo es de maximizar la disponibilidad y confiabilidad:

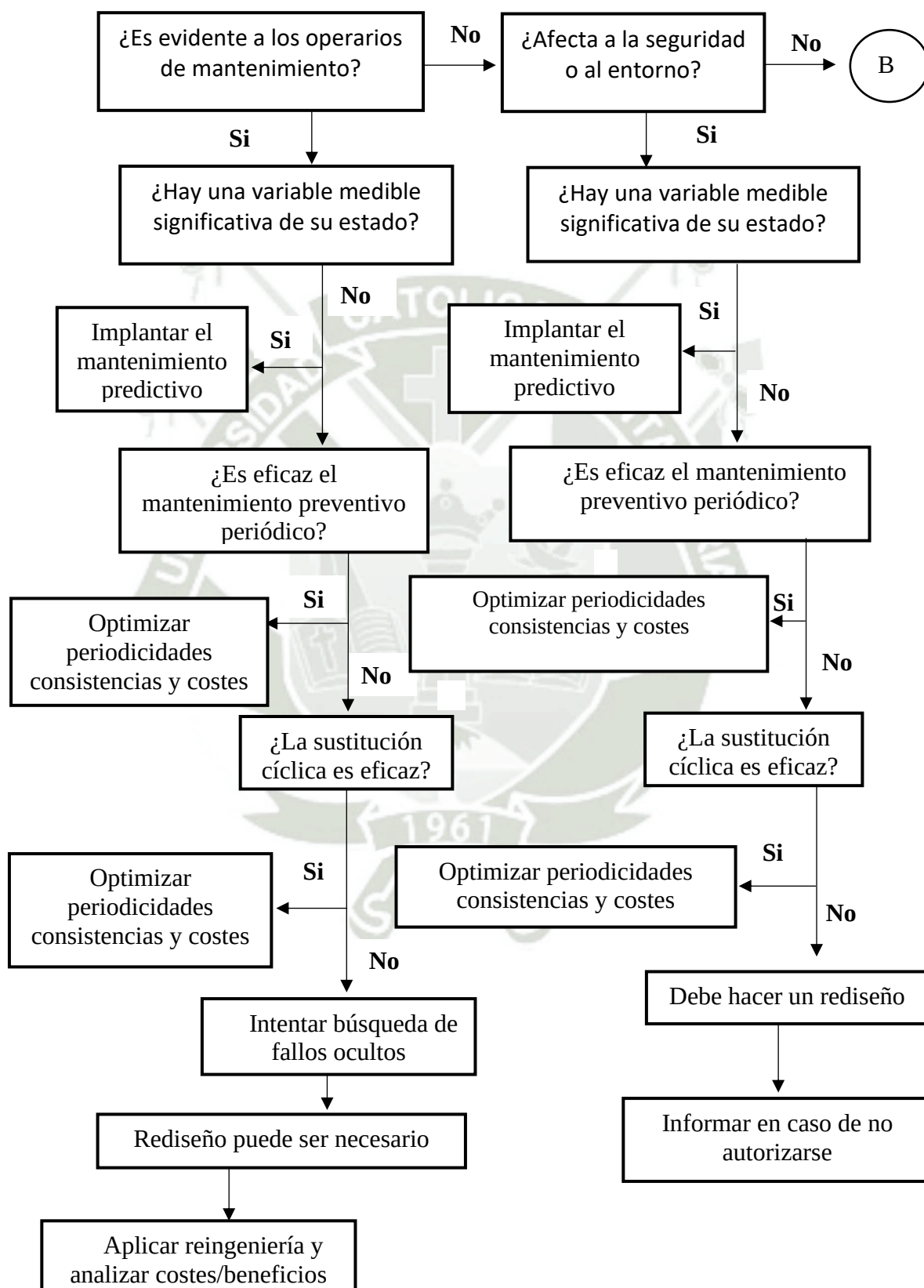
Tabla N° 3
Cuadro de requerimiento para un proyecto de RCM

REQUERIMIENTOS	
1	Lo fundamental es la Disponibilidad de los Equipos
2	El interés principal debe ser la función que estos desempeñen
3	Se debe de cuestionar todo plan de mantenimiento no sustentado por un análisis de Confiabilidad
4	El análisis debe ser sistémico y sistemático, tanto en extensión y en profundidad

Fuente: Siles Nates, (2014)

Figura N° 2

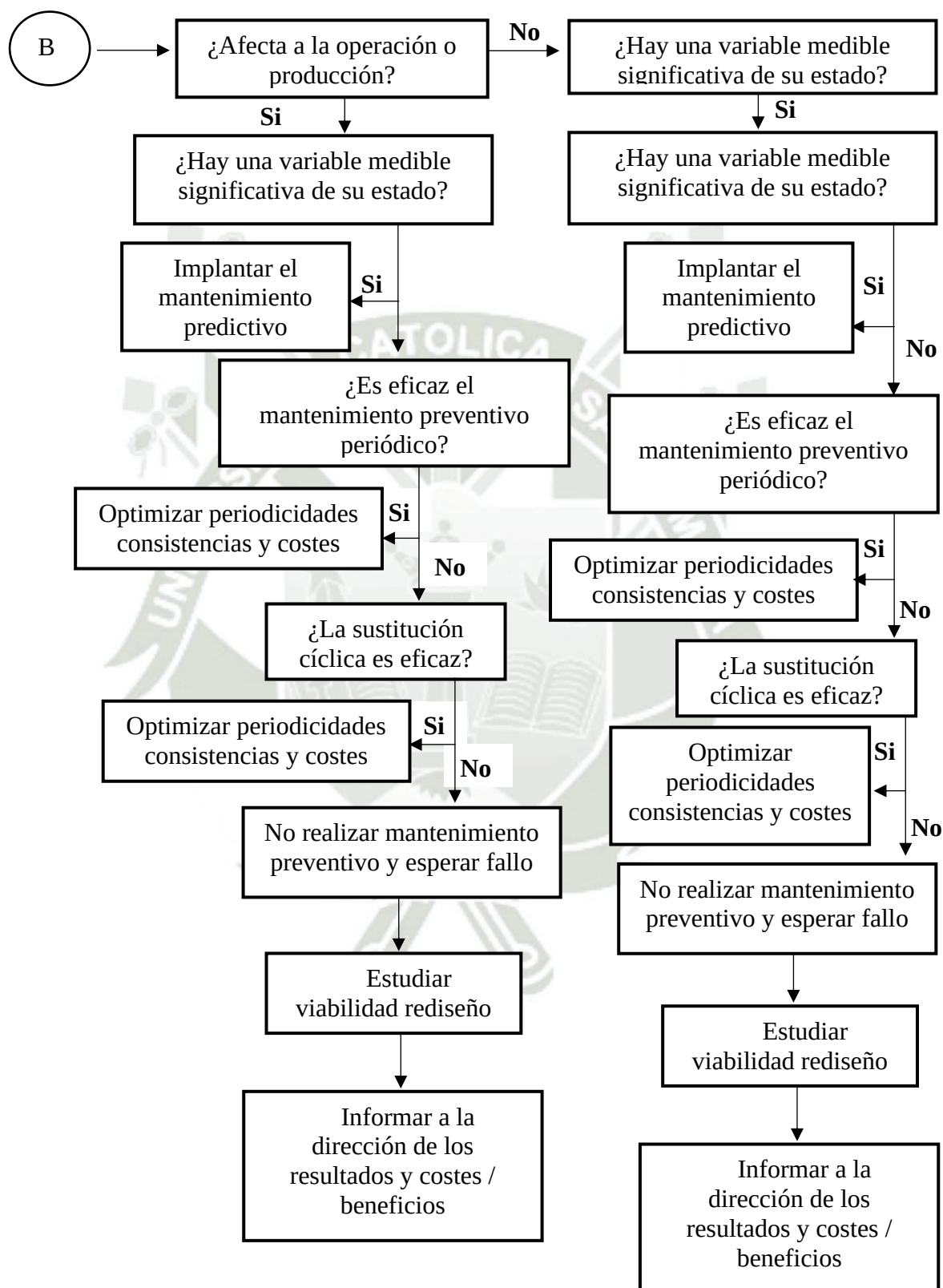
Diagrama de decisión del RCM



Fuente: Siles Nates, (2014)

Figura N° 3

Diagrama de decisión del RCM (continuación)



Fuente: Siles Nates, (2014)

La finalidad de este diagrama de decisión es encontrar una tarea de mantenimiento acorde a las necesidades del activo físico en estudio, lo cual permitirá ubicar la causa raíz de una falla y proponer una solución definitiva.

En la tabla N° 4 “**beneficios al aplicar RCM**” resume las metas y beneficios para la mejora de la disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad basado en costos, tiempo, calidad y riesgo:

Tabla N° 4

Cuadro de beneficios al aplicar RCM

BENEFICIOS A PERSEGUIR COMO METAS EN UN MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD				
COSTOS	SERVICIO	CALIDAD	TIEMPO	RIESGO
Reducir los niveles y costos del mantenimiento preventivo rutinario (10 a 15%)	Conocer mejor los requerimientos de servicio al cliente.	Incremento de la disponibilidad por menor preventivo y menor correctivo (2 a 10%).	Reducción en las paradas programadas para grandes revisiones.	Mayor aseguramiento de la integridad de la seguridad y entorno.
Definir directrices y objetivos concretos para sustituir preventivos rutinarios por predictivos.	Definir de forma consensuada niveles de calidad de servicio.	Eliminación de fallos crónicos que “no entiende” producción como no se reparan.	Intervalos normalmente más largos entre paradas por seguimientos predictivos.	Análisis de fallos ocultos y sus causas, que no suelen revisarse en mantenimiento rutinarios.
Reducir los niveles de mantenimiento contratado y sus aportes.	Reducir las averías con especial incidencia en las que repercuten en el servicio.	Mejora de la adhesión al cambio en el mantenimiento.	Tiempos de reparación más cortos por mejor conocimiento del sistema en su conjunto.	Reducción de la probabilidad de fallos múltiples.
Reducir las paradas en producción de forma rentable haciendo reingeniería.	Mejor comunicación entre Mantenimiento y Producción.	Mejor documentación del cambio y sistema auditable por terceros.	Reducir los tiempos de parada es decir mejora del MTTR	Reducción de riesgos asociados a las tareas rutinarias.

Fuente: Siles Nates, (2014)

1.9. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridad de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilite la toma de Decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual. (Ariza Rincón, 2008)

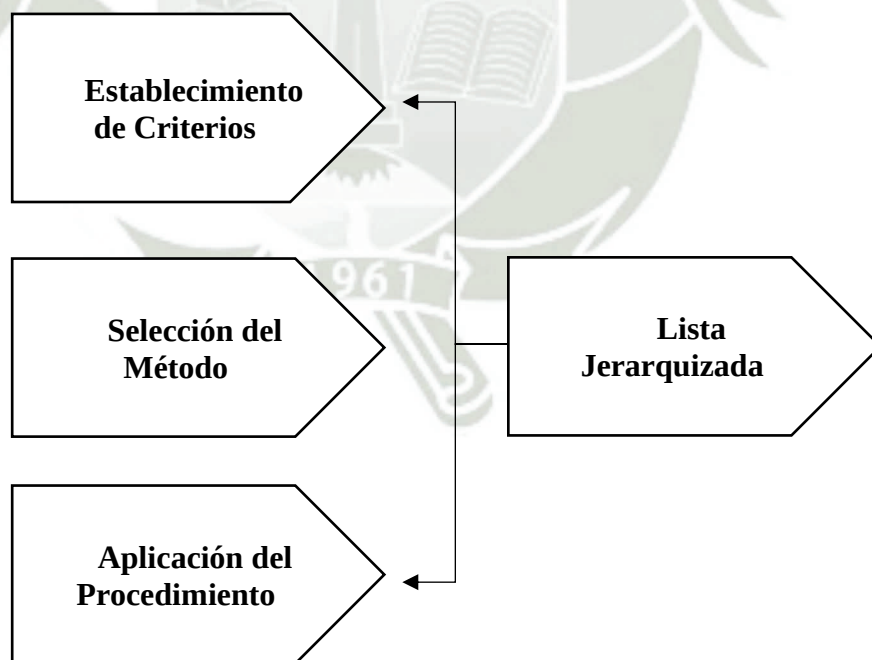
A continuación, se presenta el objetivo fundamental del Análisis de Criticidad:

- Establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la Jerarquía de Procesos, Sistemas y Equipos de una Planta Compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable.

El siguiente diagrama de bloques muestra un modelo básico del proceso de análisis de Criticidad:

Figura N° 4

Modelo básico de análisis de criticidad



Fuente: Siles Nates, (2014)

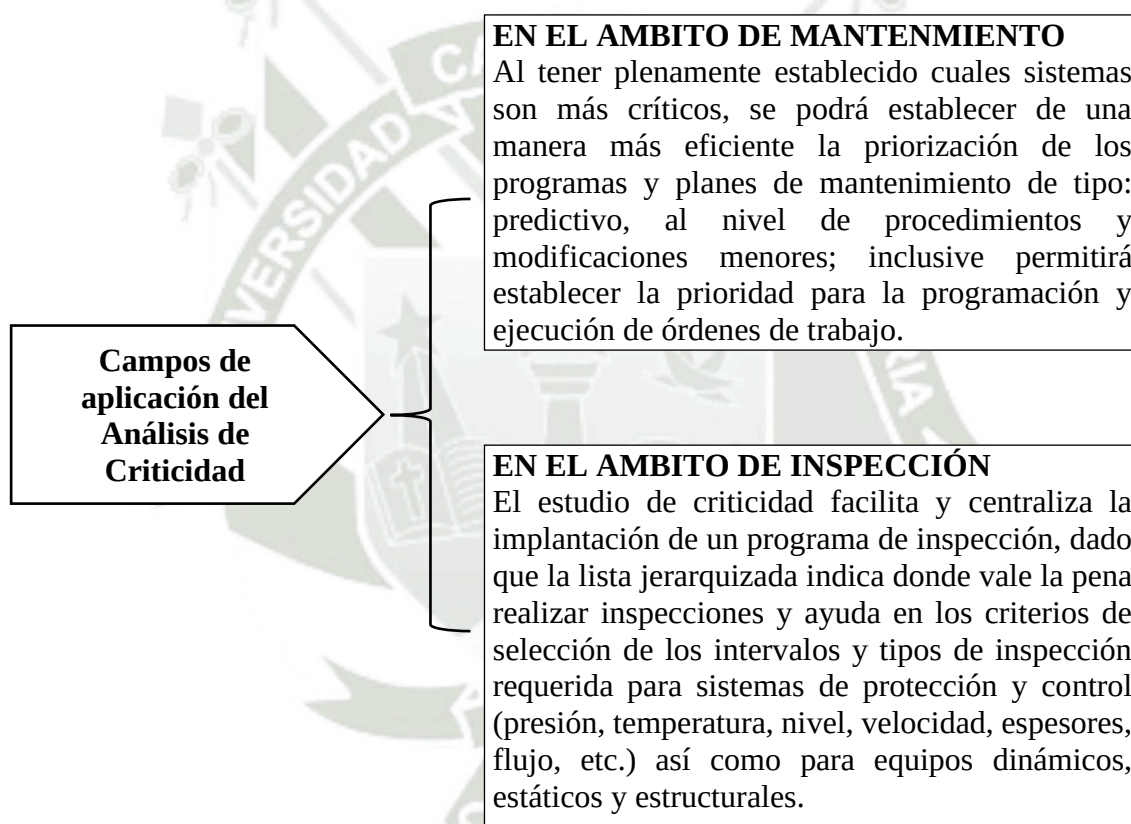
Comentario: Con el análisis de criticidad se definen los criterios para determinar que activos son considerados críticos en una organización.

El proceso del modelo básico de análisis de criticidad puede ser aplicado en diferentes sectores económicos como industrias de manufactura, construcción, minería y servicios.

El análisis de criticidad puede ser aplicado en Procesos, Plantas, Sistemas, Equipos y/o Componentes, los cuáles requieran ser Jerarquizados en base a su impacto en el proceso o función que realizan, a continuación, se presentan las áreas de aplicación del Análisis de Criticidad: (Siles Nates, 2014, pág. 183)

Figura N° 5

Campos de aplicación de análisis de criticidad

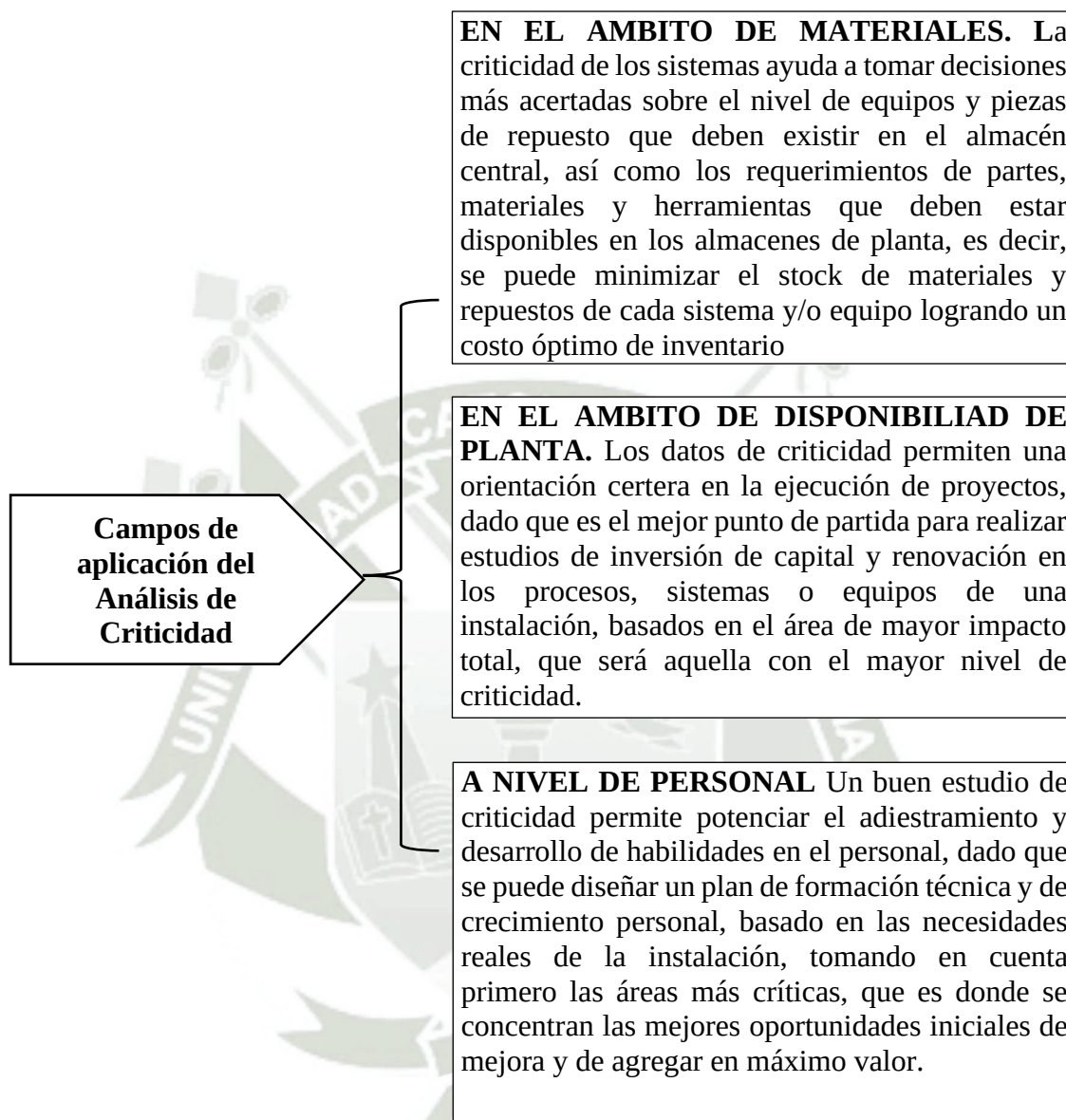


Fuente: Siles Nates, (2014)

Comentario: El análisis de criticidad se puede aplicar en el área de mantenimiento en los sectores de construcción, minería, industria y producción.

Figura N° 6

Campos de aplicación de análisis de criticidad



Fuente: Ariza Rincón, (2008).

En la tabla N° 5 se especifica los pasos a seguir en la aplicación de análisis de criticidad:

Tabla N° 5

Cuadro de pasos a seguir en el proceso de implementación del análisis de criticidad

N°	PASOS	DESCRIPCIÓN
1	Identificación de los equipos a estudiar	Se seleccionan los equipos más críticos dentro del proceso. Esta herramienta se hace vital a la hora de priorizar órdenes de trabajo y proyectos de inversión.
2	Definición del alcance y objetivo del estudio	La elaboración del estudio de Análisis de Criticidad se realiza a partir de un formato de encuesta que permite recoger la información de parte de los ingenieros, técnicos y operarios de la planta.
3	Selección del personal a entrevistar	El grupo de personas involucradas en el estudio
4	Recolección de datos	La recolección de la información se realiza a partir de las encuestas contestadas por ingenieros, técnicos y operarios de la planta

Fuente: Ariza Rincón, (2008).

Al momento de seleccionar los equipos críticos dentro del proceso de selección de RCM es importante considerar el contexto operacional del activo.

En la siguiente figura se formula la ecuación para el cálculo de criticidad la misma toma como dato el rango de fallas, costos de mantenimiento y factores en flexibilidad operacional, impacto operacional, impacto en seguridad ambiente e higiene:

Figura N° 7

Ecuación de criticidad

Criticidad = Frecuencia x Consecuencia Frecuencia = Rango de fallas en un tiempo determinado (fallas/año) Consecuencia = a + b; Siendo: a = Impacto operacional x flexibilidad operacional b = Costo de mantenimiento + Impacto en Seguridad Ambiente e Higiene (SHA)

Fuente: Ariza Rincón, (2008).

Es preciso indicar que, al momento de evaluar la criticidad de un equipo, tener en cuenta que tienen una serie de respuestas con ponderaciones diferentes, para ello será

importante la información de base de datos almacenados en CMMS (software de mantenimiento), lo cual complementará las respuestas a las preguntas del activo físico a evaluar: Frecuencia de falla, flexibilidad operacional, impacto operacional y costos de mantenimiento.

Tabla N° 6
Criterios de evaluación de las criticidades

FRECUENCIA DE FALLAS	PONDERACIÓN
Una falla máxima por día	4
Una falla máxima por semana	3
Una falla máxima por trimestre	2
Menos de una falla por año	1
FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	PONDERACIÓN
No existe opción de producción y no hay función de repuesto	4
Hay opción de opción de repuesto compartido/almacén	2
Función de repuesto disponible	1
IMPACTO OPERACIONAL	PONDERACIÓN
Pérdida de toda la operación	10
Parada del sistema o subsistema y tiene repercusión en otros sistemas	7
Impacto en niveles de inventario o calidad	4
No generar ningún efecto significativo sobre la operación y producción	1
IMPACTO EN SEGURIDAD, AMBIENTE E HIGIENE	PONDERACIÓN
Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere de notificación a entes externos de la organización	8
Afecta el ambiente e/o instalaciones	7
Afecta instalaciones causando daños severos	5
Provoca daños menores en seguridad y ambiente	3
No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones y ambiente	1
COSTO DE MANTENIMIENTO	PONDERACIÓN
Mayor o igual a US 7.000	2
Inferior a US 7.000	1

Fuente: Ariza Rincón, (2008).

Comentario: las ponderaciones están alineadas de acuerdo con la visión y misión de la organización, así como las políticas de seguridad, higiene y medio ambiente.

Los criterios, parámetros e información que se utilizan para el diseño de tablas de ponderación y el cálculo de los valores de criticidad de los sistemas/componentes de un activo son:

Tabla N° 7

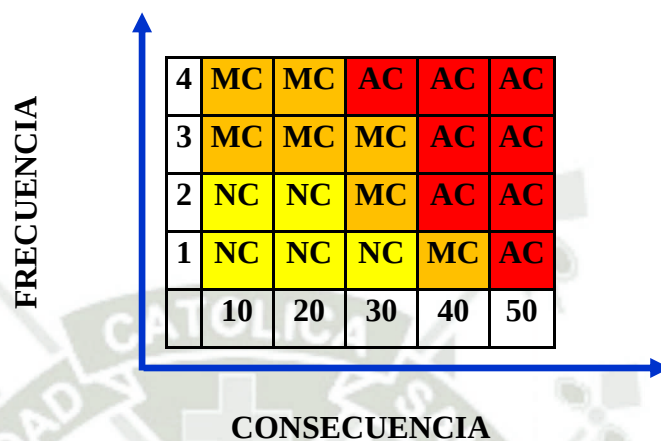
Cuadro de criterios para la elaboración de tablas de ponderación y cálculo de valores de criticidad

CRITERIO	DESCRIPCIÓN
Frecuencia de fallas	Representa las veces que falla cualquier componente del sistema que produzca la pérdida de su función total o parcial, es decir, que implique una parada en un período de un año.
Impacto operacional	Es el porcentaje de producción que se afecta cuando ocurre la falla.
Costo de mantenimiento	Costos de materiales, repuestos y mano de obra. La información que se requiere para obtener los valores de ponderación se encuentra registrada en la base de datos de CMMS.
Flexibilidad operacional	En caso de falla, que opción producción puede llevar a cabo, además del grado de disponibilidad de repuesto para atender la emergencia de la falla causante de la pérdida de función.
Impacto en seguridad	Posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños a personas, instalaciones y otros equipos.
Impacto ambiental	Posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños al medio ambiente.

Fuente: Ariza Rincón, (2008).

A continuación, se describe el proceso de elaboración de una Matriz de Criticidad, donde los resultados se ubican ordenadamente de mayor a menor grado de criticidad de los sistemas/componentes analizados en la lista ponderada:

Figura N° 8
Matriz de criticidad



Fuente: Ariza Rincón, (2008).

Los sistemas se clasifican en:

NC = No Críticos

MC = Mediana Criticidad

AC = Alta Criticidad

Tabla N° 8
Colores utilizados en la matriz de criticidad

	No crítico
	Mediana Criticidad
	Alta Criticidad

Fuente: Ariza Rincón, (2008).

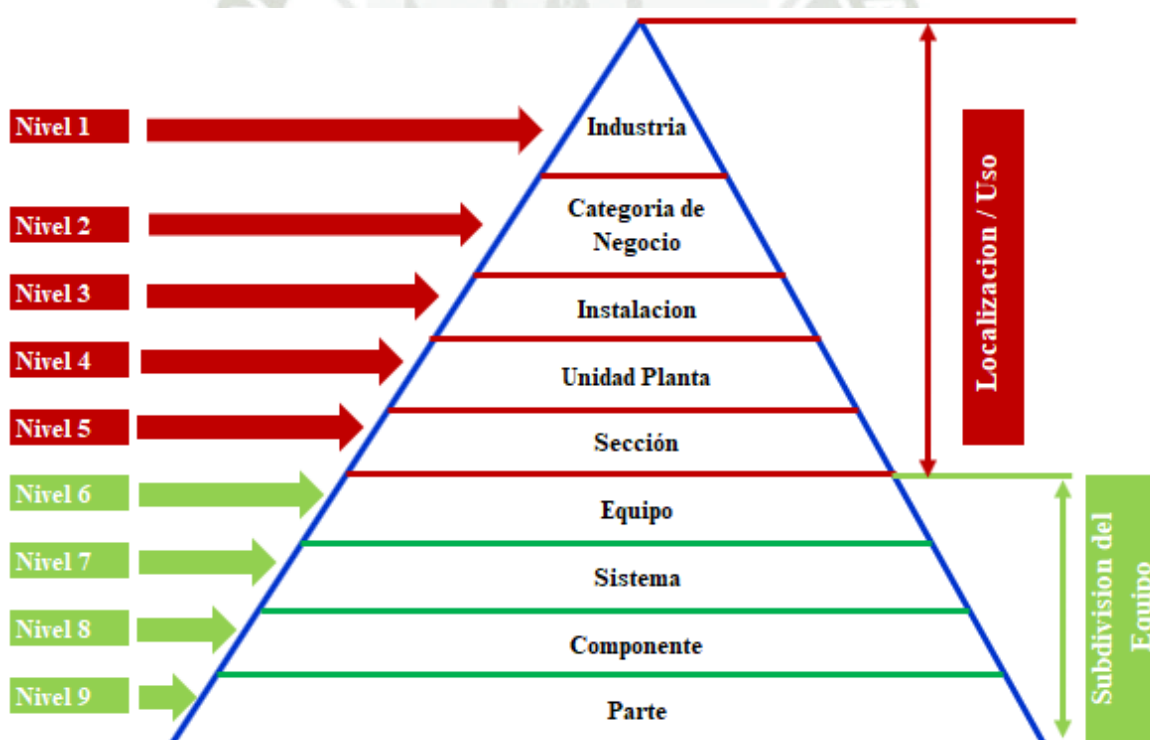
1.10. TAXONOMÍA DE LOS EQUIPOS

La norma ISO 14224 define a la taxonomía como:

“Una clasificación sistemática de ítems en grupos genéricos, basándose en factores posiblemente comunes a varios de los elementos (ubicación, uso, equipo de subdivisión etc.). Comúnmente también son llamados árboles de equipos, por su característica jerarquizada de acceder a un activo” (International Organization For Standarization, 2004, págs. 44-45).

El siguiente esquema ilustra la pirámide de taxonomía utilizada por la Norma ISO 14224, para crear la taxonomía de los equipos, sistema, componentes, partes y su localización:

Figura N° 9
Pirámide de taxonomía



Fuente: International Organization For Standarization, ISO 14224 (2004)

Los Niveles 1 a 5 son una categorización alta que se relacionan con industrias. Debido a que se analiza la confiabilidad del equipo en función de toda la planta. Los Niveles 6 a 9 están relacionados con la unidad de equipo y con la subdivisión del mismo. El

número de niveles para la subdivisión dependerá de la complejidad de la unidad y/o equipo y también en función del uso. Es muy importante considerar estos niveles para la implementación de la estrategia RCM y así asegurar una buena confiabilidad, disponibilidad y uso del equipo. (International Organization For Standarization, 2004, págs. 44-45)

1.11. TEORÍA DE FALLAS DE MANTENIMIENTO.

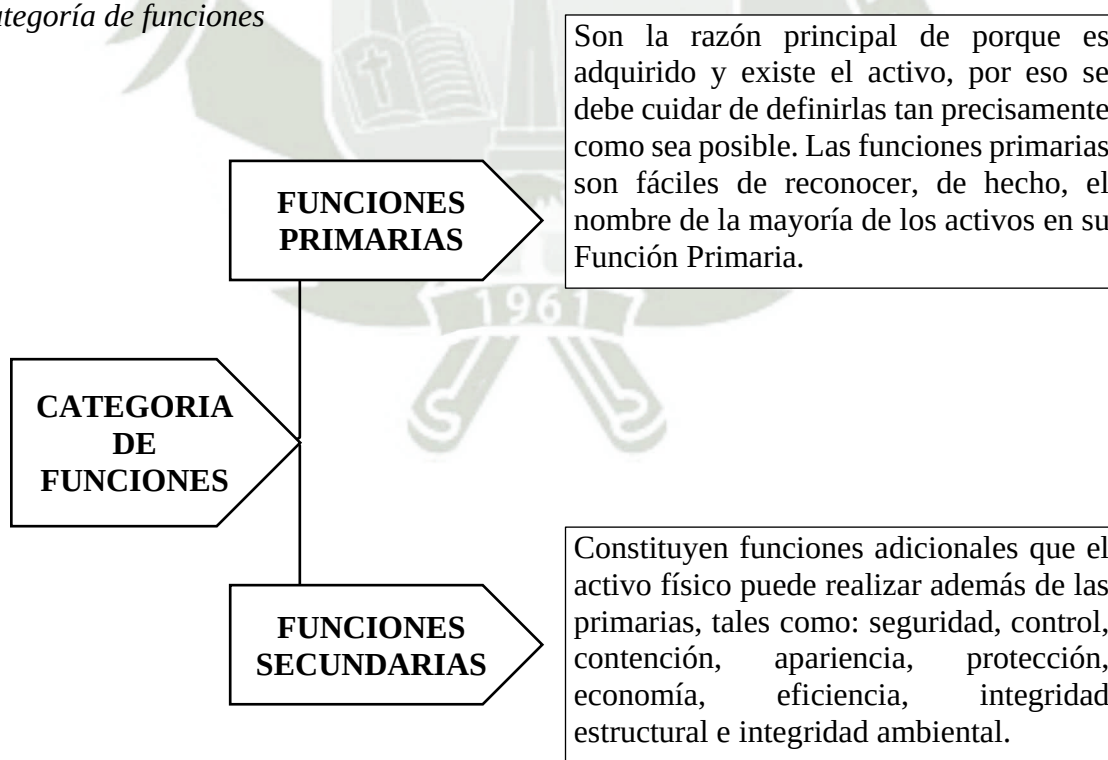
1.11.1. FUNCIONES.

John Moubray define en su libro RCM II que una función es “Lo que los usuarios esperan que los activos sean capaces de hacer” (Moubray, 2004, pág. 7).

Conforme a esta definición podemos indicar que una función en mantenimiento es un propósito o la misión de un activo físico en un contexto operacional específico y debe atender lo que el dueño o usuario desea que realice un activo físico o sistema, lo cual debe consistir en un verbo, un objeto y un parámetro de funcionamiento.

Existen dos tipos de Funciones según su categoría:

Figura N° 10
Categoría de funciones



Fuente: Ariza Rincón, (2008).

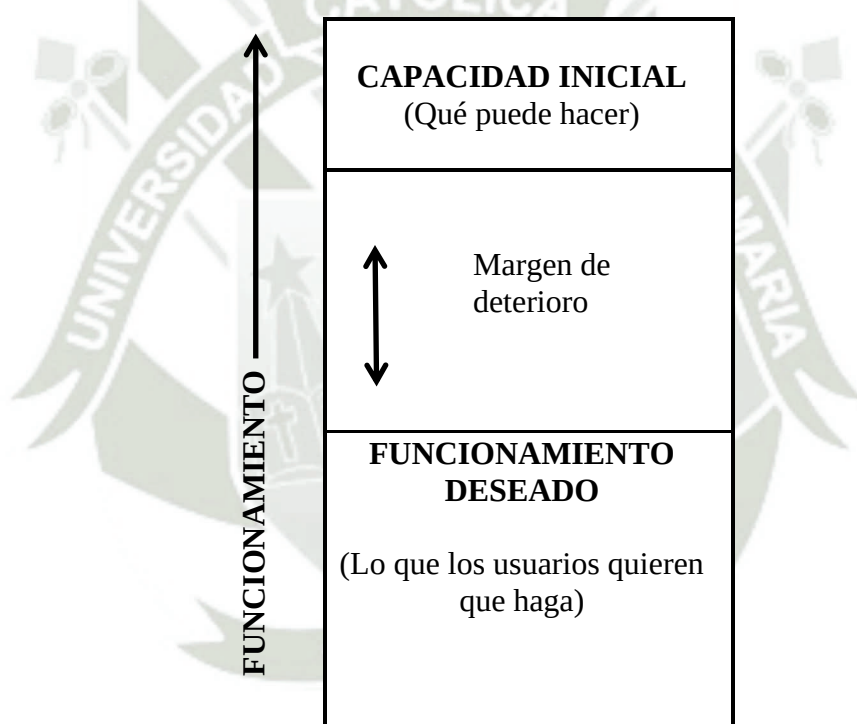
1.11.2. ESTÁNDARES DE FUNCIONAMIENTO

Según definición de John Moubray en su libro RCM II, un estándar de funcionamiento en mantenimiento es: “La magnitud de aquello que los usuarios quieren que el activo haga, con un estándar mínimo de funcionamiento” (Moubray, 2004, pág. 23).

En la figura N° 10 se ilustra la existencia de una relación correcta entre la capacidad inicial y el funcionamiento deseado con un margen de deterioro:

Figura N° 11

Relación entre la capacidad inicial y el funcionamiento deseado



Fuente: Moubray, (2004)

1.11.3. CONTEXTO OPERACIONAL

En la ingeniería de mantenimiento el contexto operacional se define como: “El Indicador de las condiciones de operación del activo, y afecta a todo el proceso de formulación de estrategias de mantenimiento, comenzando por la definición de Funciones” (Vasquez, 2008, págs. 40-44).

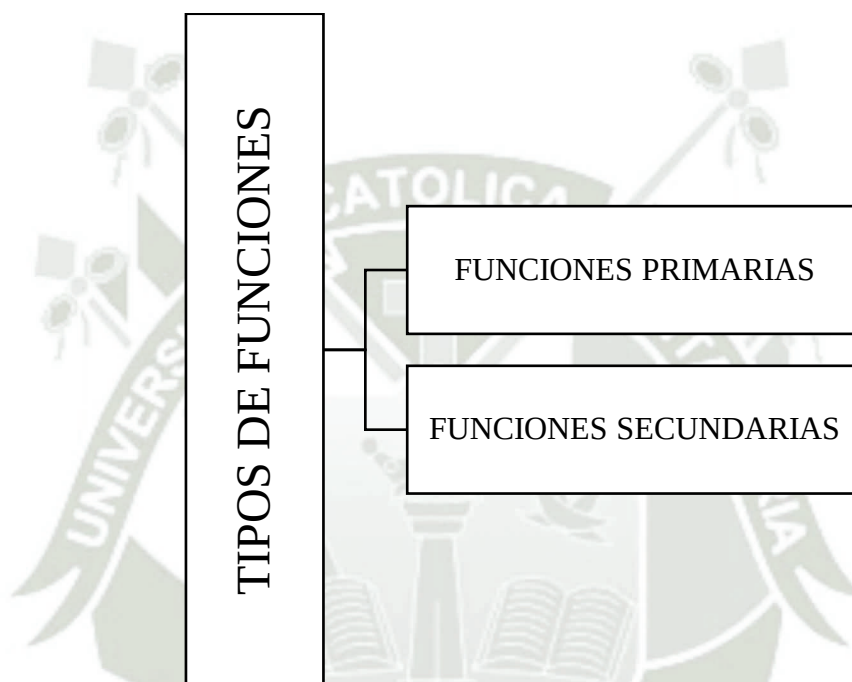
Es una condición primordial tener conocimiento bastante claro sobre el contexto operacional del activo físico, antes de la implementación de la estrategia RCM.

1.11.4. TIPOS DE FUNCIONES

Existen dos categorías de Funciones de un activo físico (equipo), en la figura N° 12 se ilustra el detalle del diagrama.

Figura N° 12

Tipos de funciones de un equipo



Fuente: (Moubray, 2004, págs. 37-39)

Comentario: El mantenedor deberá garantizar la confiabilidad operacional de la función primaria, ya que cuando el equipo presenta alguna falla mecánica, eléctrica, hidráulica, etc. afecta directamente a la capacidad de producción del activo físico.

En la tabla N° 9 se detallan los conceptos y definiciones de Funciones Primarias, secundarias; tipos de Funciones primarias y secundarias.

Tabla N° 9

Funciones primarias y secundarias

TIPOS DE FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
FUNCIÓN PRIMARIA	Se conocen como Funciones primarias por ser la razón principal por la que es adquirido el activo físico. Son las razones por las cuales existe el activo, por lo que debemos definirlos tan precisamente como sea posible. Para la mayoría de los tipos de equipo los parámetros de funcionamiento asociados a las Funciones primarias tienen que ver con velocidad, volumen, y capacidad de almacenamiento. Por lo general también necesita considerarse en esta etapa la calidad del producto. FUNCIONES PRIMARIAS MÚLTIPLES E INDEPENDIENTES. Un activo puede tener más de una función primaria. En casos como este, ambas Funciones deben listarse en las especificaciones funcionales. FUNCIONES PRIMARIAS DEPENDIENTES O EN SERIE Puede encontrarse activos que son capaces de realizar hacer dos o más Funciones primarias en serie. Éstas son conocidas como Funciones en serie. Se denominan Funciones Secundarias aquellas que complementan a la función Primaria. Las Funciones secundarias frecuentemente necesitan tanto o más mantenimiento que las Funciones primarias, por lo que también deben ser claramente identificadas.
TIPOS DE FUNCIONES PRIMARIAS	
FUNCIONES SECUNDARIAS	

Fuente: Siles Nates, (2014).

Tabla N° 10

Funciones primarias y secundarias (continuación)

TIPOS DE FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
TIPOS DE FUNCIONES SECUNDARIAS	ECOLOGÍA. Las expectativas medioambientales de la sociedad se han vuelto un factor crítico del contexto operacional de muchos activos. RCM comienza el proceso de cumplimiento de los estándares asociados con la definición de Funciones, expresándolos apropiadamente.
	SEGURIDAD La gran mayoría de los usuarios quieren estar razonablemente seguros de que sus máquinas no le causarán ningún daño y menos aún la muerte. En la práctica, la mayoría de los riesgos para la seguridad surgen más adelante en el proceso RCM cuando se analizan los modos de fallas.
	INTEGRIDAD ESTRUCTURAL Este tipo de Funciones por lo general comprenden Funciones como la de sostener otro activo, otro subsistema u otro componente.
	CONTROL En muchos casos, los usuarios no sólo quieren que los activos cumplan con sus Funciones con un determinado estándar de funcionamiento, sino que también desean poder regular dicho funcionamiento. Estas expectativas se extractan en Funciones separadas. Las formas de medición o de feedback son un subconjunto importante de las Funciones de control. Estas incluyen Funciones que dan al operador información en tiempo real de las condiciones del proceso (manómetros, indicadores, axiómetros y paneles de control), o que registran dicha información para un análisis posterior (dispositivos de grabación análogos o digitales, cajas negras de aviones, etc.). Los estándares de funcionamiento asociados con estas funciones no sólo se relacionan con la facilidad con la que se podría leer y asimilar o recuperar la información, sino que también se relacionan con hacerlo con precisión.
	CONTENCIÓN En el caso de activos usados para almacenar cosas, su función primaria será la de contener lo que sea que se almacene. No obstante, la contención podría considerarse también como una función secundaria de todos los dispositivos usados para transferir material de cualquier tipo -especialmente fluidos. Estos pueden ser cañerías, bombas, cintas transportadoras, tolvas, silos y sistemas hidráulicos y neumáticos. La contención también es una función secundaria importante en ítems como cajas reductoras y transformadores.
	CONFORT La mayoría de las personas esperan que sus activos no les causen ansiedad, molestia o incomodidad. La función "confort" contiene este tipo de expectativas.

Fuente: Siles Nates, (2014).

Tabla N° 11

Funciones primarias y secundarias (continuación)

TIPOS DE FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
TIPOS DE FUNCIONES SECUNDARIAS	ECONOMÍA/EFICIENCIA Cualquiera que usa un activo de la clase que sea, tiene recursos financieros finitos. Esto los lleva a poner un límite a lo que están preparados a gastar en su operación y mantenimiento. Desde el punto de vista del contexto operativo, las expectativas funciones relativas a los costos usualmente se expresan como presupuesto de gastos. Desde el punto de vista del activo, las cuestiones económicas pueden incluirse directamente en la definición de Funciones que definirán las expectativas de los usuarios en relación con temas como la economía de combustible y la pérdida de material en proceso.
	FUNCIONES SUPERFLUAS A veces se encuentran ciertos componentes u objetos que son completamente superfluas. Esto pasa por lo general cuando el equipo se ha modificado frecuentemente a lo largo del tiempo, o bien cuando el equipo fue sobre especificado. Muchas veces se argumenta que estos componentes no molestan para nada y que cuesta dinero sacarlos de donde están, con lo que la solución más simple podría ser dejarlos hasta que se desarme toda la planta. Desafortunadamente, en la práctica esto es verdad en contadas ocasiones. A pesar de que estos componentes no tengan una función positiva, aún pueden fallar y por lo tanto reducir la confiabilidad de toda la planta. Para evitar esto, necesitan mantenerse, lo que significa que aún consumen recursos.
	APARIENCIA En muchos activos la apariencia engloba una función secundaria específica. Por ejemplo, la función primaria de una pintura en la mayoría de los equipos industriales es la de protegerlos de la corrosión, pero los colores brillantes pueden usarse para aumentar la visibilidad por razones de seguridad.
	PROTECCIÓN A medida que los activos físicos se vuelven más complejos, la cantidad de formas en las que pueden fallar crece de forma casi exponencial. Esto trajo aparejado un crecimiento en la variedad y la severidad de las consecuencias de las fallas. Para eliminar (o al menos reducir) estas consecuencias, cada vez se usan más dispositivos de protección automáticos.

Fuente: Siles Nates, (2014).

1.12. FALLAS FUNCIONALES

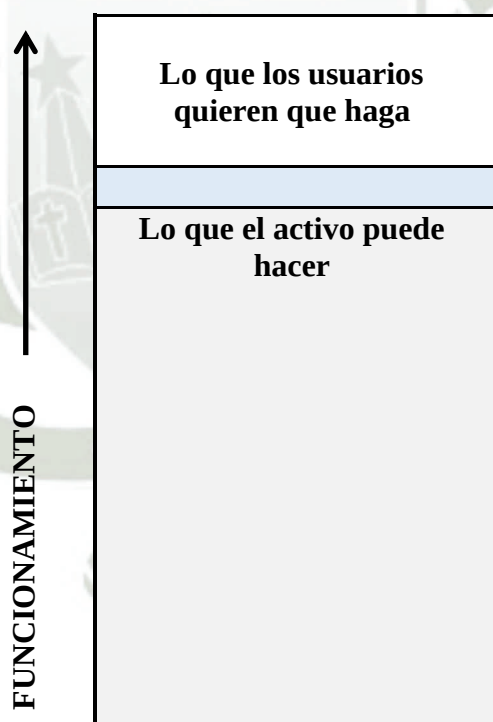
1.12.1. CONCEPTO DE FALLA

En su libro RCM II, John Moubray define que la Falla es: “La incapacidad de cualquier activo de hacer aquello que sus usuarios quieren que haga” (Moubray, 2004, pág. 7).

Con la premisa de esta definición certificamos que “una falla es la incapacidad de cualquier activo de hacer aquello que sus usuarios quieren que haga, también se define en términos de **“pérdida de una función específica”** y no como la **“falla del activo como un todo”** (Lopez Miranda, 2016, pág. 56).

En la figura N° 13 se ilustra el estado general de la falla:

Figura N° 13
Estado general de falla



Fuente: Moubray, (2004)

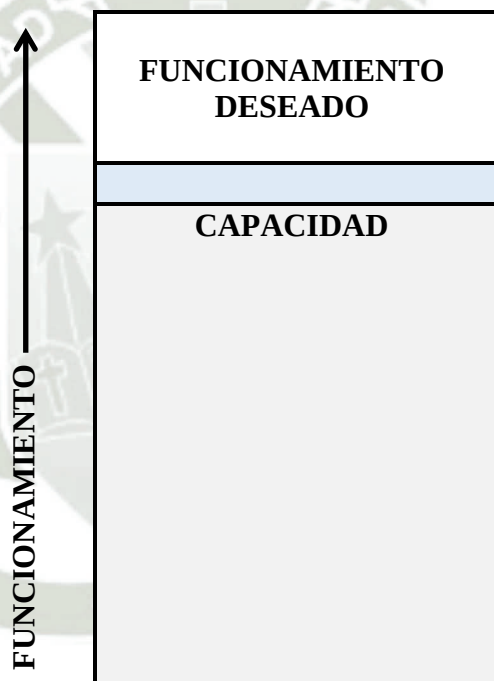
1.12.2. CONCEPTO DE FALLA FUNCIONAL

En el libro RCM II, John Moubray define una falla funcional como: “La incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario” (Moubray, 2004, pág. 50).

Asimismo, también definimos que una falla funcional es como: “La pérdida total de una función o también puede ser en las que el comportamiento funcional queda al margen de los parámetros de funcionamiento establecidos”. (Vasquez, 2008, págs. 40-44).

Resumiendo, los conceptos anteriores afirmamos que las fallas funcionales son: Un estado de falla, el cual ocurre cuando un activo/sistema es incapaz de cumplir su función a un parámetro de rendimiento que sea aceptable para el usuario, es decir tiene incapacidad de funcionar/operar (equipo inoperativo).

Figura N° 14
Falla funcional



Fuente: Moubray, (2004)

Cuando existe o se presenta una falla funcional, el objetivo principal del RCM deja de ser lo que los usuarios desean que hagan, las fallas solamente son identificadas luego de definir las Funciones y parámetros de funcionamiento del activo. Por lo que se puede inferir que pueden existir varias fallas funcionales para una sola función, y estas deben de ser registradas. (Siles Nates, 2014, pág. 197)

1.12.3. ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA Y SUS EFECTOS

Es fundamental tener en cuenta que una vez examinado cada falla funcional, la siguiente fase es identificar los eventos que causan los estados de falla, los cuales son conocidos como modos de falla (causa de la falla) y se explican como: *“Las causas de la pérdida de una función”* (Ariza Rincón, 2008, pág. 69).

Sin embargo, es muy impreciso utilizar el término **“falla”** a un activo físico de manera general. Es mucho más exacto diferenciar entre una **“falla funcional”** (una ocasión de falla) y un **“modo de falla”** (un evento que puede causar una ocasión de falla), esta diferencia lleva a una definición más exacta de un modo de falla **“es cualquier evento que causa una falla funcional”**.

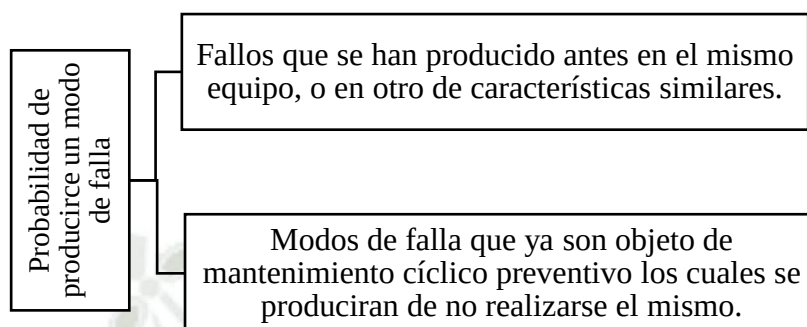
Es elemental que en la descripción de un modo de falla debe haber un sustantivo y un verbo lo cual debe ser explícito para poder seleccionar una tarea de mantenimiento apropiado para el manejo de la falla, tampoco no se debe perder mucho tiempo en el proceso del análisis.

En el análisis de la lista de modos de falla se debe tener mucho cuidado en no confundir las causas con los efectos, a veces ocurre esto con la gente que es nuevo en procesos de aplicación de RCM. Por lo tanto, un efecto de falla es lo que ocurre al producirse cada modo de falla, estos modos de falla deben incluir información detallada para ayudar en la evaluación de las consecuencias de las fallas.

A continuación, se ilustra una probabilidad razonable de producirse un modo de falla:

Figura N° 15

Probabilidad razonable de producirse un modo de falla



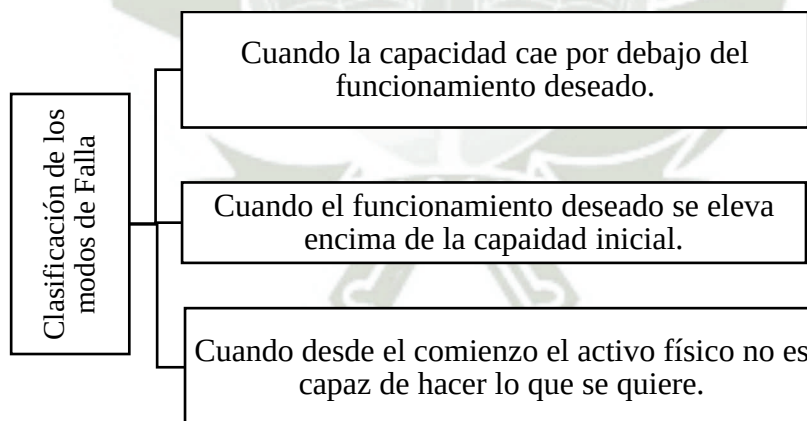
Fuente: Moubray, (2004)

1.12.4. CATEGORÍAS DE MODOS DE FALLA

Cuando la capacidad de producción cae por debajo de lo especificado y/o no cumple lo que el usuario desea que haga el activo es un modo de falla que presenta el equipo, a continuación, se ilustra la clasificación de los modos de falla:

Figura N° 16

Clasificación de modos de falla



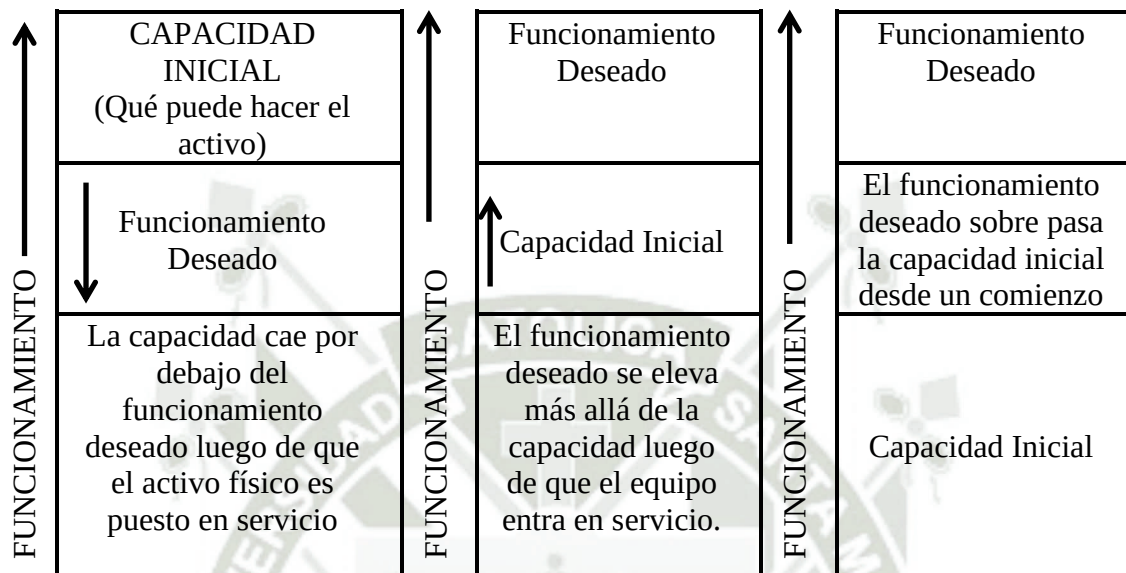
Fuente: Siles Nates, (2014).

Para aplicar una estrategia de mantenimiento perfecto y asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que los usuarios quieren que haga es importante tomar en cuenta todos los eventos de falla que tienen probabilidad de amenazar esta funcionalidad.

En la figura N° 17 se muestra el comportamiento de los modos de falla según su categoría.

Figura N° 17

Categoría de los modos de falla



Fuente: Siles Nates, (2014).

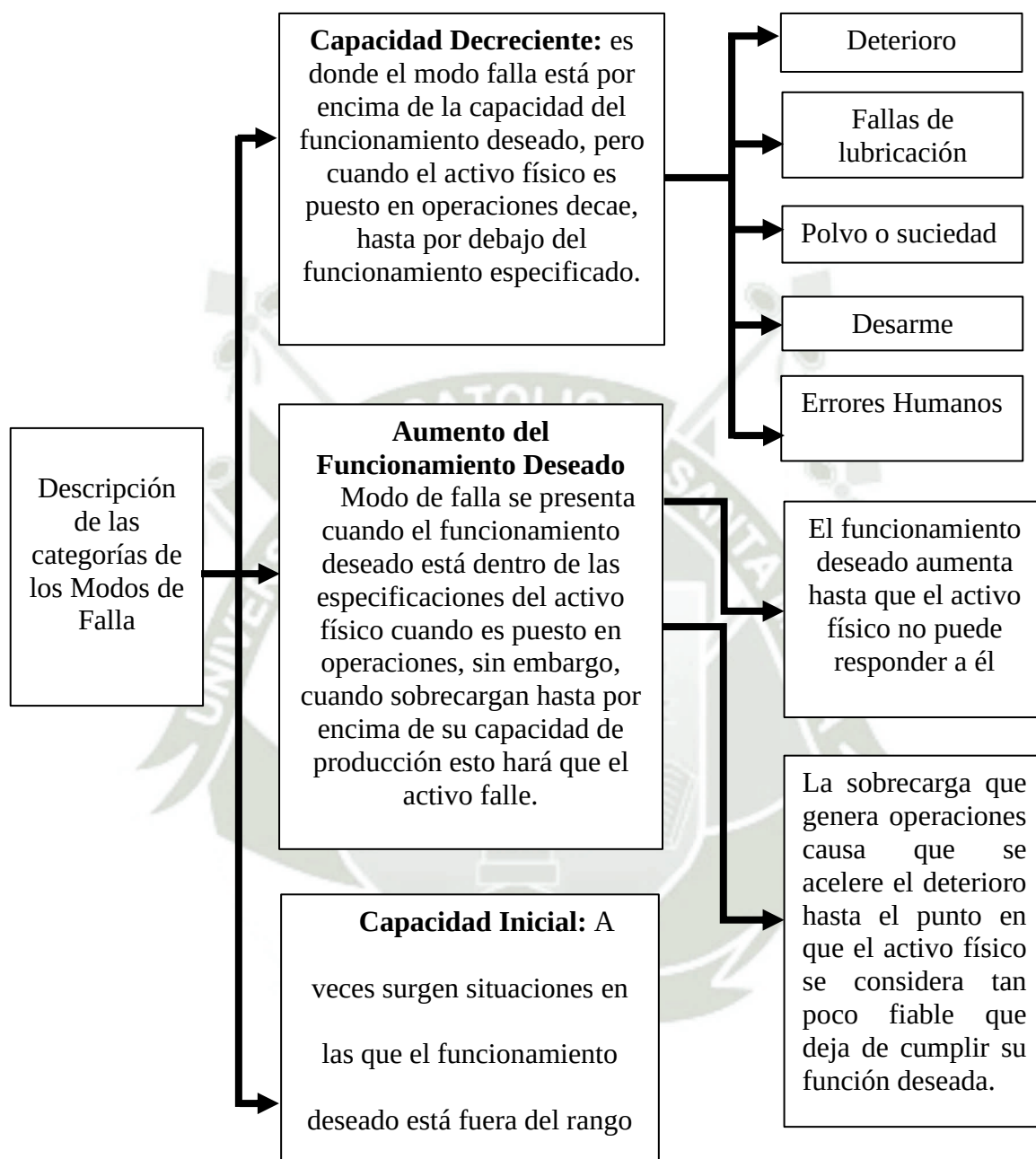
Comentario: La fuente para analizar los modos de falla son el historial de fallas de cada activo por componentes que se encuentra en CMMS y los técnicos mecánicos que están con el día a día del activo físico.

Los modos de falla deberán ser analizadas al detalle y no deben ignorarse como por ejemplo errores humanos o de diseño.

En la Figura N° 17 se visualiza el diagrama de la descripción principal sobre las categorías de los modos de Falla:

Figura N° 18

Descripción de las categorías de los modos de falla



Fuente: Siles, (2014).

1.12.5. DETALLES DE LOS MODOS DE FALLA

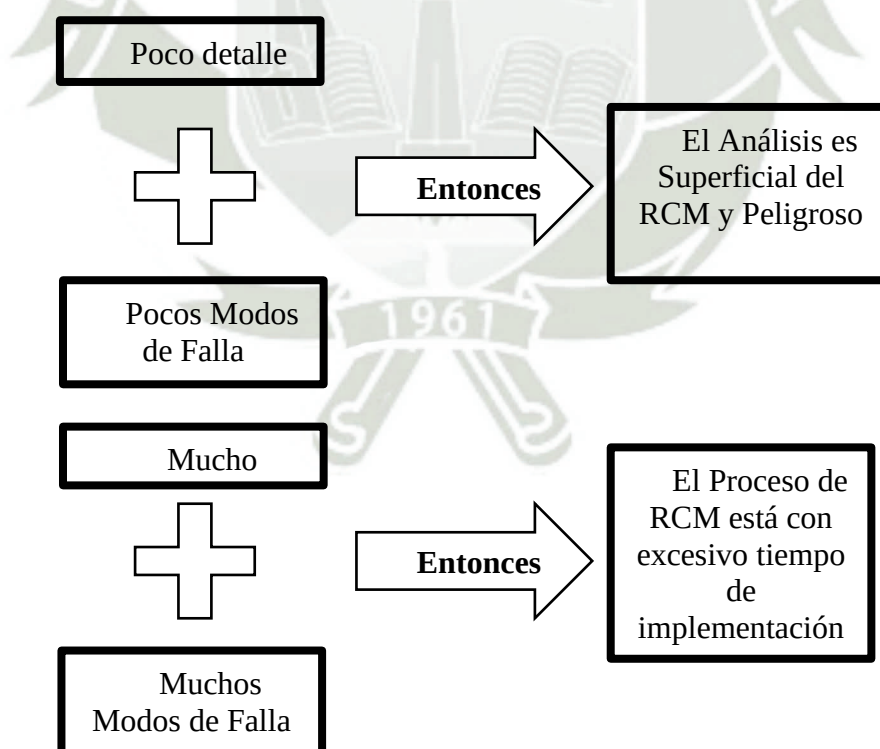
A veces en la práctica del mundo real es muy difícil encontrar un nivel de detalle adecuado, sin embargo, es primordial ubicarlo ya que el grado de detalle afecta la validez del AMEF y la cantidad de tiempo que demande hacerlo, ya que al hacer sin detalles y pocos modos de falla puede llevar a un análisis superficial y hasta de algún modo riesgoso. El detalle no debe exceder en tiempo y en análisis ya que el proceso de análisis se triplicaría más de lo necesario.

John Moubray en su libro RCMII responde a la pregunta ¿Cuánto Detalle?: “Los modos de falla deben ser definidos con el detalle suficiente como para posibilitar la selección de una adecuada política de manejo de falla” (Moubray, 2004, pág. 68).

“El nivel de detalle es un factor importante ya que involucra la validez del AMEF y el tiempo que toma realizarlo. Ante este detalle se pueden presentar dos casos” (Siles Nates, 2014, pág. 200).

Figura N° 19

Cuadro de efectos de detalles



Fuente: Moubray, (2004)

Referente la **causalidad** de cualquier falla funcional puede ser definida casi a cualquier nivel de detalle y aplicarse en diferentes niveles y distintas situaciones por lo que no es suficiente resumir una falla como “falla la máquina”. A medida que los modos de falla sean descritos y ubicados en los diferentes niveles se encontrarán las diversas formas en los que un sistema/componente podría sufrir una falla funcional.

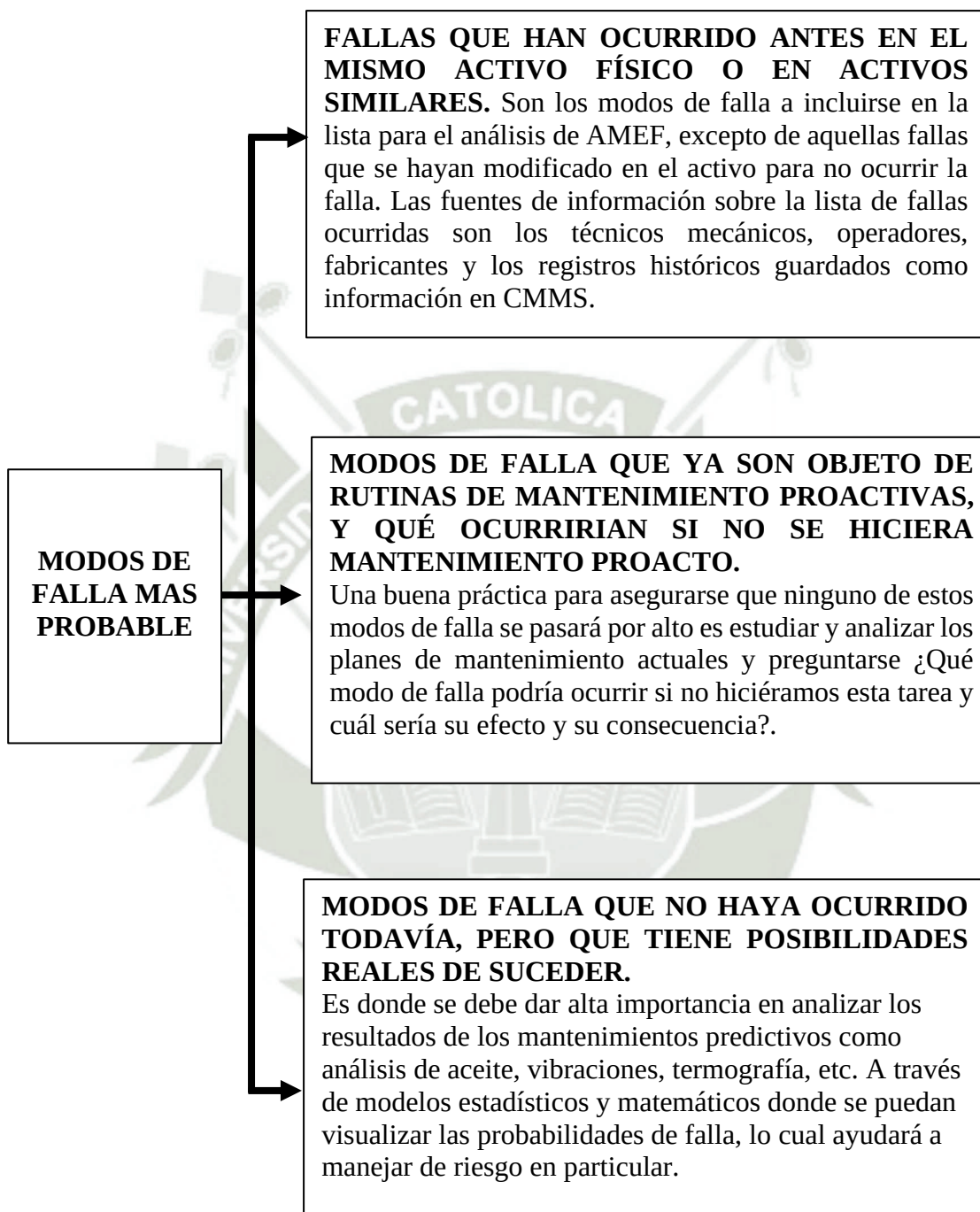
La **causa raíz** del modo de falla implica ahondar lo suficiente como para llegar a la causa final, es importante involucrar al personal de operaciones con la finalidad de minimizar las consecuencias de los eventos de fallas sobre seguridad, medio ambiente y producción para asegurar la mayor confiabilidad operacional. Para tener éxitos en análisis de causa raíz es necesario tener una política adecuada para el manejo de fallas cuyo objetivo es minimizar el impacto de las fallas y maximizar la confiabilidad de los activos físicos.

El **Error Humano** en RCM debe ser considerado parte del análisis de los modos de falla, lo cual es relacionado con la confiabilidad humana y se define como la probabilidad de desempeño eficiente y eficaz de los técnicos de mantenimiento en todos los procesos sin cometer errores o fallas derivadas del error humano.

John Moubray cita en su libro RCMII lo siguiente: “Cuando se listan modos de falla, no debe tratarse de listar todos y cada uno de ellos ignorando la probabilidad de ocurrir que tiene cada uno” (Moubray, 2004, pág. 73). Por lo que se recomienda que solamente deben listarse aquellos modos de falla con probabilidades razonables de ocurrir en un contexto operacional determinado, la lista de probables fallas debe contener lo siguiente:

Figura N° 20

Modos de fallas más probables



Fuente: Siles, (2014).

Comentario: Para tener una probabilidad de ocurrencia de un modo de fallo es importante aplicar la ingeniería de confiabilidad, considerando el factor operacional del activo físico.

1.12.6. FUENTES DE INFORMACIÓN SOBRE MODOS DE FALLA

Las fuentes de información referente los modos de falla comunes son:

El fabricante o representante comercial de la marca del equipo, en el caso del presente estudio la fuente de información en cuanto a fallas lo tomamos del sistema de información Caterpillar (SIS-WEB) lo cual es facilitado por la empresa Ferreyros S.A.A. representante Caterpillar en el Perú.

Listas genéricas de modos de falla, son preparadas por terceros y/o consultores que se dedican a servicios de mantenimiento quienes cuentan con una base de datos con los modos de falla de equipos similares en cuanto a familia/modelo, sin embargo, es importante considerar el contexto operacional y los parámetros de funcionamiento de cada activo al momento de utilizar esta información.

Otros usuarios de la misma maquinaria, las empresas que cuentan con activos de usos comunes y/o similares son una fuente de información valiosa en cuanto a modos de falla, pero es importante analizar los peligros de la información genérica al contemplar estas fuentes de información. Lo ideal sería intercambiar información entre mantenedores al momento de hacer el análisis de modos de falla.

Registro de antecedentes técnicos, son fuentes de información valiosa, sin embargo, su utilización merece tener bastante atención por varias razones: Datos incompletos, describen lo que fue hecho para reparar en vez de lo que la causó, generalmente describen modos de falla que en realidad son efecto de alguna otra falla.

Personal técnico de mantenimiento y operadores, es la mejor fuente de información fidedigna para preparar un AMEF son los funcionarios que pasan el día a día y mantienen los equipos, conocen los modos de falla y qué importancia tiene cada falla y además saben que debe hacerse para repararla. Son las personas que más conocen el funcionamiento del equipo por lo que es fundamental que participen en la preparación del AMEF como parte del proceso RCM.

Sin embargo, las fuentes de información citados en este trabajo no son las absolutas ni las únicas ya que es mucho más importante tomar en cuenta el contexto operacional y los parámetros de funcionamiento de cada activo.

1.12.7. EFECTOS DE FALLA

El efecto de falla es lo que ocurre al producirse un modo de falla de un componente/sistema de un activo físico, es la causa inmediata. Tener bien claro la diferencia de efecto y consecuencia, siendo que el efecto de falla responde a la pregunta “**¿Qué ocurre?**”, mientras una consecuencia de falla responde la pregunta “**¿Qué importancia tiene?**”. Sin embargo, es preciso listar los efectos de modos de falla que incluya información necesaria para ayudar en la evaluación donde conste lo siguiente:

- La evidencia (si lo hubiera) de que se ha producido una falla. En qué forma (si la hay) la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente. Las maneras (si las hubiera) en que afecta a la producción o a las operaciones. Los daños físicos (si los hubiera) causados por la falla. (Moubrey, 2004, pág. 77)
- Que tarea de mantenimiento se debe hacer para reparar y/o mitigar la falla como acción correctiva.

1.12.8. CONSECUENCIAS DE FALLA

La consecuencia de falla responde a la pregunta **¿En qué sentido es importante cada falla?**, cada falla que ocurre en un activo físico afecta de alguna manera a la organización que lo utiliza, algunas afectan directamente a la producción, calidad del producto y/o servicio, riesgo para seguridad o el medio ambiente, asimismo incrementan costos operativos y mantenimiento. Entonces podemos alertar que una consecuencia de falla puede tener consecuencias negativas en los resultados financieros de la organización. Por lo tanto, “Una tarea proactiva merece la pena si reduce las consecuencias del modo de falla asociado a un grado tal que justifique los costos directos e indirectos de hacerla” (Moubrey, 2004, pág. 95).

El grado de seriedad e importancia de cada consecuencia de falla será tratado con tareas proactivas de mantenimiento para evitar, eliminar o minimizar sus consecuencias. Las tareas de mantenimiento proactivo deben ser físicamente posibles de realizar que reduzca las consecuencias de la falla al punto que sea tolerable del usuario del equipo, por lo tanto esta tarea se considera técnicamente factible.

El proceso RCM clasifica a cuatro grupos las consecuencias de los modos de falla:

- **Consecuencias de fallas ocultas**, algunas consecuencias de modos de falla podrían ser serias y hasta catastróficas, el operario no lo visualiza con facilidad

estos modos de falla bajo circunstancias normales de operación. Las fallas ocultas se presentan particularmente en los dispositivos de seguridad. Por lo tanto, es importante tener un programa de mantenimiento cuya función sea prevenir o al menos reducir la probabilidad de falla asociada.

- **Consecuencias para seguridad y el medio ambiente**, es importante analizar y tomar atención las consecuencias de un modo de falla que afecte a la seguridad de las personas, generando accidentes, causando lesiones y hasta fatales. Asimismo, un modo de falla por ruptura de una manguera hidráulico de algún componente donde circula un fluido puede generar aspectos e impactos medio ambientales. Una infracción a las normas ambientales (ISO14001) y de seguridad (ISO18001) podría generar no conformidades y multas con sanciones económicas por parte de la entidad supervisora a la organización.
- **Consecuencias operaciones**, es cuando una falla afecta directamente a la producción y operaciones en los siguientes procesos: volumen de producción total, servicio al cliente, aumento de costo operacional sumando este costo adicional al costo directo de la reparación.
- **Consecuencias no operacionales**, los modos de fallas evidentes que caen dentro de esta categoría, no afecta a la producción ni a la seguridad, sin embargo, es importante analizar cuánto cuesta cada vez que ocurre una falla, si a lo largo de un periodo de tiempo cuesta menos que el costo de las consecuencias operacionales más el costo de reparar la falla que pretende evitar, vale la pena realizar tareas de mantenimiento proactivo.

1.13. FUNCIONES OCULTA Y EVIDENTE

Una función evidente es aquella cuya falla final e inevitablemente será evidente por sí sola a los operadores en circunstancias normales de operación, asimismo todo activo tiene más de una función y cuando la mayoría de estas Funciones fallan, se hace inevitablemente evidente que ha ocurrido una falla.

John Moubray en su libro RCMII describe “Una función oculta es aquella cuya falla no será evidente a los operadores en circunstancias normales, si se produce por sí sola” (Moubray, 2004, pág. 97).

Dentro del proceso RCM es básico separar las Funciones ocultas de las evidentes ya que las ocultas necesitan de una atención especial, siendo estas Funciones asociadas a

dispositivos de seguridad, en la actualidad hay equipos complejos y modernos que cuentan con estas Funciones ocultas por lo que el área de mantenimiento debe conocer y plantear tareas de mantenimiento que minimicen los efectos y consecuencias de las fallas derivado de las Funciones ocultas.

1.14. TAREAS PROACTIVAS

Son tareas de mantenimiento que se efectúan antes que ocurra una falla con la finalidad de prevenir que el sistema o componente del activo llegue a un estado de falla. En la actualidad estas tareas son conocidas como mantenimiento predictivo y mantenimiento preventivo. A continuación, se describe desde el punto de vista técnico dos temas para tener en cuenta para la sección de tareas proactivas:

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

1.15. FACTIBILIDAD TÉCNICA Y MERECE LA PENA

Una tarea de mantenimiento proactivo tiene que ver mucho más con evitar o reducir las consecuencias de la falla que con prevenir la falla misma. Vale la pena realizar una tarea proactiva si resuelve adecuadamente las consecuencias de la falla que se pretende evitar (Lopez Miranda, 2016, pág. 101).

El criterio de satisfacer cualquier tarea a condición para ser técnicamente factible podemos resumir de la siguiente manera:

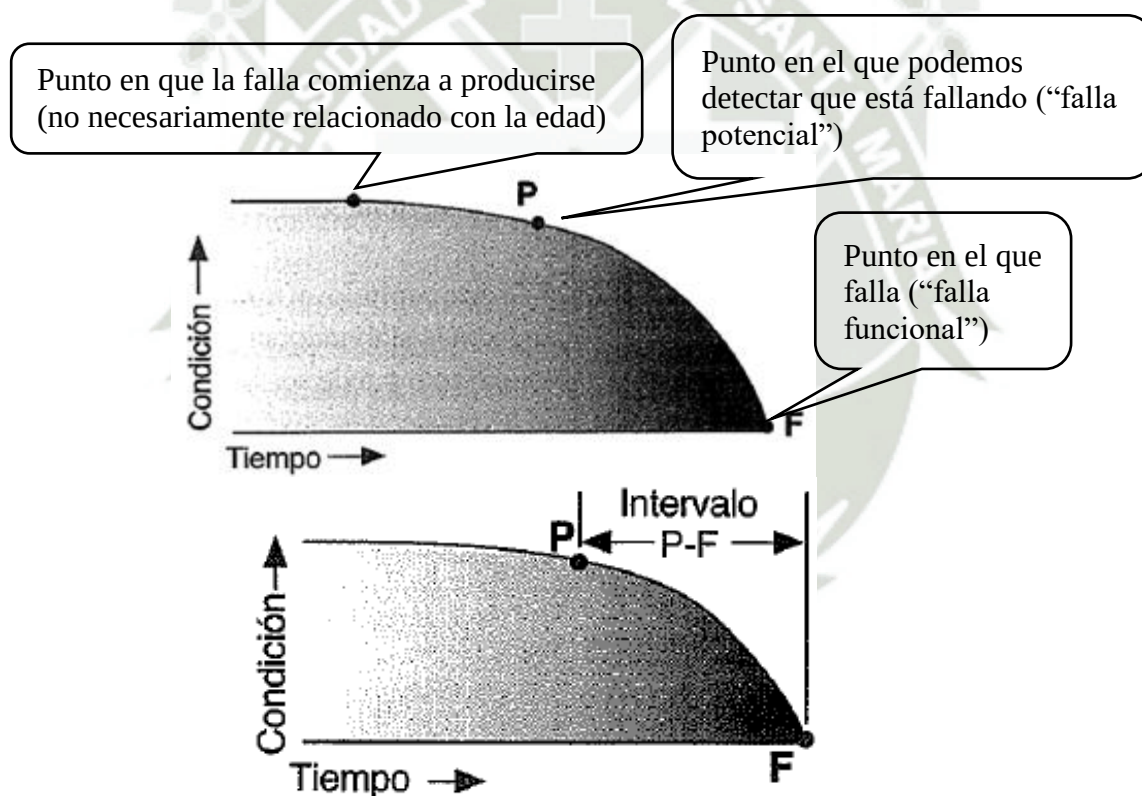
Es posible definir una condición clara de una falla potencial. El intervalo P-F es razonablemente consistente. Resulta práctico monitorear el elemento a intervalos menores al intervalo P-F. El intervalo P-F neto es lo suficientemente largo como para actuar a fin de reducir o eliminar las consecuencias de la falla funcional (Moubray, 2004, pág. 153).

1.16. FALLAS POTENCIALES

Se considera una falla potencial a una condición identificable que nos indica que una falla funcional está en proceso de ocurrencia.

En la figura N° 21 ilustra qué ocurre en las etapas finales de cada falla, es conocido como la curva P-F, porque muestra el proceso desde el punto en que la falla comienza a producirse (no necesariamente relacionado con la edad) y el punto en el que podemos detectar que está fallando (falla potencial) y si no es detectado y corregida continúa al deterioro total hasta llegar al punto de falla funcional del activo.

Figura N° 21
Curva e intervalo P-F



Fuente: Moubray, (2004)

1.17. EL INTERVALO P-F

John Moubray en su libro RCMII define 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" (Moubray, 2004, pág. 149), tal como se ilustra en la figura N° 21 este intervalo nos indica con qué frecuencia deben realizarse las tareas de mantenimiento a

condición. El intervalo P-F también es conocido como el periodo de advertencia, el tiempo que llega hasta la falla.

Es necesario comentar que si se realizan tareas de mantenimiento a condición a intervalos más prolongados que el intervalo P-F, existe la probabilidad de que pasemos totalmente por alto la falla. Por otro lado, si realizamos la tarea a intervalos muy cortos respecto al intervalo P-F, desperdiciaremos recursos en el proceso de inspección.

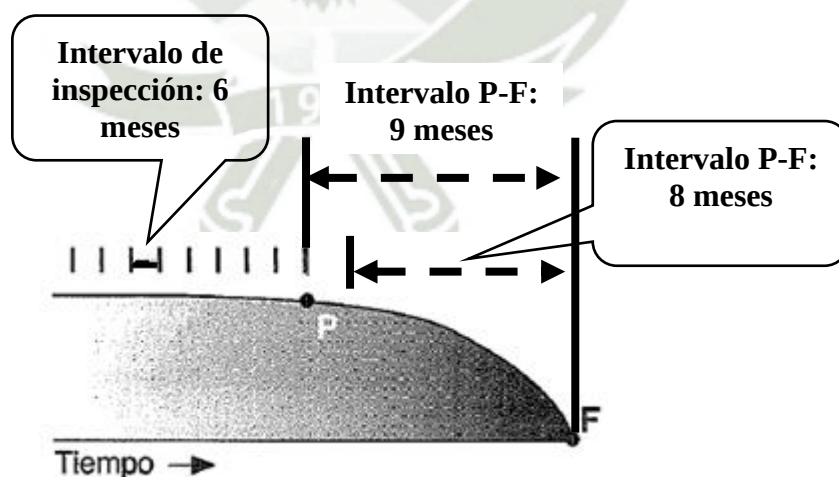
En el mundo real lo que ocurre generalmente es suficiente seleccionar una frecuencia de tarea de mantenimiento igual a la mitad del intervalo P-F lo cual asegura que la inspección detectará la falla potencial antes que ocurra una falla funcional, mientras tenga una cantidad razonable de tiempo para hacer algo al respecto.

1.18. INTERVALO P-F NETO

El intervalo P-F Neto (Figura N° 22) nos indica el intervalo del tiempo mínimo probable que transcurre entre el descubrimiento de una falla potencial y la ocurrencia de la falla funcional. Por lo tanto, es el que determina la cantidad de tiempo disponible para tomar cualquier acción correctiva para reducir o eliminar las consecuencias de la falla de un activo.

Figura N° 22

Curva e intervalo P-F Neto



Fuente: Moubray, (2004)

El contexto operacional de un equipo es fundamental para el aviso de una falla incipiente que permita a los usuarios de un activo físico reducir o evitar consecuencias de fallas tomando en consideración lo siguiente:

Tiempo de parada, nos permite planear una acción correctiva de manera que no afecte a operaciones, un planeamiento adecuado nos permite realizar las acciones correctivas en forma eficiente.

Costos de reparación, Aquí actúa el usuario y elimina el daño secundario causado por fallas imprevistas, minimizando tiempos de parada del activo y sus costos asociados con la falla funcional.

Seguridad, cuando ocurre una advertencia de falla nos da un tiempo para detener el equipo o planta antes que la situación ponga en riesgo la seguridad y la integridad de los operarios que trabajan en el activo físico.

En resumen, para que una tarea de mantenimiento 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 las fallas. Si el intervalo P-F neto es demasiado corto como para tomar cualquier acción sensata, entonces es claro que la tarea a condición no es técnicamente factible.

1.19. TEORÍA DE LOS PROCESOS DE COMPACTACIÓN

1.19.1. DEFINICIÓN DEL PROCESO DE COMPACTACIÓN

“La compactación es el procedimiento de aplicar energía al suelo suelto para eliminar espacios vacíos, aumentando así su densidad y en consecuencia, su capacidad de soporte y estabilidad entre otras propiedades. Su objetivo es el mejoramiento de las propiedades de ingeniería del suelo” (Universidad Católica de Valparaíso - Chile, 2015, pág. 4).

La compactación es un proceso necesario en cualquier tipo de construcción, incluyendo carreteras, vías férreas, aeródromos, cimientos y áreas de construcción de edificios, oleoductos, presas, canales, alcantarillado, etc. Cualquier suelo que soporte alguna estructura necesitará ser compactado para que la estructura se mantenga estable.

La compactación se logra mediante el uso de una o combinación de las siguientes fuerzas: presión estática, impacto, manipulación y vibración.

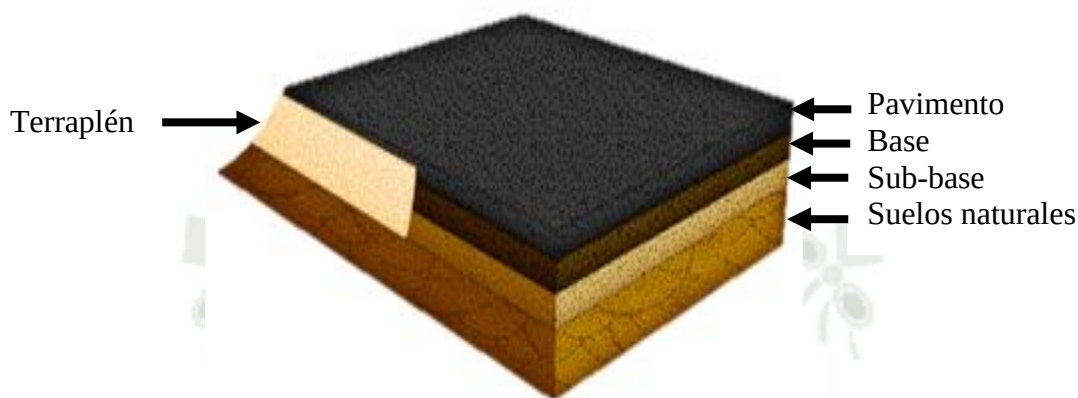
1.19.2. ¿PORQUE COMPACTACIÓN ES IMPORTANTE?

Cualquier material debidamente compactado es capaz de soportar cargas muy pesadas sin deformarse (surcos, grietas, acomodados). El material en el sustrato que soporta tales cargas debe ser denso, de lo contrario se compactará aún más y hará que la estructura se asiente. El material denso es menos permeable, reduciendo así la filtración de agua. La compactación nivela la superficie y revela áreas estructuralmente débiles.

La mejor manera de explicar por qué la compactación es importante es a través de explicar las varias capas que componen una carretera. Cada capa se diseña con un propósito de ingeniería específico y para soportar pesos colocados encima. Cada una deberá construirse con los materiales correctos y el grosor rigidez adecuados. Si una de las capas no es lo suficientemente rígida, la carretera presentará fallas. La compactación se efectúa en todas las fases de la construcción. La calidad de la compactación tiene un efecto importante en la longevidad de la carretera, así como también un efecto profundo en la comodidad – y posiblemente la seguridad – del público que la utiliza. El elemento menos caro que alarga la vida útil de la carretera es el proceso de compactación. El producir las densidades de cada capa durante el proceso de la construcción cuesta muy poco por metro cúbico. Una densidad conforme a las especificaciones puede traducirse en ahorros importantes en trabajos futuros de mantenimiento y/o reencarpetamiento.

Figura N° 23

Sección transversal de una carretera



Fuente: Caterpillar Inc., (2017)

Comentario: Según la figura N°23 la maquinaria rodillo compactador es el equipo que trabaja para cumplir las especificaciones de compactación de cada sección según el diseño del proyecto de carretera.

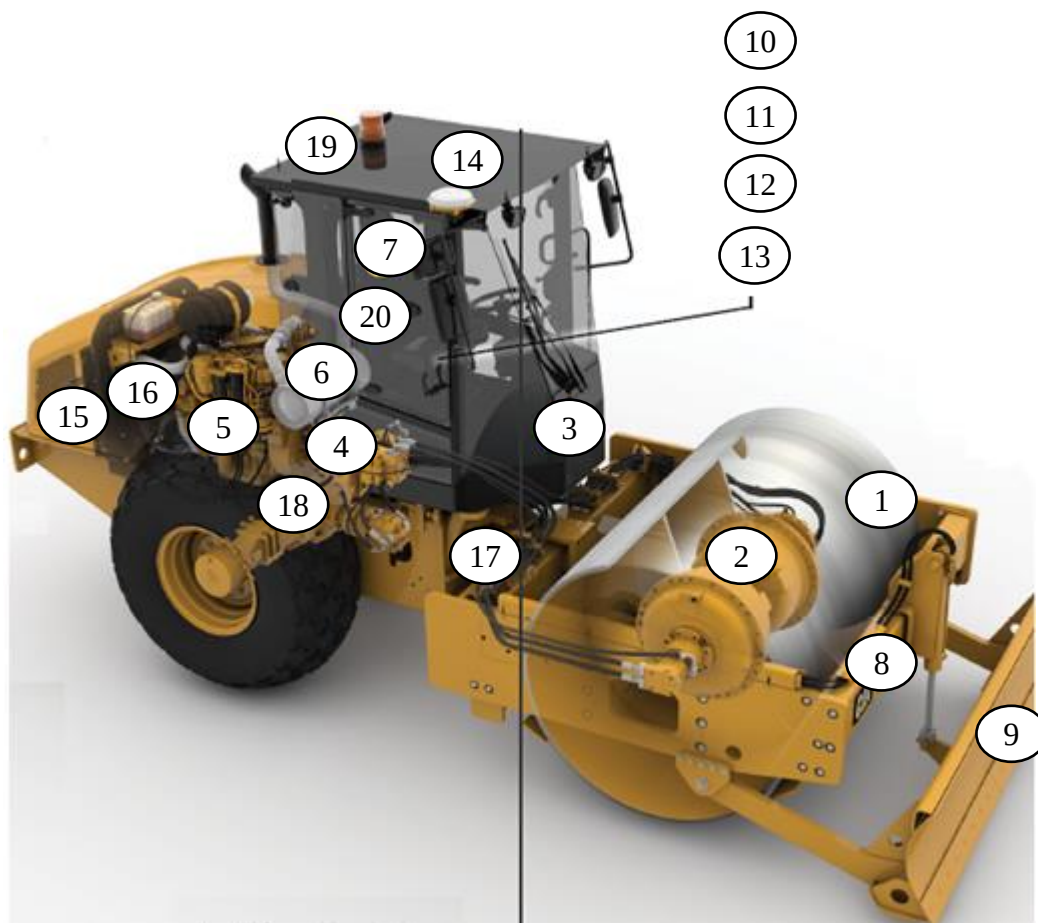
1.19.3. DEFINICIÓN DE LA MAQUINARIA RODILLO COMPACTADOR

Las maquinarias rodillos compactadores son máquinas autopropulsadas de pequeña o mediana potencia de compactación de suelos, no son aptos para terrenos arcillosos. Disponen de una rola lisa y/o pata de cabra (pezones) las misma sirven para compactación.

Los compactadores vibratorios funcionan bajo el principio de reordenar las partículas para reducir los vacíos y aumentar la densidad y la resistencia para soportar la carga. Vienen en dos tipos: tambor liso y tambor de pata de cabra. Para mayor versatilidad, los compactadores de tambor liso pueden estar equipados con juegos de cubiertas de pisonos que permiten el uso de rodillos de tambor liso en aplicaciones de pata de cabra, aunque con desempeño limitado.

Figura N° 24

Diagrama de la maquinaria rodillo compactador



Fuente: Caterpillar Inc., (2017)

En el cuadro siguiente se describen las principales partes de la maquinaria rodillo compactador:

Tabla N° 12

Cuadro de partes principales de la maquinaria rodillo compactador

1. Tambor liso (opción de juego de estructura de pisones; configuración de tambor de pisones disponible)	11. Modalidad ecológica
2. Sistema vibratorio	12. Control automático de velocidad
3. Cabina con estructura ROPS/FOPS	13. Vibración automática
4. Sistema de bombas dobles de propulsión	14. Diagramas GNSS del control de compactación Cat (optativo)
5. Motor Cat. 3054C	15. Enfriador de aceite y condensador inclinables
6. Filtro de partículas para combustible diesel (DPF, Diesel Particulate Filter)	16. Ventilador de velocidad variable
7. Asiento del operador giratorio con pantalla LCD y consola de control integradas	17. Enganche sin mantenimiento
8. Parachoques universal	18. Diferencial de patinaje limitado
9. Hoja niveladora (optativa)	19. Baliza giratoria ámbar (optativa)
10. Control de compactación Cat (optativo; CMV o MDP)	20. Product Link (optativo)

Fuente: Caterpillar Inc., (2017)

Tabla N° 13
Cuadro de operaciones de compactación - presión estática

OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN GRÁFICA DEL PROCESO
PRESION ESTÁTICA	En compactación estática, la presión del peso del compactador produce esfuerzos cortantes en el suelo que causan que las partículas individuales se deslicen unas sobre otras. La compactación ocurre cuando la fuerza aplicada causa que las partículas individuales rompan sus vínculos naturales entre sí y se reorienten en una posición más estable. Esta fuerza de compactación tiene un mayor efecto en los materiales superficiales y de poca profundidad. Tiene un efecto mínimo en suelos más profundos.	CARGA ESTÁTICA LINEAL  El diagrama muestra un compactador de tambor liso de color amarillo y negro. Una línea roja horizontal indica el ancho del tambor, etiquetado como 'ancho del tambor'. Una flecha roja apunta al punto de contacto entre el tambor y el suelo, etiquetado como 'punto del contacto con el suelo'. El título 'CARGA ESTÁTICA LINEAL' está en la parte superior.
	La carga lineal estática es usada por la industria para comparar el potencial de compactación de los compactadores estáticos de tambor liso. Es la fuerza vertical directamente debajo del ancho del tambor que crea el esfuerzo cortante para la compactación. Se calcula al dividir el peso del tambor (carga axial) entre el ancho del tambor. La carga lineal estática es expresada en kilogramos por centímetro lineal (kg/cm) o libras por pulgada lineal (lb/pulg). Los compactadores con una carga lineal más alta tienen un potencial de compactación y profundidad de influencia más altos. Para los compactadores estáticos de tambor de pisón truncado, de pisón de cuña y de pata de cabra la cantidad de presión de la punta ejercida constantemente varía al cambiar el número y superficie de las puntas que están en contacto con la tierra. La profundidad de penetración también puede afectar el cálculo. La presión de las caras de las puntas se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (libras por pulgada cuadrada).	
	Se usa la compactación estática en aplicaciones donde se requiere un ligero toque, debido a los edificios cercanos, materiales que son frágiles o donde las superficies tienen una baja resistencia a la carga. También se usa en casos en donde demasiada fuerza de compactación podría extraer agua a la superficie.	

Fuente: Caterpillar Inc., (2017)

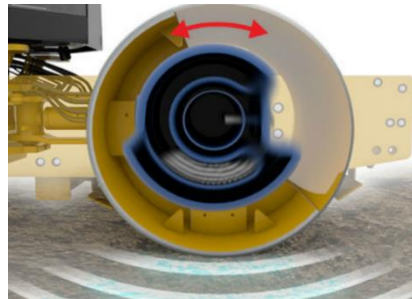
Tabla N° 14

Cuadro de operaciones de compactación - manipulación e impacto

OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN GRAFICA DEL PROCESO
MANIPULACIÓN	La manipulación es una fuerza de compactación que reordena las partículas en una masa más densa por medio de un proceso de amasado. El proceso es especialmente efectivo en la superficie de la capa del material. La acción longitudinal y transversal de amasado es esencial cuando se compacta suelos muy estratificados, tales como suelos de arcilla. Los compactadores de pata de cabra y de neumáticos de ruedas escalonadas están específicamente diseñados para proporcionar este tipo de fuerza de compactación. La fuerza de manipulación generada por los compactadores de neumáticos es producto de dos factores: la presión de contacto y la carga por rueda. El ajustar cualquier de los factores cambiará el desempeño del compactador. La compactación por manipulación es útil para construir una superficie bien sellada para ayudar a que el material resista los efectos del agua y el clima.	
IMPACTO	El impacto crea una fuerza de compactación mayor a la fuerza gravitacional de una carga estática. Esto es porque una masa en movimiento tiene velocidad, la cual es convertida en energía en el momento del impacto. El impacto crea una onda de presión que entra al suelo desde la superficie. Generalmente, los impactos son una serie de golpes. Los golpes de impacto de 50-600 golpes por minuto son considerados rangos de baja frecuencia y se usan en martillos de impacto y pisones manuales. Los golpes de impacto de 1,400-3,000 golpes por minuto son de alta frecuencia y se usan en compactadores vibratorios.	

Fuente: Caterpillar Inc., (2017)

Tabla N° 15
Cuadro de operaciones de compactación - vibración y fuerzas dinámicas de compactación

OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN GRAFICA DEL PROCESO
VIBRACIÓN	La vibración es tal vez la fuerza de compactación más compleja y rentable. Más del 90 por ciento de los compactadores vendidos en el mercado actual son vibratorios. Esto es debido a que los compactadores vibratorios pueden producir a la misma velocidad que un compactador estático que tiene como tres veces más masa. La energía vibratoria hace que un compactador vibratorio sea más eficiente que un compactador estático de tamaño similar. Los compactadores vibratorios producen una sucesión rápida de ondas de presión que se esparcen en todas direcciones. Las ondas de presión vibratoria reducen la resistencia al corte entre las partículas del material que se está compactando. Cuando se aplica presión, las partículas tienden a reorientarse en un estado más denso (menos vacíos). Para entender cómo funcionan los compactadores vibratorios, es necesario entender la dinámica de compactación vibratoria: amplitud y frecuencia, así como una carga lineal estática y la proporción de masa vibratoria a masa suspendida. Al trabajar el compactador, el volumen de suelo compactado no será compactado en forma uniforme de arriba hacia abajo. Un compactador de cierta masa compactará el suelo hasta cierta profundidad, pero el grado de compactación del suelo variará de la superficie a la máxima profundidad de influencia de la compactación.	
FUERZAS DINÁMICAS DE COMPACTACIÓN	Por lo general, la superficie estará menos compactada, los suelos medianos tendrán la máxima compactación y los suelos más profundos estarán de nuevo menos compactados. El cambiar los parámetros de operación puede influir en la profundidad de las zonas de compactación y alterar la profundidad de la zona de máxima compactación. Este fenómeno es llamado “gradiente de compactación” y estos datos ayudan a describir la capacidad de compactadores de cierto tamaño o su configuración de operación, para aplicaciones específicas de compactación.	

Fuente: Caterpillar Inc., (2017)

Tabla N° 16

Cuadro de operaciones de compactación - amplitud

OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN GRÁFICA DEL PROCESO
AMPLITUD	La amplitud es la medida de distancia de movimiento vertical desde la posición de reposo hasta la posición más alta de un tambor vibratorio. Los fabricantes promueven este valor nominal, el cual se mide en un tambor suspendido. La amplitud real de trabajo, sin embargo, es el producto de la amplitud nominal y el coeficiente de amplificación, que es la proporción de la frecuencia transmitida con la frecuencia de resonancia de la máquina y la tierra que se compacta. Sería mejor pensar que la amplitud es la distancia que viaja el tambor hacia adentro de la tierra al desplazarse y compactar el suelo. Al modificar la amplitud, un operador puede variar la fuerza y el movimiento (aceleración) del tambor en el material. Cuando el suelo va alcanzando su máxima densidad, llega a un punto donde el suelo no puede absorber la energía de compactación que proporciona el compactador vibratorio. En este punto, el tambor puede rebotar desde la superficie y puede ocurrir un ciclo vibratorio mientras que el tambor está suspendido en el aire. Este fenómeno es llamado “desacoplamiento” o “doble impacto” y va acompañado de una particular y no característica vibración vigorosa que afecta a toda la máquina. El desacoplamiento puede dañar a la máquina y producir resultados indeseables en el suelo que se está compactando, tal como la descompactación. Para detener el desacoplamiento, el operador necesita reducir la cantidad de energía que proporciona la máquina al suelo simplemente reduciendo la amplitud, lo cual reducirá la cantidad de fuerza de compactación aplicada al suelo. En forma alternativa, el operador podría trabajar en modo estático.	

Fuente: Caterpillar Inc., (2017)

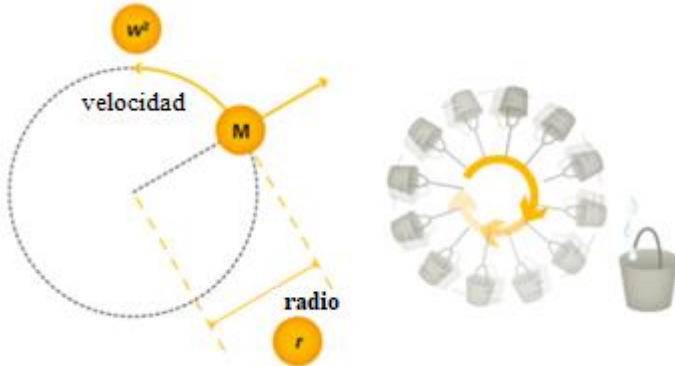
Tabla N° 17

Cuadro de operaciones de compactación - frecuencia, velocidad y fuerza centrífuga

OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN GRÁFICA DEL PROCESO
FRECUENCIA Y VELOCIDAD	La frecuencia es una medida del número de ciclos o revoluciones completas de los pesos excéntricos alrededor del eje de rotación durante cierto tiempo. Normalmente, la frecuencia se expresa en unidades de Hertz (Hz) o vibraciones por minuto (vpm). Típicamente, las frecuencias entre 23-35 Hz (1380-2100 vpm) se usan dependiendo del material y la configuración de amplitud. La relación entre frecuencia y velocidad de trabajo algunas veces se simplifica a una regla general que indica que la frecuencia y la velocidad de trabajo deben ajustarse para que produzcan aproximadamente un impacto por cada 25-30 mm (1-1.2 pulg). Una velocidad de trabajo que es demasiado rápida puede causar “ondulaciones” (washboarding) (impactos demasiado espaciados) y una velocidad de trabajo que es demasiado lenta impacta negativamente la productividad de la máquina. Existe una velocidad y frecuencia óptimas para cada aplicación de compactación, pero tal vez no produzcan un impacto por 25 mm (1pulg). Es muy importante mantener una compactación uniforme y el utilizar características de control de velocidad automático para asegurar el equilibrio de velocidad y frecuencia puede ayudar a proporcionar esa consistencia.	camino del centro del tambor vibratorio altura frecuencia baja frecuencia alta Tiempo y distancia (velocidad es constante) En una mayor frecuencia el espaciamiento de impactos es mas justo

Fuente: Caterpillar Inc., (2017)

Tabla N° 18
Cuadro de operaciones de compactación - frecuencia, velocidad y fuerza centrífuga

OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN GRÁFICA DEL PROCESO
FUERZA CENTRÍFUGA	Los compactadores vibradores crean una fuerza centrífuga con una pesa o pesas excéntricas que giran dentro de un tambor. La fuerza centrífuga generada por el tambor es análoga al jalón que se siente al columpiar un balde lleno de agua. La masa de las pesas, su distancia de desplazamiento desde el centro de rotación al centro de gravedad y la velocidad de rotación contribuyen a la producción de esta fuerza. La fuerza centrífuga es un cálculo teórico y frecuentemente se usa para calificar la productividad de compactadores vibratorios de suelo. Pero la fuerza centrífuga no es la forma precisa de juzgar una máquina. La fuerza vibradora verdadera depende de una interacción completa entre el material que se compacta y la máquina.	 Fuerza centrífuga = Mw^2r Para calcular la fuerza centrífuga, la masa (M) de la pesa excéntrica se multiplica por el radio (r) de rotación de la pesa excéntrica y por la velocidad de rotación (frecuencia) al cuadrado (w^2). El factor más significativo en esta ecuación es la frecuencia.

Fuente: Caterpillar Inc., (2017)



CAPÍTULO II METODOLOGÍA

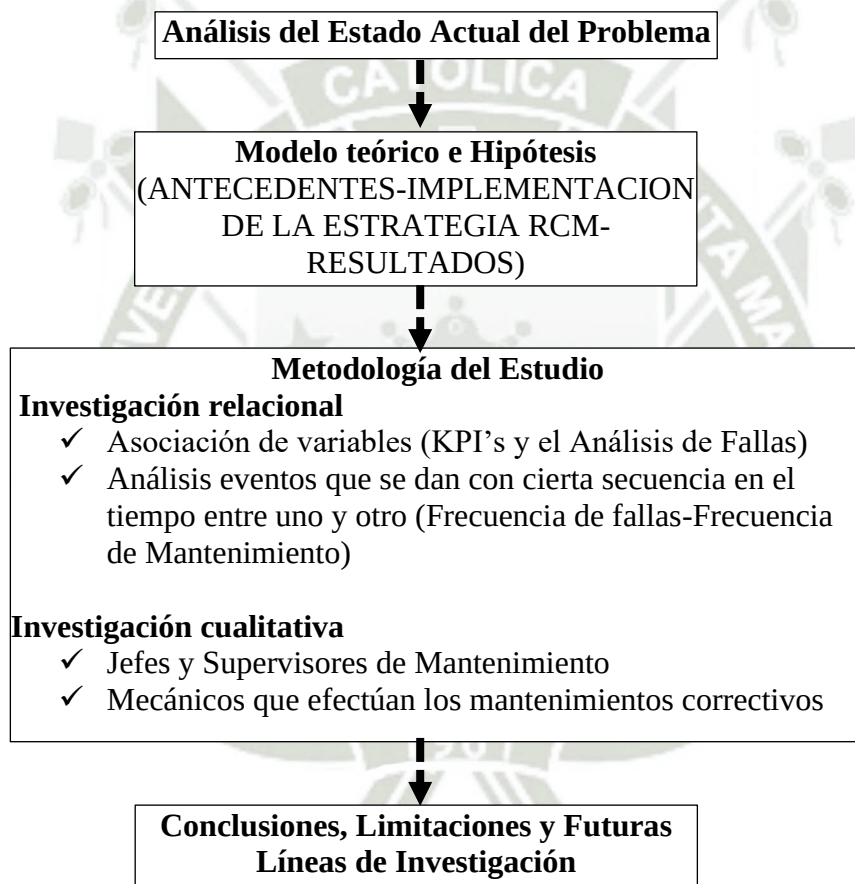
2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. FASES DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación tiene un orden de procesos, la cual ha sido propuesto de acuerdo con el modelo de análisis, considerando el contexto operacional, el siguiente diagrama de procesos visualiza la secuencia de etapas de la puesta en marcha de la investigación:

Figura N° 25

Fases de puesta en marcha de la investigación



Fuente: Siles, (2014).

Comentario: La experiencia de los técnicos mecánicos es importante para identificar las frecuencias de fallas de un componente/sistema del activo.

3. MÉTODO

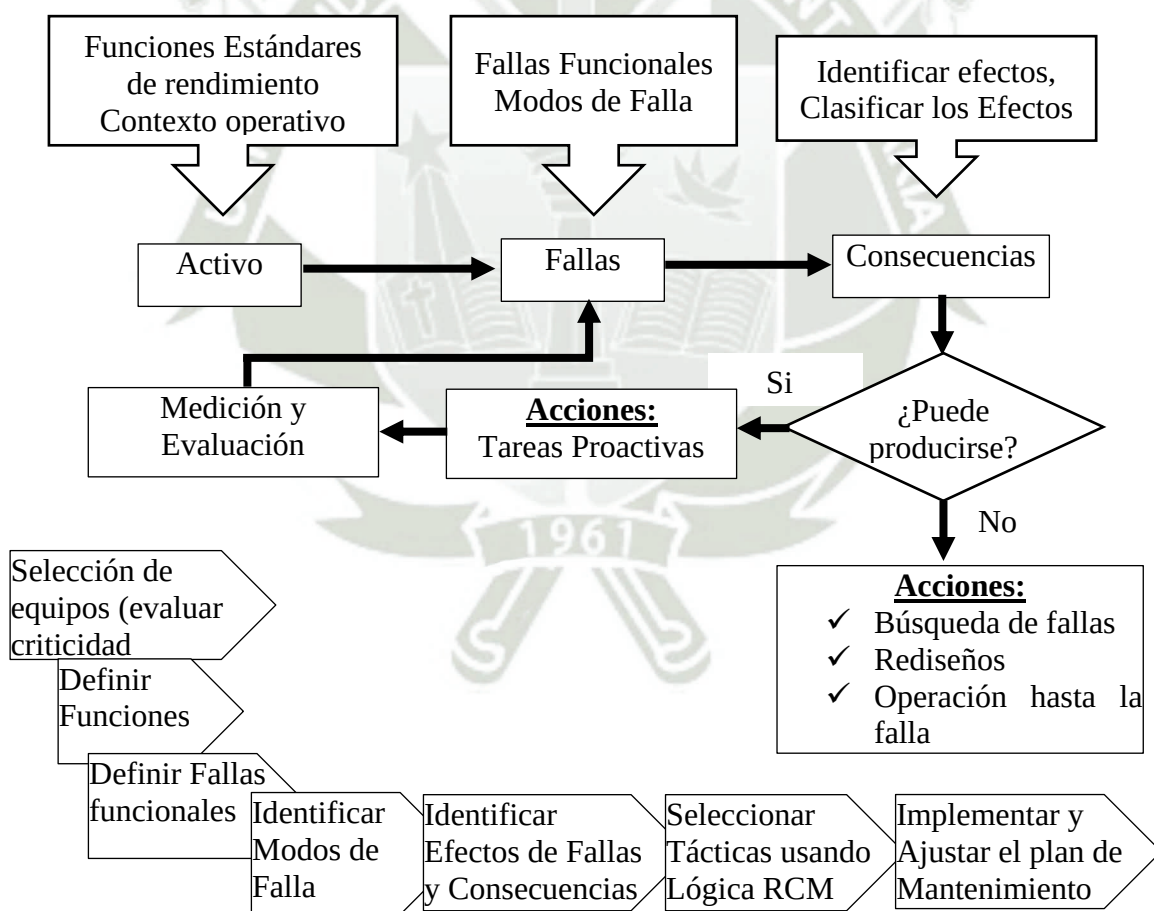
El RCM Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad es una estrategia que está respondiendo favorablemente a expectativas cambiantes en la organización del mantenimiento.

Es una táctica que toma importancia los efectos y consecuencias de las fallas que pueda tener un activo físico, y en función de su criticidad y entorno operacional establecer una estrategia de mantenimiento adecuado para anticipar ese modo de fallo con propuestas de tareas de mantenimiento en los sistemas / componentes.

Consta de un flujo de procesos que a continuación se detalla:

Figura N° 26

Proceso de aplicación del RCM y detección de los modos y efectos de falla



Fuente: López, (2016).

Comentario: proceso indispensable para efectuar una excelente aplicación de un RCM.

4. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Estudio del área de mantenimiento sección de equipos pesados para la implementación del RCM Mantenimiento Basado en la Confiabilidad, en la Constructora Recife SAC

4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

A medida que aumenta la complejidad tecnológica de la maquinaria, en esa medida aumenta la dependencia de la ingeniería de mantenimiento, por esta razón la función del mantenimiento debe considerarse como parte integral e importante de la organización que maneja las operaciones.

Asimismo, la ingeniería de mantenimiento actualmente va escalando conforme al adelanto tecnológico, lo que está motivando a instituir nuevas tácticas, estrategias y técnicas para sostener y asegurar la disponibilidad de los activos físicos de cualquier organización, con la finalidad de lograr una alta fiabilidad de los activos físicos, asimismo asegurar la confiabilidad de los equipos para área de operaciones. Sin embargo, luego de un análisis al área mantenimiento sección equipo pesado se han identificado los siguientes problemas:

- Prácticas de mantenimientos tradicionales según manual del fabricante sin tomar importancia los factores y condiciones operacionales, siendo evidente el desconocimiento de las normas ISO 14224, SAE JA 1011, y SAE JA 1012
- Falta de un plan de mantenimiento predictivo
- Deficiente aplicación de indicadores de clase mundial
- Carencia de planes de mantenimiento según entorno actual de operaciones

Por lo que, es importante la presente investigación, intitulada “Análisis del área de mantenimiento sección equipo pesado para la implementación del RCM de la empresa Constructora Recife SAC”, lo que permitirá implementar la estrategia RCM, en el sector de equipo pesado como piloto para área de mantenimiento; aplicando una nueva estrategia de acorde a los avances de la ingeniería de mantenimiento como:

- Mejora de confiabilidad de los activos físicos, minimizando fallas
- Mantenimiento a condición
- Mantenimiento predictivo
- Planificación de tareas de mantenimiento para prevenir riesgos de fallas
- Disponibilidad de equipos/maquinarias para área de operaciones

4.1.1. CAMPO, ÁREA Y LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Figura N° 27

Cuadro de campo, área y línea de investigación

CAMPO	CIENCIAS
Área — — ➔	Ingeniería de Mantenimiento
Línea — — ➔	Gestión de Activos
Aspectos — — ➔	Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM)

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. PROBLEMA A INVESTIGAR

En el año 2004 se han adquirido 06 maquinarias rodillos compactadores Cat. CS533E, el problema que presentan estos equipos es el considerable número de fallas que presentan en área de operaciones, del cual según los registros históricos de mantenimiento obtenidos del software SGE, se tienen registradas 12 fallas durante el periodo de operación correspondiente al año 2019.

Para los responsables de mantenimiento, el tener 12 fallas anuales, es considerado como un número significativo de fallas; lo cual ha generado perjuicio en área operaciones y altos costos de mantenimiento.

Al efectuar el análisis del plan de mantenimiento preventivo actual, se evidencia que una de las causas que genera este problema son las deficiencias en la planificación de actividades de mantenimiento preventivo que deben ejecutarse en las maquinarias compactadores Cat. CS533E, debido a que en el actual plan de mantenimiento preventivo constan las tareas según recomendación del fabricante, además de que el mismo fue elaborado sin considerar el contexto operacional, por lo cual resulta necesario efectuar una planificación de tareas de mantenimiento a través de la estrategia denominada “Mantenimiento Basado en Confiabilidad (RCM)”, que minimice las fallas y sus efectos.

4.1.3. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

4.1.3.1. INVESTIGACIONES EN EL EXTRANJERO

Tesis Profesional: “Análisis de Mantenimiento de la Maquinaria Pesada del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Pastaza y su Incidencia en la Disponibilidad”.

Tesista: Jonathan Javier Ninacuri Tenemaza. Universidad Técnica de Ambato – Ecuador

En este trabajo de investigación el autor analiza un modelo de cada tipo de activos físicos con que cuenta la organización, en cuanto a confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad para implementar estrategias y tareas de mantenimiento adecuados para cada modelo de equipo.

Se considera esta **Tesis** como antecedente de la investigación para el presente trabajo de investigación por las siguientes razones:

- El análisis de criticidad es básico para determinar los puntos más críticos de los activos físicos de una organización, ya que a través de este método se sustenta en la toma de Decisiones para las tareas de mantenimiento.
- La metodología AMFE es un medio para identificar las causas y efectos de cada falla que genera un activo físico, por ende es básico para realizar tareas de mantenimiento para prevenir las fallas que se presentan en la maquinaria pesada.
- La disponibilidad y la confiabilidad operacional de la maquinaria se puede mejorar debido a que este análisis de mantenimiento donde se identifican las características de mayor influencia para evaluar estos índices, ya que al reducir los tiempos inoperativos de la maquinaria y aumentan los tiempos de operación (producción), se pueden lograr un alto índice de confiabilidad y disponibilidad de los activos físicos. (Ninacuri Tenemaza, 2016)

Tesis Profesional: “Aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM en los Motores Detroit 16v-149ti en Codelco División Andina”.

Tesista: David Esteban Vásquez Oyarzún. Universidad Austral de Chile, Valdivia – Chile.

La investigación afirma que el método RCM es bastante sencillo y su enfoque es aplicar una táctica de mantenimiento aun modo de falla específica, para lo cual es importante el apoyo de la organización a través de la gerencia de mantenimiento de equipos, lo cual fortalece en las reuniones de análisis de RCM.

El estudio muestra los beneficios que se reflejan en la gestión del mantenimiento al realizar una gestión de RCM en los activos (motores Detroit), asimismo se evidencia la toma de Decisiones acertadas con la mayor cantidad de información lo que permitió acciones de tareas de mantenimiento aún mucho más acertadas.

La tesis se enfoca en la alta criticidad de los equipos y la pérdida de sus Funciones durante una situación de emergencia eléctrica, causando serios problemas en los servicios básicos eléctricos en el sector industrial y una detención en los equipos críticos que intervienen en el proceso productivo y las consecuencias de la falla generan pérdidas económicas a la organización.

Esta Tesis se toma como referencia por las siguientes razones:

- La aplicación de taxonomía en los activos con la división en subsistemas para detallar la descripción de la función principal, falla funcional, modo de falla y su consecuencia.
- La metodología RCM se puede aplicar a cualquier equipo, lo importante es capacitar a un profesional experto que sea como facilitador en RCM y alimentarlo con el personal técnico de mantenimiento, quienes tienen los conocimientos de los activos en cuanto a funcionamiento, operación, fallas y mantenimiento.
- Los procedimientos de mantenimiento diseñados por el fabricante/distribuidores son limitados y son efectivos hasta cierto punto, ya que no todos los equipos operan bajo los mismos parámetros de funcionamiento y bajo el mismo contexto operacional, con aplicar el RCM aun equipo nuevo y/o equipo usado será de gran soporte para el personal de

mantenimiento, porque se tomarán Decisiones más asertivas en cuanto a las posibles fallas y sus respectivas tareas proactivas de mantenimiento.

- La aplicación de RCM genera la creación de una base de datos con la información actual y detallada de todas las fallas que han ocurrido y que posiblemente ocurran al activo ya que el medio de un análisis de RCM es su retroalimentación; o sea no es suficiente quedarse con el análisis, a medida que vayan sucediendo fallas no consideradas estas deben ser incluidas en el análisis junto con su tarea de mantenimiento proactivo. (Vásquez, 2008)

4.1.3.2. INVESTIGACIONES NACIONALES

Tesis Profesional: “Estudio del Área Tornos para la Implementación del Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM) en el LAPROIM de la UCSM Arequipa 2014”.

Tesista: Fernando David Siles Nates. Universidad Católica de Santa María. Arequipa. Perú.

Esta investigación ha confirmado que el estudio del área de tornos para la implementación de RCM como la gestión y buenas políticas y estrategias de mantenimiento permitieron la confiabilidad y disponibilidad de los equipos (tornos), evitando riesgos y fallas en los servicios que brinda dicha área académico-práctico, de esta manera permitirá cumplir la programación de actividades de toda la comunidad universitaria (UCSM).

Se ha considera esta Tesis como información de carácter importante para el desarrollo del presente trabajo por las siguientes razones:

- La estrategia RCM exige como procedimiento inicial el análisis de criticidad propuesto en la norma Norzok Z008 donde se identifica el equipo crítico en cuanto a tiempo promedio para reparar, impacto operacional y frecuencia de fallas.
- Para RCM el análisis de funciones y modos de falla del activo es fundamental la aplicación de principios de Taxonomía, de modo que el equipo se divide en 3 jerarquías; nivel de sistemas, componentes y partes, por lo que la determinación de las Funciones principales y secundarias del equipo fueron planteadas con mayor detalle.

- En RCM la función de los modos de falla son considerados por nivel de sistemas y componentes del equipo, la evaluación de efectos de falla lleva consigo la pérdida de Funciones principales y secundarias del equipo, por lo que la propuesta de esta investigación es el desarrollo y aplicación de tareas de mantenimiento proactivo lo cual permitirá incrementar la confiabilidad del equipo y tomar Decisiones previas a la aparición de las fallas y el tiempo prudente para actuar en mantenimiento.
- La propuesta de aplicación de estrategia de RCM, permite la exposición de un conjunto de tareas relacionadas al plan de mantenimiento preventivo, predictivo y proactivo aplicado a los equipos del área de tornos, asimismo las tareas debidamente distribuidas en función al tipo de sistema, así como formas de registros necesarios en el sistema documentario para efectuar los mantenimientos, lo que permitirá implementar el registro de las fallas y gestión de mantenimiento RCM del equipo torno mecánico paralelo. (Siles Nates, 2014)

Tesis Profesional: “Mejora de la Disponibilidad Mecánica y Confiabilidad Operacional de una Flota de Cosechadoras de Caña de Azúcar de 40 T/H de Capacidad”.

Tesista: Christian Guillermo Huancaya Mena. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima-Perú.

El presente trabajo de investigación ha realizado la mejora de la disponibilidad mecánica y confiabilidad operacional de una flota de cosechadoras de caña de azúcar, a través de un modelo que facilitó dichos indicadores. La toma de acción correctiva es con la información de la data de operaciones y mantenimiento de la flota de equipos con que cuenta la organización. El punto de partida es el Análisis de Criticidad donde se definen y cuantifican los parámetros en base a los cuales se jerarquizan la flota de cosechadoras, con la selección del equipo más crítico se analizan cada uno de los modos de falla que ha presentado el equipo en mención, posteriormente se realiza el Análisis de Modos de Falla y Efectos donde se logra clasificar y analizar cada uno de los modos de falla que presentó el equipo crítico para un periodo determinado.

La presente **Tesis** es considerada como referencia para el desarrollo del presente trabajo por las siguientes razones:

- A través de un software de mantenimiento especializado se estiman los parámetros de vida de uno de los modos de falla críticos, donde se estiman los valores de confiabilidad para determinados periodos de tiempo.
- Cálculo de indicadores de mantenimiento de clase mundial (MTBF, MTTR y Disponibilidad) y la efectividad global del equipo (OEE) que permiten analizar el estado actual de la flota.
- Análisis técnico de optimización del plan de mantenimiento propuesto en donde se estima el incremento de producción, y mejora de disponibilidad de la flota.
- Análisis económico, donde se justifica la implementación del plan en base a costos de repuestos, mano de obra, consumo de combustible y costos de producción. (Huancaya, 2016)

4.2. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad el Área de Mantenimiento de la Constructora Recife SAC no cuenta con una estrategia de Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM), solamente realizan mantenimientos preventivos según su manual técnico de mantenimiento corporativo.

Los equipos pesados con que cuenta la constructora deben brindar un buen nivel de disponibilidad, alta confiabilidad y bajos costos de mantenimiento al área de operaciones, lo que promueve el Análisis de la Implementación de la estrategia de Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM), lo cual permitirá localizar, minimizar las fallas más comunes de los equipos pesados y los parámetros de mayor influencia en la disponibilidad y altos costos.

Con el Análisis de RCM en el área de mantenimiento sección de equipo pesado de la Constructora Recife SAC, se obtendrá suficiente información gracias a la aplicación de tácticas, estrategias y diferentes métodos de análisis de fallos para establecer tareas de mantenimiento identificando las consecuencias operacionales de acorde a las normas SAEJA1011 criterios de evaluación para procesos RCM y SAEJA1012 guía para RCM.

4.3. ASPECTO SOCIAL

Promover a las empresas constructoras la aplicación de estrategias de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) a todos sus equipos pesados de acuerdo con el contexto operacional donde operan las maquinarias.

4.4. ASPECTO ECONÓMICO

Lo que plantea esta estrategia de mantenimiento centrado en la confiabilidad, es optimizar la disponibilidad de los equipos pesados desarrollando los planes de mantenimientos eficientes de acuerdo con el contexto operacional.

Con la aplicación de la estrategia de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), permita mejorar el proceso de mantenimiento preventivo, predictivo de todos los equipos críticos considerados en este estudio.

4.5. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación es descriptivo, para observar las características y la coyuntura de la finalidad del estudio, a través de recolección de datos y métodos cuantitativos porque procesaremos y analizaremos los datos.

Además, cabe decir que es de tipo correlacional debido a que existe una correlación de variables dependiente e independiente.

El diseño de investigación soporta a un análisis de manera Relacional, Cuantitativo y Cualitativo, estas metodologías serán efectuadas a nivel de análisis de información. El método consistirá en realizar un análisis detallado de los costos del área de mantenimiento sección equipo pesado de la Constructora Recife SAC, a través de procesos y metodologías de mantenimiento clase mundial utilizadas las que serán indispensable para la recolección de datos y posterior propuesta de implementación de la estrategia de mantenimiento RCM en la organización.

La investigación se desarrollará a través de los datos con lo que cuenta la Constructora Recife SAC, específicamente del área de mantenimiento sección equipo pesado, con la información procesada y analizada se propondrá el análisis de la implementación de la estrategia RCM, se tomará en cuenta el contexto operacional del área de operaciones para un óptimo análisis de las causas, efectos y consecuencias del objeto en estudio.

4.6. OBJETIVOS

4.6.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis de Mantenimiento de los equipos pesados de la Constructora RECIFE SAC para determinar los costos de mantenimiento.

4.6.2. OBJETIVO SECUNDARIO

- Analizar los costos de mantenimiento por el método FMA Modificado para identificar las causas y efectos de falla por cada componente/sistema del equipo pesado.
- Calcular los costos y el ahorro anual que generaría al implementar un RCM en la flota de las maquinarias rodillos compactadores Cat. CS533E.
- Generar una base de datos con la información de histórico de fallas que han sucedido en el equipo de cada sistema / componente.
- Estructurar la descripción de la función de los componentes en subsistemas para describir los modos de falla y la consecuencia de la falla.
- Calcular los costos de mantenimiento actual y los costos de mantenimiento con la aplicación de RCM
- Definir los procedimientos de mantenimiento del equipo pesado seleccionado de acuerdo con el contexto operacional para tomar Decisiones asertivas de posibles fallas y su tarea proactiva a realizar en cada sistema / componente.

4.7. HIPÓTESIS

Dado que existen altos costos de mantenimiento en las maquinarias rodillos compactadores Caterpillar CS533E, **es factible** que implementando una estrategia de Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM) **permita** disminuir los costos del mantenimiento del activo.

4.8. VARIABLES

4.8.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

- Análisis de la Implementación del Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM).

4.8.2. VARIABLE DEPENDIENTE

- Disminuir los costos de mantenimiento del activo.



4.9. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla N° 19

Cuadro de operacionalización de variables independientes

VARIABLES	TIPOS DE VARIABLE	UND.	INDICADORES	HERRAMIENTAS	DESCRIPCIÓN CONCEPTUAL	DESCRIPCIÓN OPERATIVA
Análisis de la Implementación del Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM).	Independiente	-	Análisis y evaluación de activos críticos del área de equipos pesados.	Utilización de la metodología de análisis de criticidad y verificación con área operaciones las necesidades del uso de los equipos	El estudio del área de Mantenimiento sector equipo pesado de la constructora Recife SAC se basa en el análisis operativo del mantenimiento de los equipos pesados, el que consiste en precisar y analizar el estado de funcionamiento de los equipos y sus Funciones operativas, para ello se analizarán las fallas funcionales, causas, efectos, consecuencias, la predicción y las acciones predeterminadas a los modos de fallas.	Análisis de costos de mantenimiento del área de equipos Sector equipo pesado
		-	Análisis de actividades primarias y secundarias de los activos del área de equipos pesados.	Manual de especificaciones técnicas del fabricante		Funciones de cada equipo critico
		-	Análisis y evaluación del estándar y medidores de falla.	Observación y utilización de Software SISCAT		Fallas funcionales de cada equipo
		-	Percepción de causas de fallas	Observación y utilización de Software SISCAT		Causas de las fallas
		-	Percepción de efectos por fallas	Observación y utilización de Software SISCAT		Efectos de fallas
		-	Percepción de importancia de fallas evidentes y ocultas	Observación y utilización de Software SISCAT		Consecuencia de las fallas
		-	Percepción de acciones realizadas ante fallas	Observación y utilización de Software SISCAT		Predicción y prevención de fallas mediante tareas de mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia

4.10. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla N° 20

Cuadro de matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	JUSTIFICACIÓN	HIPÓTESIS	VARIABLES
Estudio del área de mantenimiento sección equipos pesados para la implementación del análisis de implementación del RCM mantenimiento centrado en la confiabilidad, en la Constructora Recife SAC.	Realizar un análisis de Mantenimiento de los equipos pesados de la Constructora RECIFE SAC para determinar los costos de mantenimiento.	En la actualidad el Área de Mantenimiento de la Constructora Recife SAC no cuenta con una estrategia de Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM), solamente realizan mantenimientos preventivos tradicionales según su manual técnico de mantenimiento corporativo. Los equipos pesados con que cuenta la constructora deben brindar alta confiabilidad al área de operaciones, lo que motiva a la implementación de la estrategia de Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM). Ello permitirá disminuir y eliminar las fallas de los equipos, con el objeto de mantener la sostenibilidad en la atención de área de operaciones, de esta manera se asegura el cumplimiento de producción planeada del equipo durante un horario asignado.	Dado que existen altos costos de mantenimiento en las maquinarias rodillos compactadores Caterpillar CS533E, es factible que implementando una estrategia de Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM) permita disminuir los costos del mantenimiento del activo.	VARIABLE INDEPENDIENTE Análisis de la Implementación del Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM) VARIABLE DEPENDIENTE Disminuir los costos de mantenimiento del activo

Fuente: Elaboración propia

4.11. CRONOGRAMA DE TRABAJO

Figura N° 28
Cronograma de trabajos de investigación

Nombre de la actividad de mantenimiento	Duración	Comienzo	Fin	1/11/2019	16/11/2019	1/12/2019	16/12/2019	31/12/2019	15/01/2020	30/01/2020	14/02/2020	29/02/2020	15/03/2020	30/03/2020	14/04/2020	29/04/2020	14/05/2020	29/05/2020	13/06/2020	28/06/2020	13/07/2020	28/07/2020	12/08/2020	27/08/2020	11/09/2020	26/09/2020	11/10/2020	26/10/2020	10/11/2020	25/11/2020	10/12/2020	25/12/2020	9/01/2021	24/01/2021	8/02/2021			
Planificación de Actividades																																						
Plan de tesis	30	1/11/2019	30/11/2019																																			
Presentación de plan de tesis	60	1/12/2019	29/01/2020																																			
Estado del arte	30	30/01/2020	28/02/2020																																			
Elaboración del cuestionario	60	29/02/2020	28/04/2020																																			
Observaciones del campo	30	29/04/2020	28/05/2020																																			
Aplicación de instrumentos	60	29/05/2020	27/07/2020																																			
Tabulación de datos	60	28/07/2020	25/09/2020																																			
Análisis e interpretación	30	26/09/2020	25/10/2020																																			
Informe final	30	26/10/2020	24/11/2020																																			
Presentación borrador	30	25/11/2020	24/12/2020																																			
Levantamiento de observaciones	30	25/12/2020	23/01/2021																																			
Sustentación de tesis	30	24/01/2021	22/02/2021																																			

Fuente: Elaboración propia



CAPÍTULO III RESULTADOS

1. APLICACIÓN DEL RCM

1.1. SELECCIÓN DEL EQUIPO

La Constructora Recife SAC, está llevando a cabo una estrategia de mantenimiento (RCM) en los equipos considerados críticos y de alta importancia para el área de operaciones. Es por ello que la selección de las maquinarias rodillos compactadores Cat. CS533E es importante, los efectos y consecuencias de fallas se verán reflejadas en los resultados económicos de la organización y en la gestión de mantenimiento sector equipo pesado.

La motivación para realizar el análisis RCM, es que estos equipamientos generan elevados costos de mantenimiento/reparación, descenso de disponibilidad mecánica y periodos prolongados de parada por horas de intervenciones mecánicas desde su puesta en operación año 2004.

1.2. CONTEXTO OPERACIONAL

La Constructora Recife SAC cuenta con 06 maquinarias rodillos compactadores de marca Caterpillar, modelo CS533E, de 145HP, ubicados a 4,500 m.s.n.m., los que operan en la construcción de una carretera de 9.5mts de ancho por 62km de longitud, son accionados por motor Cat. Modelo 3054C cada uno.

Las maquinarias rodillos compactadores son utilizados para compactar base granular y terraplén en etapa de construcción de una carretera, con el fin de establecer una densidad apropiada de acuerdo especificaciones técnicas del proyecto constructivo de una carretera.

1.3. SITUACIÓN DE LAS MAQUINARIAS RODILLOS COMPACTADORES

1.3.1. COSTOS ASOCIADOS A MANTENIMIENTO

La información con que se cuenta sobre los costos de mantenimientos y reparaciones es insuficiente y el control de costos realizado a estos equipos corre desde el año 2015, ya que fue en ese año en que se ingresan los datos al Sistema de Gestión de Equipamientos (SGE).

La tabla N°21 Muestra los costos por cada activo entre el periodo 2015 – 2019

Tabla N° 21
Costos asociados a mantenimiento

Activo - Periodo	2015	2016	2017	2018	2019
011-0200	\$1,321.00	\$5,611.00	\$2,099.00	\$6,693.00	\$8,093.00
011-0201	\$1,930.00	\$6,467.00	\$20,643.00	\$11,861.00	\$21,265.00
011-0203	\$3,247.00	\$512.00	\$2,079.00	\$5,749.00	\$19,045.00
011-0205	\$0.00	\$254.00	\$2,102.00	\$7,309.00	\$15,874.00
011-0207	\$3,306.00	\$467.00	\$707.00	\$7,070.00	\$22,901.00
011-0208	\$4,230.00	\$15,143.00	\$2,404.00	\$4,818.00	\$11,098.00

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 29
Costos asociados a mantenimiento

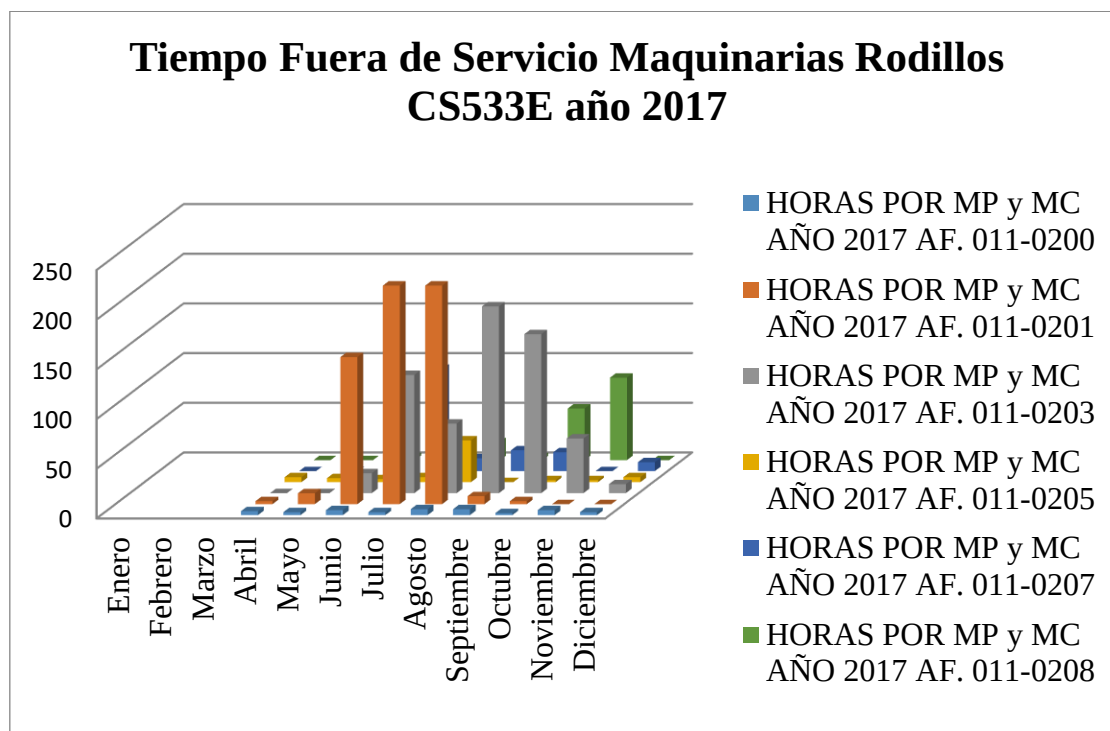
Fuente: Elaboración propia

1.3.2. DISPONIBILIDAD DE MAQUINARIAS RODILLOS COMPACTADORES

A continuación, se visualizan las horas que estuvo el equipamiento fuera de servicio (inoperativos), por motivo de mantenimiento y/o reparación entre los años del 2017 hasta 2019.

Figura N° 30

Horas fuera de servicio por equipo, maquinarias rodillos compactadores – periodo año 2017



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 22
Horas fuera de servicio por equipo, maquinarias rodillos compactadores – periodo año 2017

Horas por Mantenimiento Preventivo y Mantenimiento Correctivo Periodo 2017						
Mes \ Activo	011-0200	011-0201	011-0203	011-0205	011-0207	011-0208
Enero	-	-	-	-	-	-
Febrero	-	-	-	-	-	-
Marzo	-	-	-	-	-	-
Abril	4	3	0	5	0	0
Mayo	3	11	0	4	0	0
Junio	5	148	20	3	45	3
Julio	3	220	119	5	103	15
Agosto	6	220	70	42	13	18
Septiembre	6	8	188	0	21	3
Octubre	2	3	160	2	19	52
Noviembre	5	0	55	2	0	83
Diciembre	3	0	9	5	9	0

Fuente: Elaboración propia

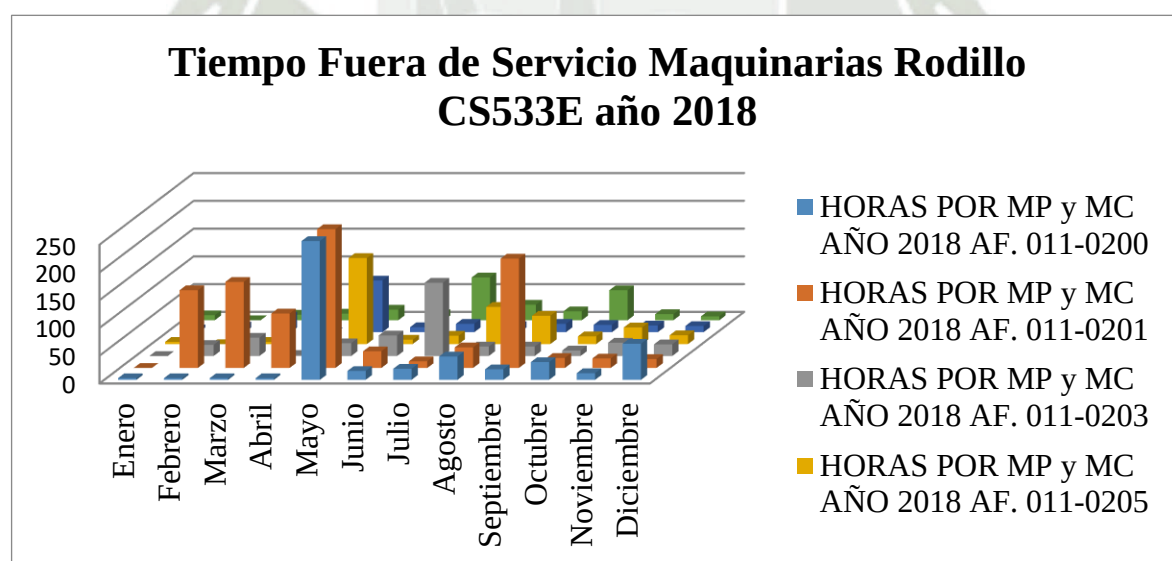
Figura N° 31
Horas fuera de servicio por equipo, maquinarias rodillos compactadores – periodo año 2018

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 23

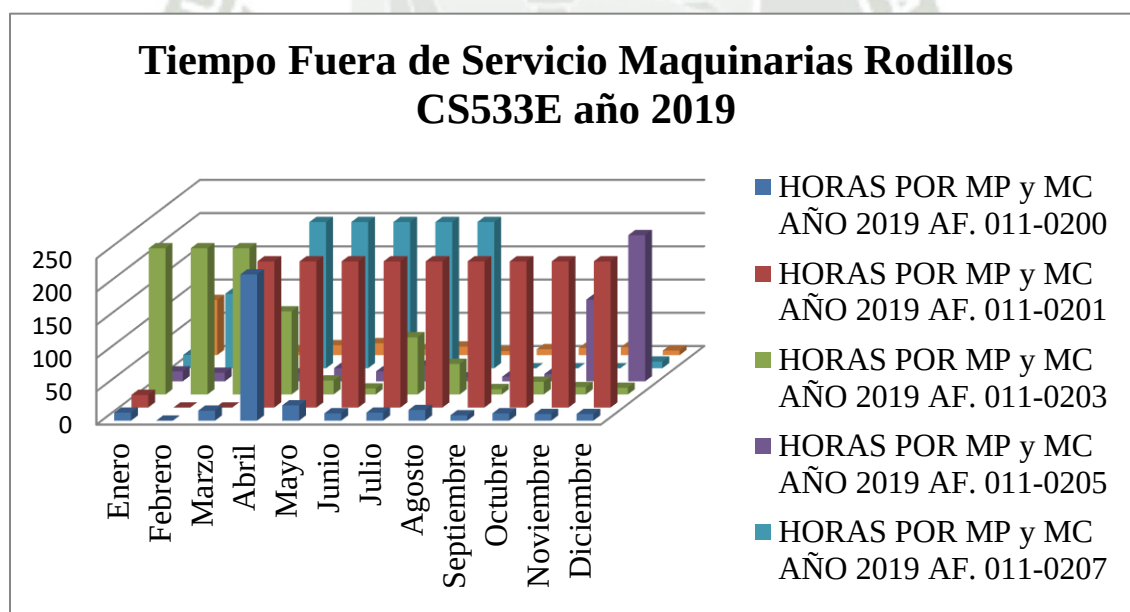
Horas fuera de servicio por equipo, maquinaria rodillo compactador – periodo año 2018

Horas por Mantenimiento Preventivo y Mantenimiento Correctivo Periodo 2018						
Mes \ Activo	011-0200	011-0201	011-0203	011-0205	011-0207	011-0208
Enero	3	0	0	4	5	9
Febrero	3	140	20	0	10	0
Marzo	3	155	33	4	28	10
Abril	3	98	2	4	0	12
Mayo	250	250	23	155	93	19
Junio	16	30	37	8	9	11
Julio	20	12	132	15	15	77
Agosto	42	37	17	67	11	28
Septiembre	19	197	17	51	15	16
Octubre	32	18	10	14	13	54
Noviembre	12	17	24	30	12	11
Diciembre	65	16	21	16	11	7

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 32

Horas fuera de servicio por equipo, maquinarias rodillos compactadores - periodo año 2019



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 24
Horas fuera de servicio por equipo, maquinaria rodillo compactador - periodo año 2019

Horas por Mantenimiento Preventivo y Mantenimiento Correctivo Periodo 2019						
Mes \ Activo	011-0200	011-0201	011-0203	011-0205	011-0207	011-0208
Enero	12	19	220	15	20	83
Febrero	0	0	220	13	112	0
Marzo	15	0	220	9	0	5
Abril	220	220	125	12	220	15
Mayo	23	220	21	20	220	18
Junio	11	220	9	15	220	9
Julio	12	220	86	24	220	13
Agosto	16	220	46	6	220	6
Septiembre	8	220	8	7	0	9
Octubre	11	220	19	11	0	11
Noviembre	10	220	11	123	0	12
Diciembre	10	220	10	220	10	7

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 25

Cuadro de disponibilidad de cada activo, maquinarias rodillos compactadores modelo CS533E

% de Disponibilidad Maquinaria Rodillo Compactador CS533E																	
2017						2018						2019					
Activos	011-0200	011-0201	011-0203	011-0205	011-0207	011-0208	011-0200	011-0201	011-0203	011-0205	011-0207	011-0208	011-0200	011-0201	011-0203	011-0205	011-0207
==>	011-0200	011-0201	011-0203	011-0205	011-0207	011-0208	011-0200	011-0201	011-0203	011-0205	011-0207	011-0208	011-0200	011-0201	011-0203	011-0205	011-0207
Disp. %	92	62	31	83	71	79	75	49	68	76	76	83	84	3	48	73	23

Fuente: Elaboración propia

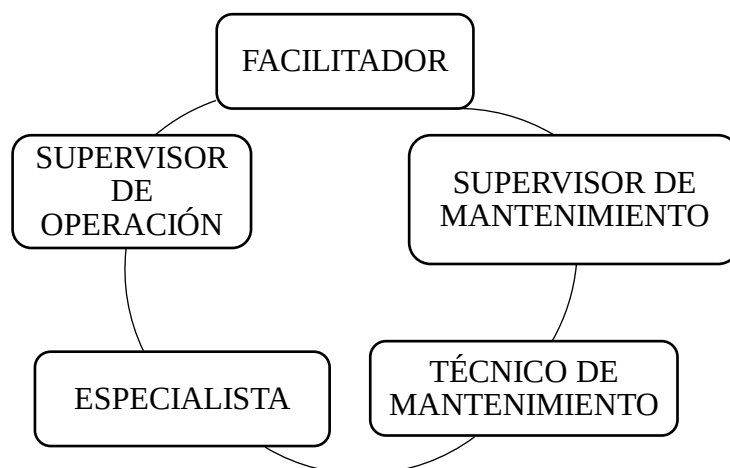
En la tabla N° 25 podemos visualizar que durante el periodo 2019 hay una baja disponibilidad de todas las maquinarias rodillos compactadores modelo CS533E, la maquinaria rodillo compactador de activo N° 011-0201 es el que tiene menor disponibilidad en los 3 años. Uno de los propósitos de este trabajo de análisis es de incrementar la disponibilidad mayor al 90% y disminuir los costos de mantenimiento.

1.4. GRUPOS DE REVISIÓN RCM

A continuación, se visualiza la conformación típica de un grupo de revisión de RCM:

Figura N° 33

Grupo típico revisión RCM



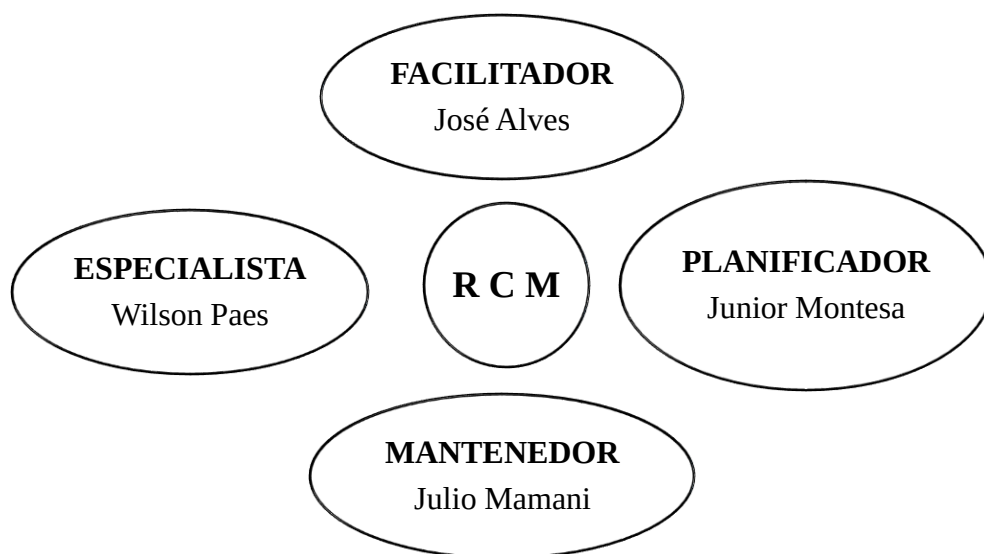
Fuente: Moubray, (2004)

Comentario: El facilitador es el asesor, el supervisor de mantenimiento es el responsable, el técnico de mantenimiento es el mecánico, el especialista es un operario mecánico, el supervisor es el responsable líder de la operación.

No obstante, las posiciones de cada integrante del grupo no tienen que ser ocupadas exactamente por las mismas personas que se muestran en la Fig. 33. La finalidad de integrar un grupo de análisis es preparar un equipo de personas que puedan proveer toda la información, conocimiento y su entendimiento del activo físico en el contexto operacional. Para el análisis RCM de la maquinaria rodillo compactador Cat. CS533E el grupo se conformó de la siguiente manera:

Figura N° 34

Grupo de análisis de la maquinaria rodillo Cat. CS533E



Fuente: Elaboración propia

Comentario: El Sr. José Alves facilitará toda la información técnica y su experiencia, el planificador revisará la información del histórico de modos de falla, el mantenedor es el gestor para los trabajos a realizar y el especialista es el experto técnico mecánico.

1.5. FUNCIÓN DE FACILITADOR

La responsabilidad principal de un facilitador de RCM es asesorar en la metodología de aplicar la estrategia RCM donde su función debe garantizar lo siguiente:

- El análisis RCM debe llevarse a cabo lo más correcto posible de acuerdo con la guía de las normas SAE JA1011 y SAE JA1012, ningún ítem importante debe ser pasado por alto y los resultados de los análisis deben ser registrados correctamente.
- Ayudar y motivar al equipo de trabajo en obtener mejores resultados
- “Centrado en el proceso y contenido. Ayuda a construir sentido de equipo y de “ganar/ganar”. (Lopez Miranda, 2016, págs. 27-28).
- Consolidar un adecuado consenso (entre operaciones y mantenimiento).
- Garantizar que las reuniones de trabajos programados sean lideradas de forma técnico profesional y se lleven a cabo con fluidez y orden.

1.6. FUNCIÓN DEL MANTENEDOR

La función del mantenedor es tener un conocimiento integral del área mantenimiento sector equipo pesado de la organización y del activo físico a analizar en el proceso para aplicarlo posteriormente en el análisis RCM. Es el especialista responsable de gestionar la ejecución de los mantenimientos preventivos, correctivos y predictivos de la empresa Constructora Recife SAC. El mantenedor seleccionado es experto en reparación de equipos pesados de marca Caterpillar como la maquinaria rodillo compactador modelo CS533E.

1.7. FUNCIÓN DEL PLANIFICADOR

La función del planificador es brindar toda la información referente registro histórico del equipo en cuanto a reparaciones correctivas, fallas, etc.

1.8. FUNCIÓN DEL ESPECIALISTA

Es el experto en el área de mantenimiento sector equipo pesado cuya función dentro del grupo es aportar su conocimiento técnico en cuanto a las especificaciones técnicas del activo físico, maquinaria rodillo compactador Cat. CS533E.

1.9. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

1.9.1. HOJA DE INFORMACIÓN DE RCM

En la figura N° 35 se visualiza el formato típico de hoja de información RCM, se dividen en cuatro columnas donde se registran la siguiente información:

- Función del activo físico
- Falla funcional (pérdida de función total o parcial)
- Modo de falla (causa de la falla)
- Efectos y consecuencias de la falla

En la columna de **FUNCIÓN** y **MODOS DE FALLA** la información se registra en números y en la columna **MODOS DE FALLA** y **EFFECTOS DE FALLAS** la información se registra mediante letras.

Figura N° 35
Estructura de la hoja de información de RCM

Hoja de Información RCM	Sistema / Activo	Sistema N°	Facilitador	Fecha	Hoja
	Sub-Sistema / Componente	Sub-Sistema N°			de
Función	Falla Funcional (Pérdida de Función)	Modo de Falla (Causa de la Falla)	Efectos de las Fallas (Que sucede cuando se produce la falla)		

Fuente: Moubray, (2004)

1.9.2. HOJA DE DECISIÓN DE RCM

En la figura N° 36 se visualiza la hoja de decisión de RCM lo cual está dividido en dieciséis columnas donde se registran la siguiente información:

- F, FF y FM identifican el modo de falla que se analiza en esa línea, se utilizan para correlacionar las referencias de las hojas de información y las hojas de decisión.

Los encabezamientos de las próximas diez columnas se refieren a las preguntas del diagrama de decisión de RCM.

- H, S, E, O, y N es donde se registran las repuestas a las preguntas referente a las consecuencias y efectos de cada modo de falla.
- H1, H2, H3, etc. es donde se registran si ha sido identificado alguna tarea de mantenimiento proactiva, y si es así qué tipo de tarea es.
- H4 y H5, o la S4 es para dar respuesta a la pregunta “a falta de”, los que permitirán registrar esas respuestas.
- Finalmente, las tres últimas columnas se utilizan para registrar la tarea de mantenimiento que ha sido seleccionada (si la hay), la frecuencia con la que debe hacerse y el responsable de la tarea de mantenimiento elegido.

Estructura de la hoja de decisión de RCM

Hoja de Decisión RCM				Sistema / Activo						Sistema N°	Facilitador	Fecha	Hoja	
				Sub-Sistema / Componente						Sub-Sistema N°			de	
Referencia de Información				Evaluación de las Consecuencias				H1	H2	H3	Acción "a falta de"	Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizarse por
								S1	S2	S3				
F	FF	FM	H	S	E	O	N1 O1	N2 O2	N3 O3	H4	H5	S4		

Fuente: Moubray, (2004)

Fuente: Moubray, (2004)

DIAGRAMA DE DECISIÓN DE RCM

En la figura N° 37 se visualiza el diagrama de decisión de RCM, “d todos los procesos de decisión en una estructura estratégica y ún 2004, pág. 202) Las mismas son aplicadas a cada uno de los registrados en la hoja de información de RCM y las respuestas que

- “Que mantenimiento de rutina (si lo hay) será realizado, con q será realizado y quién lo hará.

registrados en la hoja de información de RCM y las respuestas que

- “Que mantenimiento de rutina (si lo hay) será realizado, con qué frecuencia y quién lo hará.
- Que fallas son lo suficientemente serias como para justificar el reemplazo.
- Casos en los que se toma la decisión deliberada de dejar que la falla ocurran”. (Moubray, 2004, pág. 202)

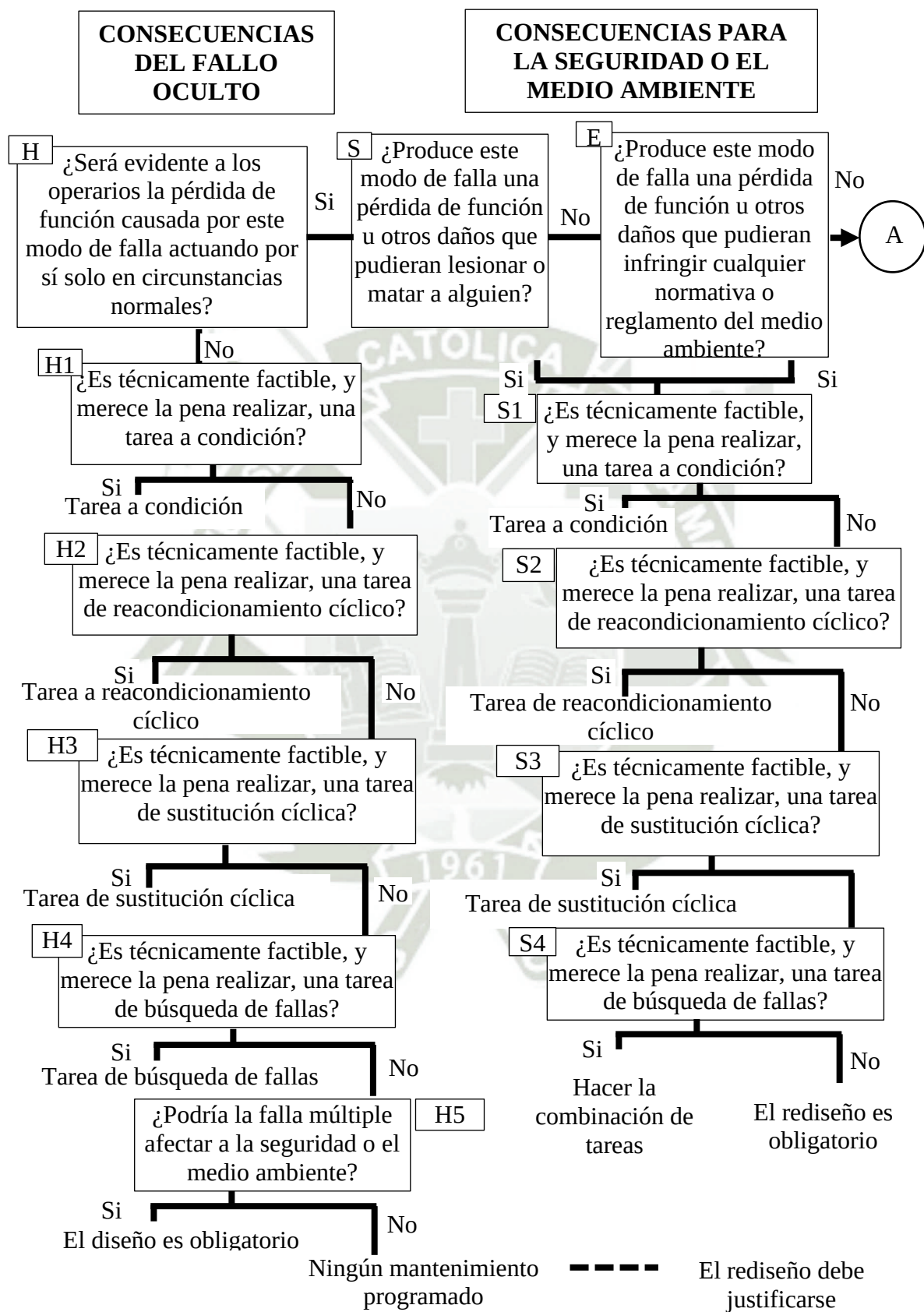
A continuación, se detallan paso a paso de cómo se debe realizar el diagnóstico de una falla y sus consecuencias a través del diagrama de decisión, la correcta tarea de mantenimiento para el activo físico, además de ser evidenciado que debe hacerse si no se consigue una tarea adecuada.

- “Que mantenimiento de rutina (si lo hay) será realizado, con qué frecuencia será realizado y quién lo hará.
- Que fallas son lo suficientemente serias como para justificar el rediseño.
- Casos en los que se toma la decisión deliberada de dejar que las fallas ocurran”. (Moubray, 2004, pág. 202)

A continuación, se detallan paso a paso de cómo se debe realizar el análisis de cada falla y sus consecuencias a través del diagrama de decisión, registrándose la correcta tarea de mantenimiento para el activo físico, además debe quedar evidenciado que debe hacerse si no se consigue una tarea adecuada.

Figura N° 37

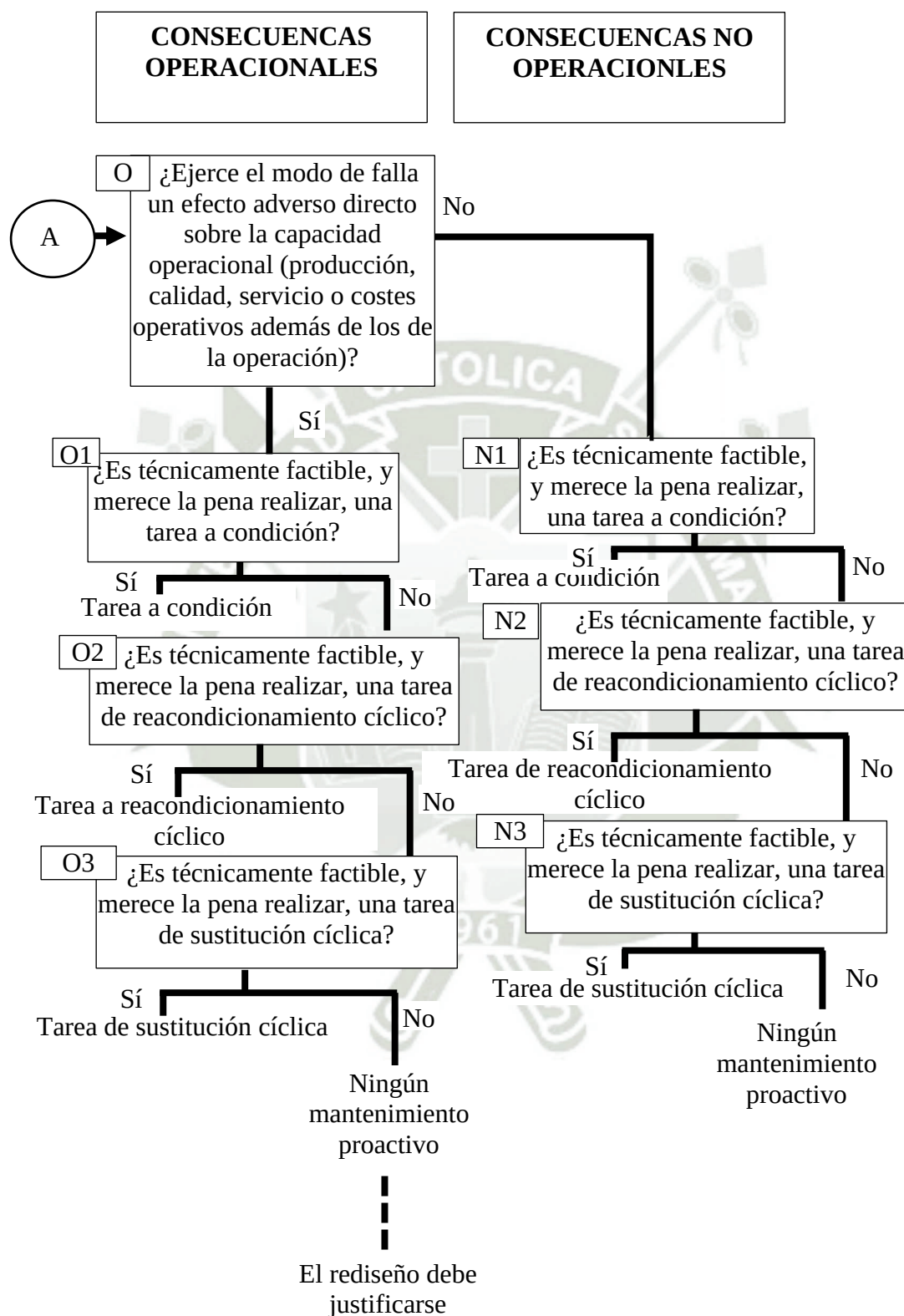
Diagrama de decisión de RCM



Fuente: Moubray, (2004)

Figura N° 38

Diagrama de decisión de RCM (continuación)



Fuente: Moubray, (2004)

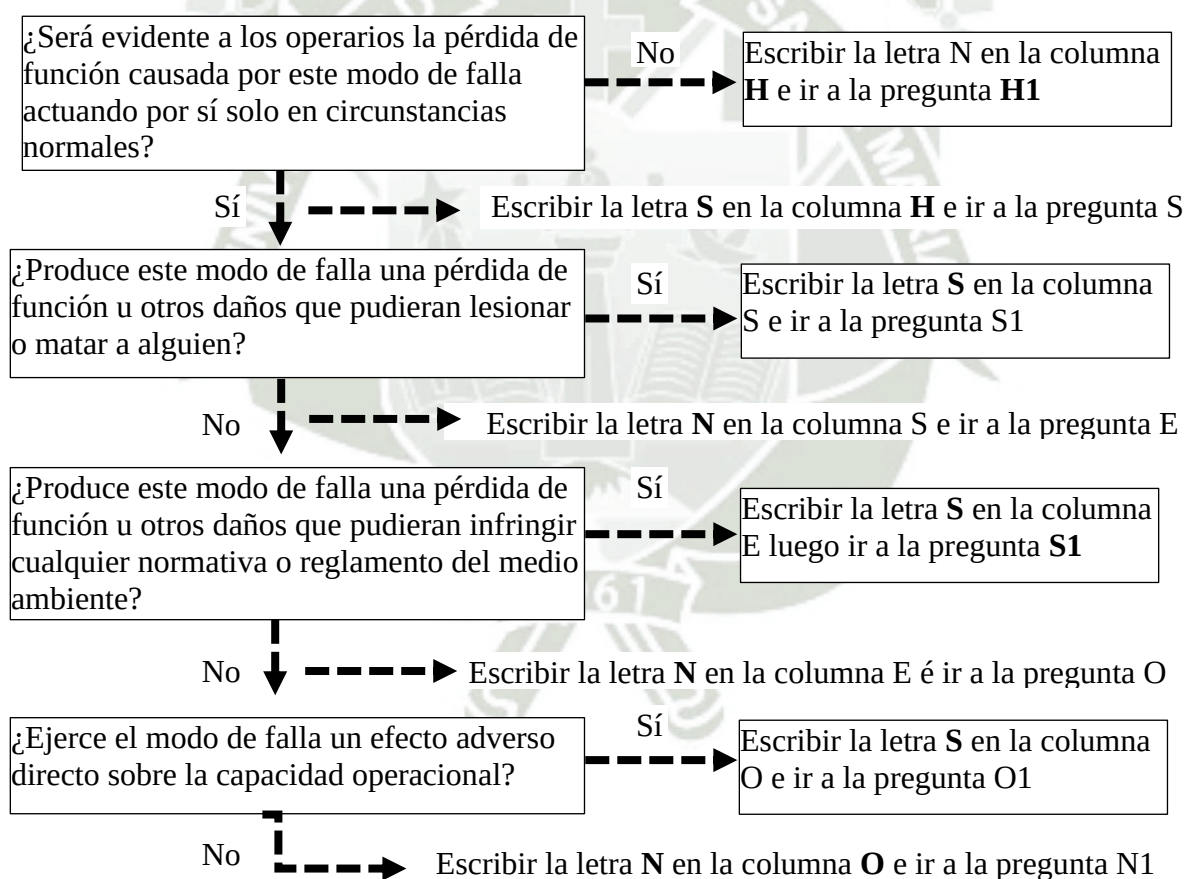
1.9.3.1. EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS DE LA FALLA

En la figura N° 39 se visualizan la clasificación de todas las fallas justificando sus efectos y consecuencias. De esta manera dividir las fallas ocultas de las fallas evidentes, seguidamente se ordenan las consecuencias de las fallas evidentes en un orden de relevancia decreciente.

Las letras H, S, E, O y N de la hoja de decisión de RCM se detallan en la figura N° 39 las mismas son utilizadas para registrar respuestas a las preguntas referente a las consecuencias de cada modo de falla de un activo físico.

Figura N° 39

Como se registran las consecuencias de falla en la hoja de decisión



Fuente: Moubray, (2004)

En la figura N° 40 se ilustra de cómo se registran las respuestas a las preguntas en la hoja de decisión de RCM.

Todos los modos de falla son localizados en una sola categoría de consecuencias, por lo tanto, si es clasificado con consecuencias ambientales, ya no se evaluación

sus consecuencias operacionales, esto porque el medio ambiente es considerado de alta importancia según la estrategia de RCM.



Figura N° 40

Resumen de las consecuencias de falla

Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				
F	FF	MF	H	S	E	O	
3	A	1	N	---	---	---	→ Una falla oculta: para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea preventiva debe reducir el riesgo de esta falla aun nivel tolerable
5	B	2	S	S	---	---	→ Consecuencias para la seguridad: para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea preventiva debe reducir por si sola el riesgo de esta falla a un nivel tolerable
2	C	4	S	N	S	---	→ Consecuencias para el medio ambiente: para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea preventiva debe reducir por si sola el riesgo de esta falla a un nivel tolerable
1	A	5	S	N	N	S	→ Consecuencias operacionales: para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea preventiva a través de un periodo de tiempo debe costar menos que el costo total de las consecuencias operacionales más el costo de la reparación de la falla que pretende prevenir
1	B	3	S	N	N	N	→ Consecuencias no operacionales: para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea preventiva a través de un periodo de tiempo debe costar menos que el costo de la reparación de las fallas que pretende prevenir

Fuente: Moubray, (2004)

1.9.3.2. FACTIBILIDAD TÉCNICA DE TAREAS PROACTIVAS

A partir de la columna octava a la décima de la hoja de decisión de RCM, se utilizan para registrar tareas proactivas de mantenimiento en caso fueran seleccionadas, lo cual se detalla a continuación:

- Las letras H1, S1, O1 y N1 en esta columna se registran si fue encontrado alguna tarea de mantenimiento a condición para predecir el modo de falla a tiempo y evitar paradas no programadas, así como sus efectos y consecuencias.
- Las letras H2, S2, O2 y N2 en esta columna se registran si fue encontrado alguna tarea de mantenimiento por reacondicionamiento cíclico para prevenir las fallas.
- Las letras H3, S3, O3 y N3 en esta columna se registran si fue encontrado alguna tarea de mantenimiento por sustitución cíclica ya sea por edad operacional, etc. para prevenir las fallas.

Es importante precisar que cada tarea de mantenimiento es apropiada si solamente merece la pena realizar y también si es técnicamente viable.

Una tarea de mantenimiento técnicamente viable y merezca la pena realizarla, es necesario dar una respuesta afirmativa a todas las interrogantes que se visualizan en la figura N° 41, la que se refieren a esta categoría de tareas de mantenimiento, la tarea debe dar respuesta al criterio de **“merece la pena ser realizada”**, si la respuesta es negativa o no se tiene conocimiento, entonces se rechaza la tarea de mantenimiento completamente.

Figura N° 41
Criterios de factibilidad técnica

<i>H1</i>	<i>H2</i>	<i>H3</i>
<i>S1</i>	<i>S2</i>	<i>S3</i>
<i>O1</i>	<i>O2</i>	<i>O3</i>
<i>N1</i>	<i>N2</i>	<i>N3</i>
<i>S</i>	----->	¿Es técnicamente factible realizar una tarea a condición para reducir la consecuencia de la falla? ¿Hay alguna condición de falla potencial? ¿Cuál es? ¿Cuál es el intervalo P-F? ¿Es suficientemente largo como para ser de utilidad? ¿Es razonable y consistente? ¿Es posible realizar la tarea a intervalos menores al intervalo P-F?
<i>N</i>	<i>S</i> ----->	¿Es técnicamente factible una tarea de reacondicionamiento programado para reducir la frecuencia de la falla? ¿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? ¿Restituirá la tarea de resistencia original a la falla?
<i>N</i>	<i>N</i>	<i>S</i> -----> ¿Es técnicamente factible realizar una tarea de sustitución cíclica para reducir la frecuencia de la falla? ¿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?

Fuente: Moubray, (2004)

Al seleccionar una tarea de mantenimiento, se registran la descripción de la tarea con el mayor detalle y precisión posible para que el técnico de mantenimiento pueda entender claramente que tareas debe realizar y con qué frecuencia debe ser efectuado.

1.9.3.3. LAS PREGUNTAS “A FALTA DE”

Las letras H4, H5 y S4 en esta columna de la hoja de decisión es donde se registran las respuestas a las interrogantes “a falta de”. En la figura N° 42 se visualizan de cómo dar respuesta a estas interrogantes. Es importante indicar que las preguntas “a falta de” solo serán interrogados si las respuestas a las preguntas de las columnas H4, H5 y S4 todas indiquen “no”.

Figura N° 42
Las preguntas “A falta de”

Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1 01	H2 S2 02	H3 S3 03	Tareas “a falta de”		
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4
3	A	1	N				N	N	N	S	---	---
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	---
4	C	2	N				N	N	N	N	S	---
(Sólo se hace esta pregunta si la respuesta a la pregunta H4 es No.) Si la respuesta a esta pregunta es Sí, el rediseño es obligatorio. Si la respuesta es No, la acción “a falta de” es no realizar mantenimiento programado, pero el rediseño puede ser deseable.												
5	B	2	S	S			N	N	N			S
2	A	5	S	S			N	N	N			N
“Si”, si la 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	---	---	---
1	B	3	S	N	N	N	N	N	N	---	---	---
Como resultado, la decisión “a falta de” inicial es no realizar mantenimiento programado, pero el rediseño puede ser deseable.												

¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una tarea de búsqueda de falla?

¿Podría la falla múltiple afectar la seguridad o el medio ambiente?

¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una combinación d tareas?

En estos dos casos, las consecuencias de la falla son puramente económicas y no se pudo encontrar una tarea proactiva apropiada.

Fuente: Moubray, (2004)

Comentario: En caso exista propuesta de rediseño el mantenedor deriva esta alternativa al área de ingeniería de confiabilidad para su análisis.

Si surge la necesidad de responder a cualquiera de las interrogantes “**a falta de**”, las columnas H4, H5 y S4 permitirán registrar dichas repuestas.

En las tres últimas columnas se registran tareas de mantenimiento que fueron seleccionados “**en caso exista**”, la frecuencia de intervención de mantenimiento y asignación del responsable en su ejecución. La columna “**Tareas Propuestas**” son utilizadas para registrar en caso requiera rediseño o si ha tomado la opción de que el modo de falla no requiere un mantenimiento programado.



2. ANÁLISIS DE COSTOS

2.1. ANÁLISIS DE COSTOS FMA MODIFICADO

En este formato se detallan una metodología que permite precisar los modos de falla de los componentes críticos de un sistema, el impacto y la frecuencia con que se presentan (el formato se ilustra en anexo 2).

Tabla N° 26

Clasificación de costos de mantenimiento por sistemas

Sistema	Costo Anual US\$	Frecuencia Relativa %	Frecuencia Acumulada
Motor	25,564.71	47.90	47.90
Hidráulico	22,695.66	42.52	90.42
Eléctrico	3,113.25	5.83	96.25
Implemento	2,001.75	3.75	100.00
Total US\$ 53,375.37			

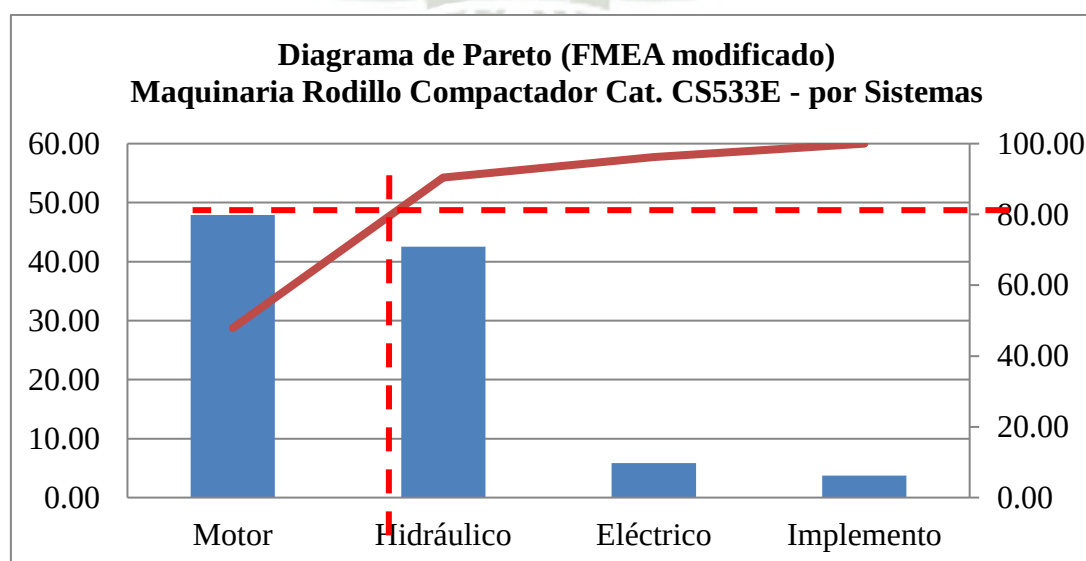
Fuente: Elaboración propia

2.2. DIAGRAMA DE PARETO DE FMA MODIFICADO POR SISTEMAS

Se debe dar atención y análisis al sistema de Motor, por presentar el 80% de costos por modo de falla, de la maquinaria Rodillo Compactador Cat. CS533E.

Figura N° 43

Diagrama de pareto (FMEA modificado), maquinaria rodillo compactador CAT. CS533E por sistemas



Fuente: Elaboración propia

2.3. COSTOS DE MANTENIMIENTO CON LA APLICACIÓN DE RCM PARA LOS PRÓXIMOS 12 MESES (ANUAL).

Al aplicar la filosofía de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), la inversión estimada es US\$ 12,725.31.

Tabla N° 27

Costos de mantenimiento con la aplicación de RCM – anual

Componente / Sistema	Costo Total Mano de Obra
	(US\$)
Total Combustible	143.00
Total Lubricación	130.00
Total Admisión	130.00
Total Enfriamiento	94.25
Total Eléctrico	104.00
Total Escape	260.00
Total Protección	585.00
Total Dirección	1,735.50
Total Vibración	1,186.25
Total Propulsión	2,154.75
Total Otros	6,202.56
Costo Total US\$	12,725.31

Fuente: Elaboración propia

El detalle de los costos de aplicación de RCM para los próximos 12 meses se encuentra en anexo 3.

2.4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS DE MANTENIMIENTO, TRADICIONAL Y RCM.

En la Tabla N° 28 se muestra los costos de mantenimiento convencional y RCM, donde podemos visualizar que el 24% representa el costo de aplicación de RCM, por lo que justifica invertir US\$ 12,725.31.

Tabla N° 28

Análisis comparativo de costos de mantenimiento tradicional y RCM

Descripción de Costos	Mantenimiento Convencional US\$	Mantenimiento Con RCM US\$	% RCM / Convencional
Costos de Mantenimiento Anual	53,375.36	12,725.31	24%

Fuente: Elaboración propia

2.5. ANÁLISIS DE COSTOS ANUAL POR LA FLOTA DE EQUIPOS (06 MAQUINARIAS RODILLOS COMPACTADORES CS533E).

La constructora Recife SAC cuenta con una flota de 06 maquinarias rodillos compactadores Cat. modelo CS533E, con el análisis de costos podemos visualizar que, al no contar con una filosofía de mantenimiento de acorde a las nuevas técnicas de ingeniería de mantenimiento como Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, está invirtiendo en mantenimiento US\$ 320,252.18 y con la aplicación de RCM ahorraría US\$ 76,351.86 equivalente al 24% del costo total.

Además, con el mantenimiento convencional la disponibilidad actual es menor al 90%.

Tabla N° 29
Análisis de costos de mantenimiento flota maquinarias rodillos CAT. CS533E - anual

Descripción de Costos	Cant. Equipos	Costo Unitario Anual US\$	Costo Total US\$
Costo de Mantenimiento Convencional	6	53,375.36	320,252.18
Costo de Mantenimiento con RCM	6	12,725.31	76,351.86
Ahorro Obtenido al aplicar RCM US\$		243,900.32	

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Primera. Los altos costos de mantenimiento en las maquinarias rodillos compactadores Caterpillar CS533E de la Constructora Recife S.A.C., con la implementación de la estrategia de mantenimiento (RCM), la empresa obtendrá un ahorro de US\$ 243,900.32 anual (Tabla N° 29).

Segunda. El método de análisis de costos FMA modificado ayudó a la identificación de las causas y efectos de las fallas que se producen en los componentes del equipo, por lo que es de mucha ayuda al momento de realizar las acciones para prevenir las fallas que se presenten en las maquinarias rodillos compactadores Caterpillar modelo CS533E. En la Tabla N° 26, se pudo evidenciar que el porcentaje de sistemas que poseen un costo relativamente alto es el motor con 47.90%, con respecto a otros sistemas de 42.52% Hidráulico, 5.83% Eléctrico y 3.75% Implementos, que no es alarmante, pero se lo puede mitigar con actividades preventivas.

Tercera. Al no contar con una estrategia de mantenimiento como RCM, los costos de indisponibilidad anual por la flota de 6 maquinarias rodillos compactadores serán de US\$ 320,252.18 (ver Tabla N° 28) lo cual es mayor a los costos de mantenimiento con la aplicación de RCM siendo US\$ 76,351.86.

Cuarta. Al realizar este análisis se generó una base de datos con información actual y detallada de todos los modos de fallas que han sucedido y que posiblemente sucedan al equipo. Cabe recalcar que el propósito de un análisis de implementación de RCM es su retroalimentación; o sea no es idóneo quedarse con el análisis en sí, a medida que vayan ocurriendo los modos de fallas no consideradas en el estudio, éstas deben ser incluidas en el análisis junto con su tarea proactiva de mantenimiento.

Quinta. Los sistemas de equipo se han separado en subsistemas para un mayor detalle en la descripción de sus Funciones primarias, en la falla funcional, en el modo de falla y en la consecuencia de la falla.

Sexta Los procedimientos de mantenimientos de un equipo pesado propuestos por los distribuidores (Dealers), generalmente son efectivos hasta cierto punto, ya que no todos los equipos operan bajo los mismos parámetros de funcionamiento, o bajo el mismo contexto operacional, realizar un análisis de la implementación de RCM a un

equipo nuevo o que lleve poco tiempo operando es de gran ayuda para el personal de mantenimiento, porque se pueden tomar Decisiones más rápidas y más asertivas en cuanto a las posibles fallas y su respectiva tarea proactiva a realizar.



RECOMENDACIONES

- Primera.** Desarrollar análisis de costos de mantenimiento mensual para tomar acciones correctivas para el siguiente periodo.
- Segunda.** Dar a conocer al personal técnico sobre la importancia que tiene el registro de fallas y de las actividades que se realiza para mitigarlas.
- Tercera.** Desarrollar un registro de modos de fallas y las actividades que se realizan para mitigarlas.
- Cuarta.** Supervisar el cumplimiento en la ejecución de las tareas del mantenimiento indicados en la hoja de decisión del RCM.
- Quinta.** Se propone la ejecución de auditorías de mantenimiento periódico (anual) para el cumplimiento de la Estrategia RCM.
- Sexta.** Se sugiere realizar los costos de indisponibilidad por tiempo de parada a los equipos críticos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arata, A. (2013). *Ingeniería de la Confiabilidad*. Santiago - Chile: RIL Editores.
- Ariza Rincón, A. J. (2008). *Aplicación de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) a equipos de Minería a Cielo Abierto tomando como piloto la flota de taladros de Voladura*. Bucaramanga, Colombia: s.e.
- Bloom, N. B. (2006). *Reliability Centered maintenance (RCM), Implementation Made Simple*. Estados Unidos: MCGraw-Hill Companies.
- Caterpillar Inc. (2 de Junio de 2017). *Service Information System*. Obtenido de Documentation (Document Structure): <https://sis.cat.com/sisweb/servlet/cat.cis.sis.PCcontroller>.
- Córdova Morales, C. R. (2005). *Implantación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (Rcm) a los Hornos Convertidores Peirce Smith de la Fundición de Cobre de Southern Peru Copper Corporation*. Lima: s.e.
- Felix A. Marten, J. D. (2010). *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE: A CASE STUDY OF RAILWAY TRANSIT MAINTENANCE TO ACHIEVE OPTIMAL PERFORMANCE*. Estados Unidos: Mineta Transportation Institute.
- Gutierrez, A. M. (2007). *Mantenimiento, planeacion, ejecucion y control*. Bogota: Alfaomega.
- Huancaya. (2016). *Mejora de la Disponibilidad Mecánica y Confiabilidad Operacional de una Flota de Cosechadoras de Caña de Azúcar de 40 T/H de Capacidad*. Lima: [Tesis para optar el título profesional de ingeniero mecánico].
- International Organization For Standarization. (2004). *Norma para Industrias de petróleo y gas natural ISO 14224. Recopilación e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de los equipos*. Estados Unidos: s.e.
- Lopez Miranda, W. (27-28 de Mayo de 2016). RCM Reliability Centered Maintenance. 27. Lima, Arequipa, Perú.

Marquez, C. A. (2012). *Aproximacion a la Confiabilidad Aplicaciones Practicas*. España: INGEMAN.

Marquez, C. A. (2012). *Ingenieria de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestion de Activos*. España: INGEMAN.

Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM II)*. Inglaterra: Aladon Ltd.

Ninacuri Tenemaza, J. (2016). *Análisis de Mantenimiento de la Maquinaria Pesada del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Pastaza y su Incidencia en la Disponibilidad*. Ambato: [tesis para optar el título profesional de ingeniero mecánico].

Norma para Vehículos Aeroespaciales y de Superficie SAE JA1011. (1999). *Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. Estados Unidos.

Pascual J., R. (2004). *Mantención de Maquinaria*. Chile: Universidad de Chile.

Ramesh Gulati, C. (2013). *Maintenance and Reliability Best Practices*. New York: Terrence O'Hanlon.

Ricky Smith, R. K. (2011). *Rules of Thumb for Maintenance and Reliability Engineers*. Butterworth-Malacia: Heinemann.

Siles Nates, F. D. (2014). *Estudio del Area de Tornos para la Implementación del Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM) en el LAPROIM de la UCSM Arequipa 2014*. Arequipa: s.e.

Smith, A. M. (2007). *Reliability-centered Maintenance*. Estados Unidos: McGraw-Hill.

Tavares, L. A. (2015). *Adminstracion Moderna de Mantenimiento*. Brasil: Novo Polo Publicaciones.

Tavares, L. A. (2015). *Mantenimiento Centrado en el Negocio*. Brasil: Novo Polo Publicaciones.

Universidad Católica de Valparaíso - Chile. (2015). *Compactación de suelos*. Chile: se.

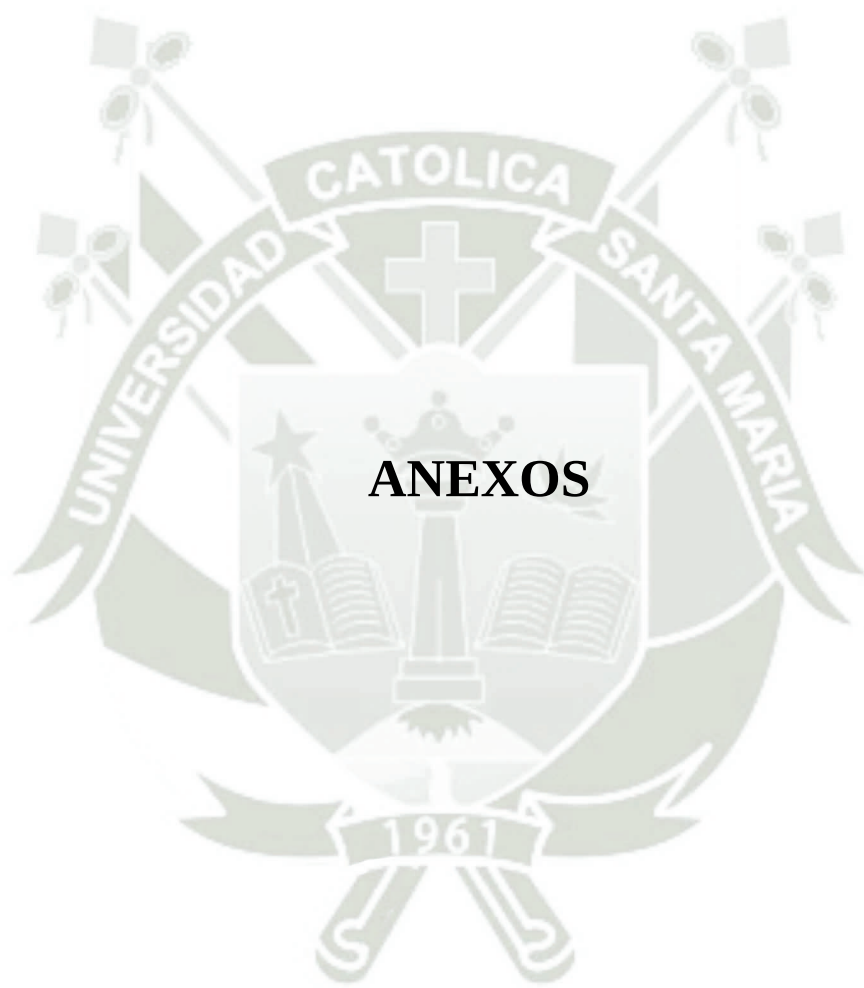
Vásquez. (2008). *Aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM en los Motores Detroit 16v-149ti en Codelco División Andina*. Valdivia: [Tesis optar el título profesional de ingeniero mecánico].

Vasquez, D. (2008). *Aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM en motores Detroit 16v-149ti en Codelco División Andina*. Valdivia, Valdivia, Chile.

Veloso, N. (2004). *Gerenciamento e Manutenção de Equipamentos*. Brasil.

Zwingelstein, G. C. (2014). *Reliability Centered Maintenance Methods*. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Incorporated.







ANEXO N° 01

DETALLE DE ANÁLISIS DE COSTOS FMA MODIFICADO

ANALISIS DE COSTOS FMA MODIFICADO

MAQUINARIA RODILLO COMPACTADOR CODIGO 011-0207, MODELO: CS533E

MAQUINARIA RODILLO COMPACTADOR CODIGO 011-0207, MODELO: CS533E						IMPACTO					
ANÁLISIS DE FMEA MODIFICADO											
Cod.Eq	Sistema	Sub-S.	Evento	Modo de falla	F. Anual	Tiempo horas	Costo mano de obra US\$	Costo de Repuesto US\$	Perdida de producción US\$	Costo de falla US\$	Costo anual US\$
011-0207	Motor	Combustible	Incapaz de inyectar combustible, o lo hace de manera deficiente.	Fallo de los sellos de agua en culata, que separa sistema de enfriamiento con sistema de inyección.	1	8	52.00	-	256.00	308.00	308.00
				Colador y líneas del combustible restringidos.	3	24	156.00	-	768.00	924.00	2,772.00
				Exceso o distribución irregular del combustible	1	24	156.00	-	768.00	924.00	924.00
				Boquilla rociadora u orificios del inyector bomba obstruidos parcialmente	1	24	156.00	-	768.00	924.00	924.00
				Orificios del inyector agrandados.	1	24	156.00	-	768.00	924.00	924.00
				Acumulación de suciedad en el inyector.	1	24	156.00	-	768.00	924.00	924.00
			Incapaz de transferir el combustible	Falta de combustible	3	24	156.00	-	768.00	924.00	2,772.00
				Conexiones sueltas entre la bomba de combustible, línea de aspiración y el tanque.	1	24	156.00	-	768.00	924.00	924.00
				La bomba de combustible no gira	1	24	156.00	-	768.00	924.00	924.00
				Engranajes o cuerpo de la bomba desgastados	1	24	156.00	2,500.00	768.00	3,424.00	3,424.00
011-0207	Motor	Lubricación	Incapaz de transferir el aceite lubricante o lo hace a una presión inferior a 52 psi.	Nivel de aceite bajo	1	0.5	3.25	5.00	16.00	24.25	24.25
				Enfriador de aceite obstruido.	1	8	52.00	73.53	256.00	381.53	381.53
				Tapones faltantes de la galería, cigüeñal o árbol de levas.	1	2	13.00	45.00	64.00	122.00	122.00
				Tamices de admisión parcialmente obstruidos.	1	1	6.50	55.00	32.00	93.50	93.50
				Pérdida de la succión del tamiz	1	0.5	3.25	39.00	16.00	58.25	58.25
				Bomba de aceite desgastada o dañada	1	1	6.50	300.00	32.00	338.50	338.50
				Fuga de aire en la aspiración de la bomba	1	0.5	3.25	-	16.00	19.25	19.25
				Válvulas de alivio, reguladora de presión o de desvío del enfriador defectuosas.	1	0.25	1.63	120.00	8.00	129.63	129.63
			Transfiere el aceite lubricante a una presión mayor a 52 psi.	Exceso de aceite en el cárter.	1	0.25	1.63	95.00	8.00	104.63	104.63
			Incapaz de lubricar o lo hace de manera defectuosa	Aceite lubricante incorrecto	1	0.25	1.63	99.33	8.00	108.96	108.96
				Aceite contaminado	1	50	325.00	500.00	1600.00	2,425.00	2,425.00
				Cárter roto o dañado	1	2	13.00	726.00	64.00	803.00	803.00
			Fuga de aceite	Niples de sensores de presión de aceite con hilo cortado o falta de teflón.	1	0.25	1.63		8.00	9.63	9.63
			Fuga de aceite	Pérdida de aceite sector damper	1	1	6.50	69.00	32.00	107.50	107.50

Fuente: Elaboración propia.

Cod.Eq	Sistema	Sub-S.	Evento	Modo de falla	F. Anual	Tiempo horas	Costo mano de obra US\$	Costo de Repuesto US\$	Perdida de producción US\$	Costo de falla US\$	Costo anual US\$
011-0207	Motor	Admisión de Aire	Incapaz de suministrar la masa de aire, o inyecta menos de la debida	Lóbulos del soplador trabados por agente extraño	1	0.5	3.25	-	16.00	19.25	19.25
				Falta de lubricación de los cojinetes	1	0.25	1.63	99.00	8.00	108.63	108.63
			Proporción de masa de aire se desvía hacia el Carter	Junta entre el soplador y el bloque dañado	1	0.25	1.63	24.00	8.00	33.63	33.63
				Fugas por la junta de la placa de extremo del bloque	1	0.25	1.63	24.00	8.00	33.63	33.63
				Anillos de lubricación gastados	1	1	6.50	122.00	32.00	160.50	160.50
				Pistón rajado/quebrado o camisa de cilindro dañada	1	4	26.00	1,083.00	128.00	1,237.00	1,237.00
				Juntas de las culatas de los cilindros en mal estado	1	4	26.00	65.44	128.00	219.44	219.44
			Incapaz de aumentar la eficiencia del motor	Insuficiencia de Lubricación por: aceite fuera de la especificación u obstrucción en las tuberías o canales de lubricación de la carcasa central del turbo.	1	2	13.00	1,754.00	64.00	1,831.00	1,831.00
			Incapaz de aumentar la eficiencia del motor	Aceite contaminado por: carbonización por alta temperatura, partículas provenientes del desgaste de otros componentes del motor o residuos de combustión incompleta.	1	1	6.50	-	32.00	38.50	38.50
			Incapaz de aumentar la eficiencia del motor	Obstrucción en el sistema de admisión de aire	1	1	6.50	84.00	32.00	122.50	122.50
			Incapaz de aumentar la eficiencia del motor	Material ajeno alojado en las ruedas del compresor o de turbina	1	2	13.00	800.00	64.00	877.00	877.00
			Pérdida de potencia del motor	Acumulación de suciedad en el compresor	1	1.5	9.75	-	48.00	57.75	57.75
011-0207	Motor	Enfriamiento	No mantiene una temperatura adecuada de funcionamiento, la cual está por debajo de los 81°C.	Fugas excesivas por el sello de termostato	1	0.25	1.63	45.00	8.00	54.63	54.63
			No mantiene una temperatura adecuada de funcionamiento, la cual está por sobre los 95°C.	Circulación pobre de refrigerante, debido a falta de éste en el circuito. También puede deberse a mangueras deterioradas o dobladas	1	0.5	3.25	85.00	16.00	104.25	104.25
			No mantiene una temperatura adecuada de funcionamiento, la cual está por sobre los 95°C.	Transferencia de calor insuficiente, debido a formación de escamas en el circuito de refrigeración.	1	1	6.50	166.67	32.00	205.17	205.17
			Incapaz de bombear el líquido refrigerante o lo hace de manera defectuosa.	Impulsor de la bomba de agua suelto o dañado	1	2	13.00	287.00	64.00	364.00	364.00
			Incapaz de bombear el líquido refrigerante o lo hace de manera defectuosa.	Cavitación debido a aire atrapado en el sistema	1	2	13.00	-	64.00	77.00	77.00
			Incapaz de regular el flujo de refrigerante o lo hace de manera incorrecta.	Termostato no cierra.	1	0.5	3.25	44.55	16.00	63.80	63.80
			Incapaz de contener el líquido refrigerante.	Fuga de refrigerante por sellos eje bomba.	1	0.25	1.63	6.32	8.00	15.95	15.95
011-0207	Eléctrico	Eléctrico	Incapaz de suministrar energía	Banco de baterías descargado	1	0.5	3.25	678.00	16.00	697.25	697.25
				Conexiones eléctricas dañadas o sueltas.	1	3	19.50	-	96.00	115.50	115.50
				Bornes en mal estado	1	0.5	3.25	10.00	16.00	29.25	29.25
			Incapaz de hacer arrancar el motor	Bendix del motor de arranque pegado	1	4	26.00	540.00	128.00	694.00	694.00
				Dientes del piñón del motor de arranque fracturados.	1	0.5	3.25	-	16.00	19.25	19.25
				Depósitos de carbón entre las delgas del motor de arranque.	1	2	13.00	-	64.00	77.00	77.00
				Inducido del motor de arranque quemado.	1	0.5	3.25	-	16.00	19.25	19.25
			Incapaz de mantener la carga de la batería	Regulador de carga del alternador quemado.	1	1	6.50	30.00	32.00	68.50	68.50

Fuente: Elaboración propia.

Cod.Eqp	Sistema	Sub-S.	Evento	Modo de falla	F. Anual	Tiempo horas	Costo mano de obra US\$	Costo de Repuesto US\$	Perdida de producción US\$	Costo de falla US\$	Costo anual US\$
011-0207	Motor	Escape	Abre o cierra las válvulas de manera defectuosa.	Válvula pegajosa, por depósitos de carbón en asientos o cabeza de válvula.	1	2	13.00	99.00	64.00	176.00	176.00
			Abre o cierra las válvulas de manera defectuosa.	Válvula Doblada	1	1	6.50	-	32.00	38.50	38.50
			Abre o cierra las válvulas de manera defectuosa.	Todas las válvulas dobladas	1	1	6.50	104.00	32.00	142.50	142.50
			Incapaz de conducir los gases o hay demasiada contrapresión de escape.	Tubería de escape defectuosa	1	1	6.50	-	32.00	38.50	38.50
011-0207	Eléctrico	Protección	Incapaz de activar la alarma sonora ni activar el mecanismo de detención del motor.	Conexiones eléctricas flojas del sensor.	2	2	13.00	150.00	64.00	227.00	454.00
				Sensor en falla o descalibrado	1	1	6.50	-	32.00	38.50	38.50
				Conexiones eléctricas flojas del sensor.	2	2	13.00	-	64.00	77.00	154.00
				Sensor en falla o descalibrado.	3	1	6.50	-	32.00	38.50	115.50
				Conexiones eléctricas flojas del sensor.	2	2.5	16.25	-	80.00	96.25	192.50
				Sensor en falla o descalibrado	1	1	6.50	-	32.00	38.50	38.50
			Incapaz de activar la alarma.	Termocuplas dañadas o en falla.	1	1	6.50	-	32.00	38.50	38.50
				Conexiones eléctricas dañadas o sueltas.	2	2	13.00	-	64.00	77.00	154.00
				Sensor dañado o descalibrado	1	0.5	3.25	150.00	16.00	169.25	169.25
			No detiene el motor.	Válvulas en la cámara de interrupción de aire atascadas.	1	1	6.50	-	32.00	38.50	38.50
011-0207	Hidráulico	Dirección	La bomba de engranajes es ruidosa y los pistones de los cilindros de la dirección no se mueven con facilidad.	Presencia de aire en el circuito hidráulico de la dirección	1	0.5	3.25		16.00	19.25	19.25
				La bomba de engranajes está desgastada (N/P 255-0625)	1	2	13.00	1,243.00	64.00	1,320.00	1,320.00
				Hay una conexión floja en la tubería de aceite conectada al lado de entrada de la bomba de la dirección.	1	0.5	3.25	-	16.00	19.25	19.25
				El nivel de aceite hidráulico es bajo.	1	0.25	1.63	4.66	8.00	14.29	14.29
				La viscosidad del aceite hidráulico no es correcta	1	2	13.00	186.40	64.00	263.40	263.40
			Se necesita demasiada fuerza para girar el volante.	La válvula de alivio se ha atascado en la posición abierta	1	1	6.50	-	32.00	38.50	38.50
				El nivel de aceite hidráulico está bajo.	1	0.25	1.63	2.33	8.00	11.96	11.96
				La presión de aceite de la bomba de engranajes es demasiado baja.	1	0.5	3.25	-	16.00	19.25	19.25
				El alineamiento de la columna de la dirección no es correcto.	1	2	13.00	-	64.00	77.00	77.00
				El nivel de aceite hidráulico es bajo.	1	0.25	1.63	2.33	8.00	11.96	11.96
				Hay aire en el sistema hidráulico.	1	0.5	3.25	-	16.00	19.25	19.25
				Hay suciedad en el sistema hidráulico.	1	4	26.00	-	128.00	154.00	154.00
			La máquina no gira cuando vira el volante.	La operación de la bomba de engranajes no es correcta.	1	0.5	3.25	-	16.00	19.25	19.25
				La articulación del bastidor está trabada porque el pasador de traba está en el agujero de la horquilla	1	0.5	3.25	-	16.00	19.25	19.25
				Uno de los cilindros de la dirección tiene anillos de pistón desgastados.	1	2	13.00	35.00	64.00	112.00	112.00
			La máquina gira lentamente en ambas direcciones	No hay suficiente caudal de aceite desde la bomba de engranajes.	1	2	13.00	-	64.00	77.00	77.00
				Está restringida la tubería de succión de la bomba de engranajes.	1	2	13.00	45.00	64.00	122.00	122.00
				Fugas en los sellos de los cilindros de la dirección.	1	2	13.00	5.08	64.00	82.08	82.08

Fuente: Elaboración propia.

Cod.Eqp	Sistema	Sub-S.	Evento	Modo de falla	F. Anual	Tiempo horas	Costo mano de obra US\$	Costo de Repuesto US\$	Perdida de producción US\$	Costo de falla US\$	Costo anual US\$
011-0207	Hidráulico	Dirección	La máquina gira lentamente en ambas direcciones	El carrete de la válvula de prioridad que está en el interior de la bomba de engranajes no permite que pase suficiente aceite a la bomba de dosificación.	1	2	13.00	-	64.00	77.00	77.00
				La presión en el circuito de la dirección es demasiado baja.	1	0.5	3.25	-	16.00	19.25	19.25
			La bomba de dosificación no vuelve correctamente a la posición central	Las cubiertas de la bomba de dosificación están demasiado apretadas.	1	0.5	3.25	-	16.00	19.25	19.25
				El alineamiento de la columna de la dirección no es correcto.	1	0.5	3.25	-	16.00	19.25	19.25
				El carrete de la válvula de la bomba de dosificación tiene una restricción.	1	0.5	3.25	-	16.00	19.25	19.25
				Uno de los cilindros de la dirección no funciona debidamente.	1	2	13.00	1,200.00	64.00	1,277.00	1,277.00
			La temperatura del aceite hidráulico es demasiado alta	La viscosidad del aceite hidráulico no es correcta.	1	1	6.50	-	32.00	38.50	38.50
				El aire se mezcla con el aceite hidráulico.	1	0.5	3.25	-	16.00	19.25	19.25
				La válvula de alivio del sistema de la dirección tiene un defecto.	1	2	13.00	318.00	64.00	395.00	395.00
				Hay una restricción en una de las tuberías o componentes del sistema de la dirección.	1	2	13.00	-	64.00	77.00	77.00
				Las aletas del enfriador de aceite están sucias.	1	3	19.50	75.76	96.00	191.26	191.26
				El ventilador de enfriamiento no gira a las rpm apropiadas.	1	4	26.00	500.00	128.00	654.00	654.00
			Cuando se prueba la presión del sistema de dirección, el sistema no alcanza el ajuste de presión de la válvula de alivio de 19000 ± 300 kPa (2750 ± 45 psi).	La válvula de alivio no está bien calzada.	1	0.5	3.25	-	16.00	19.25	19.25
				La válvula de alivio está abierta.	1	0.25	1.63	-	8.00	9.63	9.63
				La válvula de alivio está defectuosa.	1	0.25	1.63	-	8.00	9.63	9.63
				La bomba está defectuosa.	1	0.5	3.25	-	16.00	19.25	19.25
			La volante gira sin virar manualmente la rueda	Hay materias extrañas que hacen que se atasque la válvula de carrete en la bomba de dosificación.	1	1	6.50	-	32.00	38.50	38.50
				Los resortes de centrado están rotos o dañados en la bomba de dosificación.	1	2	13.00	80.00	64.00	157.00	157.00
				La sincronización del mando de la bomba de dosificación no es correcta.	1	1.5	9.75	-	48.00	57.75	57.75
				La temperatura del aceite es demasiado alta.	1	4	26.00	-	128.00	154.00	154.00
		Vibratorio	El sistema vibratorio no funciona en amplitud alto o baja	Avería del fusible.	1	1	6.50	0.50	32.00	39.00	39.00
				El interruptor de Activar/Desactivar del sistema vibratorio en la palanca de control de propulsión se ha averiado	1	2	13.00	120.00	64.00	197.00	197.00
				El selector de amplitud en el tablero de control se ha averiado.	1	2	13.00	220.00	64.00	297.00	297.00
				El circuito eléctrico está defectuoso.	1	4	26.00	-	128.00	154.00	154.00
				El alternador se ha averiado.	1	2	13.00	220.00	64.00	297.00	297.00
				Presión de carga de aceite baja.	1	1	6.50	-	32.00	38.50	38.50
				La válvula del solenoide en la bomba del sistema vibratorio se ha averiado.	1	2	13.00	318.00	64.00	395.00	395.00
				Falla mecánica en el mecanismo vibratorio.	1	4	26.00	540.00	128.00	694.00	694.00

Fuente: Elaboración propia.

Cod.Eqp	Sistema	Sub-S.	Evento	Modo de falla	F. Anual	Tiempo horas	Costo mano de obra US\$	Costo de Repuesto US\$	Perdida de producción US\$	Costo de falla US\$	Costo anual US\$
011-0207	Hidráulico		Presión de aceite de carga baja.	Hay un nivel bajo de aceite en el tanque hidráulico.	1	0.5	3.25	4.66	16.00	23.91	23.91
				El elemento del filtro de aceite hidráulico está restringido.	1	0.5	3.25	25.00	16.00	44.25	44.25
				Hay fugas excesivas en la caja de la bomba y/o del motor.	1	2	13.00	35.00	64.00	112.00	112.00
				La manguera entre el depósito y la bomba del sistema vibratorio está floja.	1	0.25	1.63	-	8.00	9.63	9.63
			Hay una pérdida periódica de vibración en las gamas ALTA o BAJA	Hay una conexión floja en las conexiones de los cables del circuito eléctrico.	1	0.5	3.25	-	16.00	19.25	19.25
				El interruptor de control de Activar/Desactivar está defectuoso.	1	0.5	3.25	-	16.00	19.25	19.25
				El selector de la amplitud vibratoria está defectuoso.	1	0.25	1.63	-	8.00	9.63	9.63
			Parada lenta de la frecuencia vibratoria.	El plato basculante y/o el pistón de servo se está atascando.	1	1	6.50	-	32.00	38.50	38.50
				La válvula de alivio principal no se cierra completamente en el lado del circuito de retorno.	1	0.5	3.25	-	16.00	19.25	19.25
			El compactador no alcanza la frecuencia máxima de vibración.	El medidor de frecuencia no está correctamente ajustado o el medidor está defectuoso.	1	2	13.00	-	64.00	77.00	77.00
				La velocidad alta en vacío no es la correcta.	1	0.5	3.25	-	16.00	19.25	19.25
				El ajuste del tope en el servo de la bomba no es el ajuste correcto.	1	0.5	3.25	-	16.00	19.25	19.25
				El nivel de aceite en la caja de los contrapesos excéntricos es demasiado alto.	1	0.5	3.25	-	16.00	19.25	19.25
				Las válvulas de alivio de alta presión están ajustadas a una presión demasiado baja.	1	2	13.00	-	64.00	77.00	77.00
				Presión de carga baja.	1	0.5	3.25	-	16.00	19.25	19.25
				La válvula de retención del motor del sistema vibratorio se está atascando.	1	2	13.00	318.00	64.00	395.00	395.00
			El sistema vibratorio emite mucho ruido.	Falta aceite que lubrica la caja vibratoria.	1	0.25	1.63	32.44	8.00	42.07	42.07
				Pernos de ajuste del motor de pistones sueltos.	1	0.5	3.25	-	16.00	19.25	19.25
				Se han averiado los cojinetes del eje vibratorio.	1	6	39.00	500.00	192.00	731.00	731.00
			El aceite hidráulico en el circuito se recalienta.	El enfriador hidráulico, el condensador del acondicionador de aire, y/o el radiador están restringidos.	1	8	52.00	700.00	256.00	1,008.00	1,008.00
				Presión de carga baja.	1	0.25	1.63	-	8.00	9.63	9.63
				La válvula de derivación térmica está defectuosa.	1	2	13.00	80.00	64.00	157.00	157.00
				La válvula de alivio principal está abierta.	1	0.5	3.25	-	16.00	19.25	19.25
				Se ha utilizado un tipo de aceite incorrecto en el sistema hidráulico.	1	0.5	3.25	186.40	16.00	205.65	205.65
			El sistema vibratorio no se conecta.	El fusible del sistema vibratorio está quemado.	1	0.25	1.63	0.50	8.00	10.13	10.13
			El sistema vibratorio no se conecta.	El interruptor de control de ACTIVAR/DESACTIVAR del sistema vibratorio está en la posición abierta.	1	1	6.50	200.00	32.00	238.50	238.50
				El interruptor del control del acelerador se ha averiado.	1	1	6.50	120.00	32.00	158.50	158.50
				El interruptor de control de la amplitud vibratoria se ha averiado.	1	1	6.50	90.00	32.00	128.50	128.50
				El solenoide del control del sistema vibratorio se ha averiado.	1	2	13.00	161.00	64.00	238.00	238.00
				Existe un circuito abierto en el mazo de cables del sistema vibratorio.	1	4	26.00	350.00	128.00	504.00	504.00

Fuente: Elaboración propia.

Cod.Eqp	Sistema	Sub-S.	Evento	Modo de falla	F. Anual	Tiempo horas	Costo mano de obra US\$	Costo de Repuesto US\$	Perdida de producción US\$	Costo de falla US\$	Costo anual US\$
011-0207	Hidráulico	Propulsión	El sistema de propulsión se conecta muy lentamente cuando el operador está cambiando.	Presión de carga baja.	1	2	13.00	-	64.00	77.00	77.00
				Los orificios de las bombas de pistón están taponados.	1	4	26.00	-	128.00	154.00	154.00
				El aceite es demasiado viscoso y/o el aceite está demasiado frío.	1	0.5	3.25	-	16.00	19.25	19.25
				El filtro de carga está taponado.	1	0.5	3.25	25.00	16.00	44.25	44.25
				El nivel de aceite hidráulico está bajo.	1	0.25	1.63	9.32	8.00	18.95	18.95
				La válvula de control está funcionando mal.	1	2	13.00	318.00	64.00	395.00	395.00
			El sistema de propulsión se conecta repentinamente cuando el operador mueve la palanca de control de propulsión.	Faltan los orificios de las bombas de pistones.	1	2	13.00	-	64.00	77.00	77.00
				La válvula de retención que hay en la válvula de vaciado se atasca.	1	2	13.00	318.00	64.00	395.00	395.00
				El carrete del servo válvula está atascado.	1	1	6.50	150.00	32.00	188.50	188.50
			El sistema de propulsión sólo funciona en una dirección.	La bomba del servopistón está averiada.	1	4	26.00	-	128.00	154.00	154.00
				Una de las válvulas multifunción está dañada.	1	2	13.00	300.00	64.00	377.00	377.00
				El carrete de la válvula de retención se atasca en la parte interior de la válvula de vaciado.	1	2	13.00	-	64.00	77.00	77.00
				La válvula de control está averiada.	1	2	13.00	318.00	64.00	395.00	395.00
			El sistema de propulsión no se desconecta cuando la palanca de control de propulsión se coloca de nuevo en neutral.	La bomba del servopistón está averiada.	1	4	26.00	500.00	128.00	654.00	654.00
				La sección del balancín del conjunto del plato oscilante de la bomba está averiada.	1	4	26.00	-	128.00	154.00	154.00
				El ajuste de neutral de la servoválvula es incorrecto.	1	2	13.00	-	64.00	77.00	77.00
				La barra de articulación que hay entre las válvulas de control direccional está ajustada incorrectamente.	1	1	6.50	-	32.00	38.50	38.50
			El freno de estacionamiento no se desconecta cuando se saca el botón del freno de estacionamiento.	El interruptor del freno de estacionamiento está averiado.	1	2	13.00	200.00	64.00	77.00	277.00
				Hay un sello de pistón del grupo del freno que funciona incorrectamente.	1	2	13.00	-	64.00	77.00	77.00
				La válvula del freno de estacionamiento está averiada.	1	2	13.00	150.00	64.00	227.00	227.00
				Hay una falla en el circuito eléctrico.	1	2	13.00	-	64.00	77.00	77.00
				El interruptor del arranque en neutral está averiado.	1	1	6.50	109.00	32.00	147.50	147.50
				El relé de arranque en neutral está averiado.	1	0.25	1.63	66.00	8.00	75.63	75.63
				Presión de carga baja.	1	2	13.00	-	64.00	77.00	77.00
				El relé del freno está averiado.	1	0.25	1.63	66.00	8.00	75.63	75.63
				La válvula de alivio de la bomba de engranajes está dañada o no está ajustada correctamente.	1	2	13.00	320.00	64.00	397.00	97.00
				Avería de la bomba de engranajes.	1	4	26.00	1,200.00	128.00	1,354.00	1,354.00
				El interruptor del freno de estacionamiento está averiado.	1	2	13.00	120.00	64.00	197.00	197.00
				El relé del freno está averiado.	1	1	6.50	80.00	32.00	118.50	118.50
				Los discos del freno están desgastados.	1	4	26.00	600.00	128.00	754.00	754.00
				Hay una manguera de freno pellizcada.	1	1	6.50	91.00	32.00	129.50	129.50
				La válvula del freno de estacionamiento está averiada.	1	2	13.00	120.00	64.00	197.00	197.00
				Hay una falla en el circuito eléctrico.	1	2	13.00	-	64.00	77.00	77.00

Fuente: Elaboración propia.

Cod.Eqp	Sistema	Sub-S.	Evento	Modo de falla	F. Anual	Tiempo horas	Costo mano de obra US\$	Costo de Repuesto US\$	Perdida de producción US\$	Costo de falla US\$	Costo anual US\$
011-0207	Hidráulico	Propulsión	Hay fugas de aceite externas en alguno de los motores de pistón.	La presión de la caja del motor es demasiado alta.	1	2	13.00	-	64.00	77.00	77.00
				Hay una restricción en la tubería de retorno de aceite al tanque de aceite hidráulico.	1	2	13.00	-	64.00	77.00	77.00
				Hay sellos dañados debido a los aumentos de presión, uso de aceite hidráulico no aprobado o un par de apriete incorrecto.	1	1	6.50	50.00	32.00	88.50	88.50
			El aceite del sistema de propulsión se recalienta.	Se usa un tipo de aceite incorrecto en el circuito hidráulico.	1	0.25	1.63	-	8.00	9.63	9.63
				El enfriador de aceite está obstruido internamente.	1	2	13.00	-	64.00	77.00	77.00
				El radiador y/o el enfriador de aceite está obstruido externamente.	1	4	26.00	-	128.00	154.00	154.00
				Hay una avería en el sistema de impulsión del ventilador.	1	2	13.00	300.00	64.00	77.00	377.00
				Hay una presión baja en la tubería de carga causada por un exceso de fugas internas en el circuito.	1	0.5	3.25	23.30	16.00	42.55	42.55
				Las presiones de operación exceden las presiones de alivio debido a problemas mecánicos.	1	4	26.00	-	128.00	154.00	154.00
				La válvula de la desviación térmica tiene un funcionamiento incorrecto.	1	2	13.00	120.00	64.00	197.00	197.00
				Las presiones de alivio de la bomba de propulsión tienen un ajuste inferior a la presión especificada	1	2	13.00	-	64.00	77.00	77.00
			Presión de carga baja (Neutral).	El nivel de aceite hidráulico está bajo.	1	1	6.50	4.66	32.00	43.16	43.16
				El filtro de carga del sistema de propulsión está en modalidad de desviación.	1	1	6.50	25.00	32.00	63.50	63.50
				La velocidad en vacío alta de la máquina es demasiado baja.	1	2	13.00	-	64.00	77.00	77.00
				Hay un flujo inadecuado de aceite de la bomba de engranaje.	1	2	13.00	-	64.00	77.00	77.00
				Hay una fuga excesiva de la caja del motor.	1	0.5	3.25	4.66	16.00	23.91	23.91
				Hay un exceso de fugas de la caja de la bomba.	1	0.5	3.25	4.66	16.00	23.91	23.91
				El sello del freno de estacionamiento tiene fugas.	1	2	13.00	25.00	64.00	102.00	102.00
			Presión de carga baja (propulsando).	Hay una fuga excesiva de la caja del motor.	1	1	6.50	-	32.00	38.50	38.50
				Hay un exceso de fugas de la caja de la bomba.	1	2	13.00	-	64.00	77.00	77.00
			No se puede propulsar la máquina.	El fusible del freno está abierto.	1	1	6.50	35.00	32.00	73.50	73.50
				El interruptor de arranque en neutral está ajustado incorrectamente o el interruptor de arranque en neutral está averiado en posición abierta.	1	2	13.00	50.00	64.00	127.00	127.00
				El relé "P9" está averiado.	1	1	6.50	66.00	32.00	104.50	104.50
				Hay un circuito abierto en las válvulas de intertraba del freno y/o en el mazo de cables del interruptor de arranque en neutral.	1	2	13.00	-	64.00	77.00	77.00
				El interruptor del freno de estacionamiento está averiado.	1	1	6.50	130.00	32.00	168.50	168.50
				Hay un circuito abierto en el mazo de cables del sistema de intertraba.	1	2	13.00	-	64.00	77.00	77.00

Fuente: Elaboración propia.

Cod.Eqp	Sistema	Sub-S.	Evento	Modo de falla	F. Anual	Tiempo horas	Costo mano de obra US\$	Costo de Repuesto US\$	Perdida de producción US\$	Costo de falla US\$	Costo anual US\$
011-0207	Hidráulico	propulsión	El freno de estacionamiento no se conecta.	El relé "P6" está averiado.	1	0.5	3.25	66.00	16.00	85.25	85.25
			El freno de estacionamiento no se conecta.	El interruptor del freno de estacionamiento está averiado.	1	0.5	3.25	45.00	16.00	64.25	64.25
			El freno de estacionamiento no se conecta.	Hay un cortocircuito en el mazo de cables del sistema de intertraba.	1	2	13.00	-	64.00	77.00	77.00
			La máquina se mueve cuando el interruptor del freno de estacionamiento se pone en la posición DESCONECTADA y la palanca de control de propulsión se saca de la posición NEUTRAL.	El interruptor de arranque en neutral está averiado en la posición cerrada.	1	2	13.00	-	64.00	77.00	77.00
			La máquina se mueve cuando el interruptor del freno de estacionamiento se pone en la posición DESCONECTADA y la palanca de control de propulsión se saca de la posición NEUTRAL.	El relé "P7" está averiado.	1	1	6.50	66.00	32.00	104.50	104.50
			Parada del equipo	Hay un circuito abierto en el mazo de cables del relé "P7".	1	2	13.00	-	64.00	77.00	77.00
011-0207	Implemento	Rola	Compactación deficiente	La rola esta fisurada	2	4	26.00	150.00	128.00	304.00	608.00
			Fuga de aceite por la rola	La rola esta fisurada	2	4	26.00	150.00	128.00	304.00	608.00
			Soltura de componentes y ruidos anormales	Soportes de goma rajados	1	1.5	9.75	728.00	48.00	785.75	785.75
					TOTAL		3,784.63	26,185.49	18,632.00		53,375.36

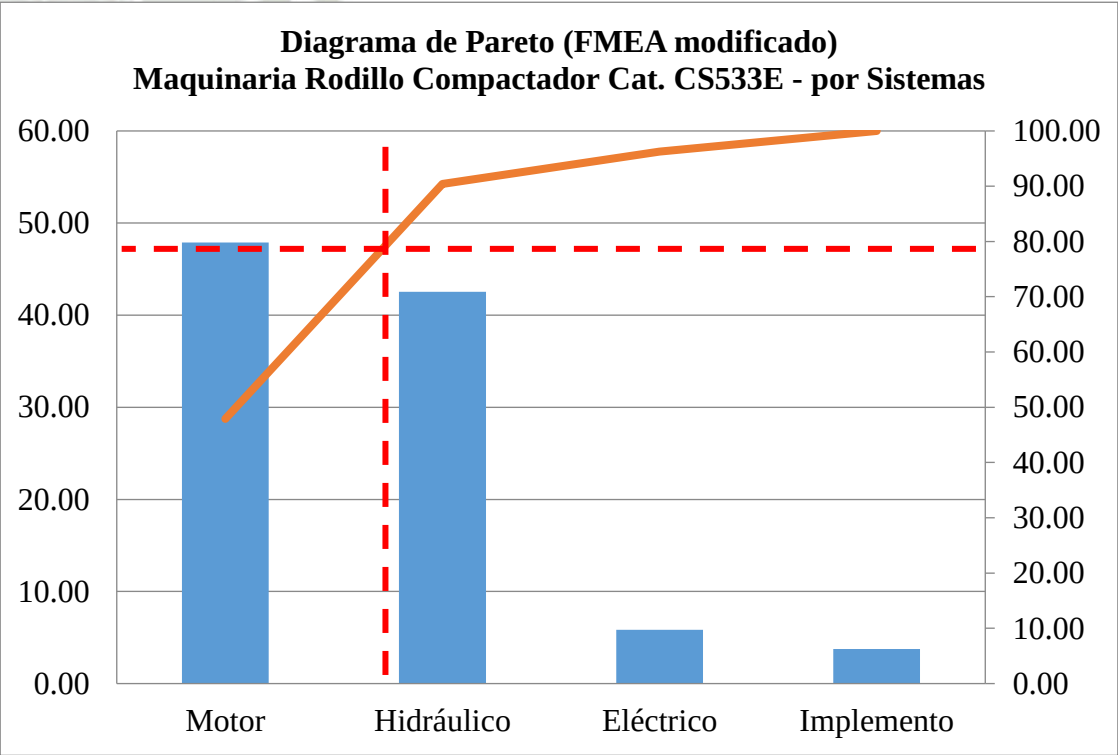
M.O. =	6.50 US\$ / H
Perdida Producción =	32.00 US\$ / H

Clasificación de Costos por Sistemas

Sistema	Costo Anual US\$	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada
Motor	25,564.71	47.90	47.90
Hidráulico	22,695.66	42.52	90.42
Eléctrico	3,113.25	5.83	96.25
Implemento	2,001.75	3.75	100.00
Total	53,375.36		

Comentarios:

Se debe dar atención y análisis al sistema de Motor, por presentar el 80% de costos por modo de falla, de la Maquinaria Rodillo Compactador Cat. CS533E.
El 80% de altos costos en mantenimiento están en sistema del motor generados por un 20% de diferentes modos de falla de la Maquinaria Rodillo Compactador Cat. CS533E.



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO N° 02
DETALLE DE COSTOS DE APLICACIÓN DE RCM PARA LOS PRÓXIMOS 12
MESES

COSTOS EN LA APLICACIÓN DE RCM PARA LOS PROXIMOS 12 MESES (ANUAL)

Comp. Sistema	Trabajo	Intervalo Inicial	A realizarse por	Tiempo Requerido (H)	Número de veces estimada que fallara	Tiempo Total que se Requerirá (H)	Número de Técnicos Mecánicos Requeridos	Costo Horario del Técnico Mecánico (US\$ / H)	Costo Total Mano de Obra (US\$)
Combustible	Haga la comprobación de caudal de combustible y, de ser necesario, reemplace los elementos del colador, filtro del combustible y las líneas de combustible	A condición	Lubricador	2.00	1.00	2.00	2.00	6.50	26.00
	Haga los debidos cambios de filtros de combustible, primario y secundario. Verifique la calidad del combustible	Cada 250 horas	Operador	1.00	8.00	8.00	2.00	6.50	104.00
	Revise nivel de combustible, el tanque de combustible tiene que estar lleno por encima del nivel del tubo de aspiración del combustible	Cada turno	Operador	0.25	4.00	1.00	1.00	6.50	6.50
	Revisar conexiones de combustible, mangueras y abrazaderas	Semanal	Técnico Equipo Pesado	0.50	2.00	1.00	1.00	6.50	6.50
Lubricación	Revise condición bomba aceite lubricante	Anualmente	Técnico Equipo Pesado	4.00	1.00	4.00	2.00	6.50	52.00
	Agregar aceite lubricante correcto SAE 15W-40, junto con el cambio de filtros correspondiente	A condición	Técnico Equipo Pesado	1.00	2.00	2.00	2.00	6.50	26.00
	Toma de muestras de aceite	Cada 125 hrs	Lubricador	0.50	16.00	8.00	1.00	6.50	52.00
Admisión	Revise estado de filtros del lado aspiración. Apriete la abrazadera del filtro para que no tenga juego.	Semanal	Lubricador	1.00	10.00	10.00	2.00	6.50	130.00
Admisión	Realice el cambio de filtro, según estado de éste.	A condición	Lubricador			-		6.50	-
Enfriamiento	Limpie el sistema con un limpiador de sistemas de enfriamiento e inunde el sistema para remover los depósitos escamosos. Limpie el exterior del núcleo del intercambiador de calor. Agregue el refrigerante y los aditivos adecuados y en cantidades establecidas por Cat.	Anual	Técnico Equipo Pesado	4.00	1.00	4.00	2.00	6.50	52.00
	Drene el sistema de enfriamiento y mantener limpio.	Anual		2.00	1.00	2.00	2.00	6.50	26.00
	Haga la inspección del termostato según manual motor.	Anual		0.50	1.00	0.50	1.00	6.50	3.25
	Chequear estanqueidad del sistema en pautas de mantención. Tomar muestras de refrigerante nuevo y con 500 hrs. De operación para análisis.	Cada 500 Hrs		0.50	4.00	2.00	1.00	6.50	13.00
Eléctrico	Revisar estado de cables y terminales eléctricos del motor. Esto incluye baterías, alternador, motor de arranque.	Diario	Técnico Electricista CC	2.00	4.00	8.00	2.00	6.50	104.00
Escape	Revisión estado de válvulas de escape.	Anual	Técnico Equipo Pesado	20.00	1.00	20.00	2.00	6.50	260.00
Protección	Revisar estado de conexiones eléctricas y cables	Diario	Técnico Electricista CC	4.00	1.00	4.00	2.00	6.50	52.00
	Realizar tarea de intervalo de búsqueda de falla.	Cada 6 meses		8.00	1.00	8.00	4.00	6.50	208.00
	Revisar estado de conexiones eléctricas y cables	Diario		2.00	4.00	8.00	1.00	6.50	52.00
	Revisar estado de conexiones eléctricas y cables	Diario		1.00	4.00	4.00	2.00	6.50	52.00
	Cambiar termocuplas	Cada 6 meses	Técnico Equipo Pesado	1.00	2.00	2.00	1.00	6.50	13.00
	Revisar estado de cables	Diario	Técnico Electricista CC	4.00	2.00	8.00	2.00	6.50	104.00
	Realizar tarea de intervalo de búsqueda de falla.	Cada 6 meses	Técnico Equipo Pesado	8.00	1.00	8.00	2.00	6.50	104.00

Fuente: Elaboración propia.

Comp. Sistema	Trabajo	Intervalo Inicial	A realizarse por	Tiempo Requerido (H)	Número de veces estimada que fallara	Tiempo Total que se Requerirá (H)	Número de Técnicos Mecánicos Requeridos	Costo Horario del Técnico Mecánico (US\$ / H)	Costo Total Mano de Obra (US\$)
Dirección	Revisar fugas de aceite en niples y cañerías sueltas	Semanal	Técnico Equipo Pesado	0.50	48.00	24.00	1.00	6.50	156.00
	Toma de muestras de aceite	Cada 125 hr	Lubricador	0.50	16.00	8.00	1.00	6.50	52.00
	Revisar fugas de aceite en niples y cañerías sueltas	Semanal	Técnico Equipo Pesado	0.50	48.00	24.00	1.00	6.50	156.00
	Toma de muestras de aceite	Cada 250 hr	Lubricador	1.00	8.00	8.00	1.00	6.50	52.00
	Revisión de Válvulas de alivio	Cada 500 hr	Técnico Equipo Pesado	2.00	4.00	8.00	2.00	6.50	104.00
	Revisión de niveles de aceite	Diario	Operador / Lubricador	1.00	2.00	2.00	1.00	6.50	13.00
	Medir presiones con manómetros	Cada 500 hr	Técnico Equipo Pesado	2.00	4.00	8.00	2.00	6.50	104.00
	Verificar alineamiento de la columna de dirección	Cada 500 hr		1.50	4.00	6.00	2.00	6.50	78.00
	Revisión de niveles de aceite	Diario	Operador / Lubricador	0.50	2.00	1.00	1.00	6.50	6.50
	Purgar aire en sistema hidráulico	Mensual		2.00	2.00	4.00	1.00	6.50	26.00
	Toma de muestras de aceite hidráulico	Cada 500 hr	Lubricador	1.00	4.00	4.00	1.00	6.50	26.00
	Cambiar pasador de traba	Cada 1000 h	Técnico Equipo Pesado	1.50	4.00	6.00	2.00	6.50	78.00
	Inspeccionar los cilindros de dirección	Cada 500 hr		0.50	4.00	2.00	1.00	6.50	13.00
	Medir presiones de la bomba con manómetros	Cada 500 hr		2.00	4.00	8.00	1.00	6.50	52.00
	Inspeccionar el correcto apriete de la bomba de dosificación	Cada 250 hr		1.50	4.00	6.00	1.00	6.50	39.00
	Verificar alineamiento de la columna de dirección	Cada 500 hr		2.00	4.00	8.00	2.00	6.50	104.00
	Inspección de carretes de la válvula de bomba dosificación	Cada 500 hr		8.00	2.00	16.00	2.00	6.50	208.00
	Inspeccionar estado del enfriador de aceite	Cada 500 hr		2.00	4.00	8.00	1.00	6.50	52.00
	Lavar radiador / enfriador	Cada 500 hr		2.00	3.00	6.00	2.00	6.50	78.00
	Inspeccionar del ventilador	Cada 500 hr		1.00	4.00	4.00	1.00	6.50	26.00
	Revisar la bomba de dosificación	Cada 500 hr		4.00	2.00	8.00	2.00	6.50	104.00
	Revisar la sincronización de la bomba de dosificación	Cada 1000 h		4.00	2.00	8.00	2.00	6.50	104.00
	Inspeccionar sistema de refrigeración del aceite hidráulico	Cada 250 hr	Técnico Equipo Pesado	4.00	2.00	8.00	2.00	6.50	104.00
Vibración	Inspeccionar los fusibles	Cada 250 hr	Técnico Electricista CC	1.00	4.00	4.00	1.00	6.50	26.00
	Inspeccionar los interruptores	Cada 500 hr		2.00	4.00	8.00	1.00	6.50	52.00
	Inspeccionar el selector de amplitud	Cada 500 hr		2.00	2.00	4.00	1.00	6.50	26.00
	Inspeccionar todo el circuito de cableado	Cada 500 hr		4.00	2.00	8.00	2.00	6.50	104.00
	Cambiar rodamientos y carbones	Cada 1000 h		2.00	2.00	4.00	1.00	6.50	26.00
	Medir las presiones	Cada 500 hr	Técnico Equipo Pesado	1.50	3.00	4.50	2.00	6.50	58.50
	Medir la resistencia de solenoide de bomba de vibración	Cada 500 hr	Técnico Electricista CC	2.00	2.00	4.00	1.00	6.50	26.00
	Toma de muestras de aceite del rodaje vibratorio	Cada 500 hr	Lubricador	0.50	4.00	2.00	1.00	6.50	13.00
	Cambiar filtro aceite hidráulico	Cada 500 hr		1.00	2.00	2.00	1.00	6.50	13.00

Fuente: Elaboración propia.

Comp. Sistema	Trabajo	Intervalo Inicial	A realizarse por	Tiempo Requerido (H)	Número de veces estimada que fallara	Tiempo Total que se Requerirá (H)	Número de Técnicos Mecánicos Requeridos	Costo Horario del Técnico Mecánico (US\$ / H)	Costo Total Mano de Obra (US\$)
Vibración	Inspeccionar fugas de aceite en la caja de bombas	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado	3.00	2.00	6.00	2.00	6.50	78.00
	Ajustar bridas de manguera entre el depósito y la bomba del sistema vibratorio	Cada 500 hrs		1.50	2.00	3.00	1.00	6.50	19.50
	Revisar circuito de conexiones de cables eléctricos que conectan la vibración alta/baja	Cada 500 hrs	Técnico Electricista CC	1.00	2.00	2.00	1.00	6.50	13.00
	Cambiar interruptor de control de activar/desactivar vibración alta/baja	Cada 2000 hrs		1.50	1.00	1.50	1.00	6.50	9.75
	Cambiar selector de amplitud vibratoria	Cada 2000 hrs		2.00	1.00	2.00	1.00	6.50	13.00
	Revisar plato basculante y/o pistón del servo	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado	20.00	1.00	20.00	2.00	6.50	260.00
	Inspeccionar la válvula de alivio principal	Cada 500 hrs		3.00	1.00	3.00	1.00	6.50	19.50
	Inspeccionar el medidor de frecuencia, ajustar si es necesario según especificación	Cada 1000 hrs		2.00	1.00	2.00	1.00	6.50	13.00
	Inspeccionar el ajuste correcto del tope en el servo de bomba, si es necesario corregir	Cada 1000 hrs		3.00	2.00	6.00	2.00	6.50	78.00
	Verificar nivel de aceite de la caja de contrapesas	Cada 15 días	Lubricador	0.25	4.00	1.00	1.00	6.50	6.50
	Inspeccionar la válvula de alivio de alta presión si es necesario ajustar según especificación	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado	2.00	2.00	4.00	1.00	6.50	26.00
	Medir las presiones de carga	Cada 500 hrs		2.00	2.00	4.00	1.00	6.50	26.00
	Revisar la válvula de retención del motor sistema vibratorio, si es necesario cambiar	Cada 500 hrs		2.00	2.00	4.00	2.00	6.50	52.00
	Inspeccionar ajuste de presión del motor de pistones, si es necesario ajustar	Cada 500 hrs		4.00	1.00	4.00	2.00	6.50	52.00
	Lavar con agua y sopletar con aire el enfriador hidráulico	Cada 500 hrs		4.00	2.00	8.00	2.00	6.50	104.00
	Medir y/o revisar el estado de la válvula de derivación térmica	Cada 500 hrs	Técnico E. CC	1.00	1.00	1.00	1.00	6.50	6.50
	Toma de muestras de aceite del sistema hidráulico	Cada 500 hrs	Lubricador	0.50	4.00	2.00	1.00	6.50	13.00
	Cambiar interruptor del control de acelerador	Cada 2000 hrs	Técnico Electricista CC	2.00	1.00	2.00	1.00	6.50	13.00
	Cambiar interruptor del control de amplitud de vibración	Cada 2000 hrs		2.00	1.00	2.00	1.00	6.50	13.00
	Medir la resistencia de solenoide de control de sistema vibratorio	Cada 500 hrs		2.00	2.00	4.00	1.00	6.50	26.00
Propulsión	Medir las presiones de carga	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado	2.00	4.00	8.00	2.00	6.50	104.00
	Revisar estado de las bombas de pistón	Cada 1000 hrs		20.00	1.00	20.00	2.00	6.50	260.00
	Toma de muestras de aceite del sistema de propulsión	Cada 500 hrs	Lubricador	0.50	4.00	2.00	1.00	6.50	13.00
	Cambiar filtro de carga	Cada 500 hrs	Lubricador	1.00	4.00	4.00	1.00	6.50	26.00
	Revisar nivel de aceite antes de empezar turno de trabajo	Diario	Lubricador / Op	0.50	4.00	2.00	1.00	6.50	13.00
	Medir y/o revisar el estado de la válvula de control	Cada 500 hrs	Técnico E. CC	2.00	2.00	4.00	1.00	6.50	26.00
	Revisar los orificios de bomba de pistones	Cada 1000 hrs	Técnico Equipo Pesado	10.00	2.00	20.00	2.00	6.50	260.00
	Revisar la válvula de retención del sistema propulsión, si es necesario cambiar	Cada 500 hrs		2.00	1.00	2.00	1.00	6.50	13.00
	Cambiar carrete de servoválvula	Cada 2000 hrs		4.00	1.00	4.00	1.00	6.50	26.00
	Revisar servo pistón	Cada 1000 hrs		4.00	1.00	4.00	2.00	6.50	52.00
	Revisar las válvulas multifuncionales	Cada 1000 hrs		4.00	1.00	4.00	2.00	6.50	52.00
	Revisar el carrete de la válvula de retención	Cada 1000 hrs		4.00	1.00	4.00	1.00	6.50	26.00
	Revisar la válvula de control	Cada 1000 hrs		2.00	1.00	2.00	1.00	6.50	13.00
	Revisar balancín del conjunto del plato oscilante de la bomba	Cada 1000 hrs		3.00	1.00	3.00	1.00	6.50	19.50
	Inspeccionar el ajuste correcto de neutro de servoválvula	Cada 2000 hrs		2.00	1.00	2.00	2.00	6.50	26.50

Fuente: Elaboración propia.

Comp. Sistema	Trabajo	Intervalo Inicial	A realizarse por	Tiempo Requerido (H)	Número de veces estimada que fallara	Tiempo Total que se Requerirá (H)	Número de Técnicos Mecánicos Requeridos	Costo Horario del Técnico Mecánico (US\$ / H)	Costo Total Mano de Obra (US\$)
	Insp. el correcto ajuste de barra articulación que hay entre las válvulas de control de direc.	Cada 2000 hrs	Téc. Eq. Pesado	3.00	1.00	3.00	2.00	6.50	39.00
	Inspeccionar interruptor de freno de estacionamiento	Cada 500 hrs	Técnico E. CC	1.00	1.00	1.00	1.00	6.50	6.50
	Cambiar sello del pistón del grupo de frenos	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado	10.00	1.00	10.00	2.00	6.50	130.00
	Inspeccionar la válvula de freno del estacionamiento	Cada 500 hrs		2.00	2.00	4.00	1.00	6.50	26.00
	Revisar circuito eléctrico	Cada 500 hrs	Técnico Electricista CC	3.00	1.00	3.00	2.00	6.50	39.00
	Inspeccionar interruptor de arranque en neutral	Cada 500 hrs		1.00	2.00	2.00	1.00	6.50	13.00
	Cambiar relé de arranque en neutral	Cada 2000 hrs		1.00	1.00	1.00	1.00	6.50	6.50
	Cambiar relé de freno	Cada 2000 hrs		0.50	1.00	0.50	1.00	6.50	3.25
	Inspeccionar el ajuste correcto de la válvula de alivio de la bomba de engranajes	Cada 1000 hrs	Técnico Equipo Pesado	2.00	2.00	4.00	1.00	6.50	26.00
	Revisar bomba de engranajes	Cada 2000 hrs		10.00	1.00	10.00	2.00	6.50	130.00
	Cambiar discos de freno	Cada 2000 hrs		10.00	1.00	10.00	2.00	6.50	130.00
	Inspeccionar mangueras de freno	Cada 500 hrs		1.50	2.00	3.00	1.00	6.50	19.50
	Inspeccionar ajustes y presiones de la caja de motor, si es necesario cambiar espárragos	Cada 500 hrs		2.00	2.00	4.00	1.00	6.50	26.00
	Medir presiones y comparar con parámetros del fabricante	Cada 500 hrs		2.00	2.00	4.00	2.00	6.50	52.00
	Revisar sellos de motores de pistón, si es necesario cambiar todos los sellos	Cada 2000 hrs		8.00	2.00	16.00	2.00	6.50	208.00
	Inspeccionar el enfriador de aceite	Cada 1000 hrs		2.00	2.00	4.00	2.00	6.50	52.00
	Lavar el enfriador externamente a presión	Cada 1000 hrs		2.00	2.00	4.00	2.00	6.50	52.00
	Inspeccionar los elementos de impulsión del ventilador	Cada 1000 hrs		2.00	2.00	4.00	1.00	6.50	26.00
	Cambiar válvula desviación térmica	Cada 2000 hrs		1.00	2.00	2.00	1.00	6.50	13.00
	Cambiar filtro de carga del sistema de propulsión	Cada 500 hrs	Lubricador	1.00	4.00	4.00	1.00	6.50	26.00
	Inspeccionar fugas de aceite de la caja del motor	Diario	Operador / Lub.	1.00	2.00	2.00	1.00	6.50	13.00
	Inspeccionar fugas de aceite de la caja de la bomba	Diario	Operador / Lub.	0.25	4.00	1.00	1.00	6.50	6.50
	Cambiar sellos del freno de estacionamiento	Cada 500 hrs	Téc. Eq. Pesado	2.00	2.00	4.00	1.00	6.50	26.00
	Inspeccionar los fusibles	Cada 250 hrs	Técnico Electricista CC	0.50	2.00	1.00	1.00	6.50	6.50
	Cambiar interruptor de arranque neutral	Cada 2000 hrs		0.50	2.00	1.00	1.00	6.50	6.50
	Cambiar relé "P9"	Cada 2000 hrs		1.00	2.00	2.00	1.00	6.50	13.00
	Revisar el circuito de cables en las válvulas de intertraba de freno	Cada 1000 hrs		2.00	1.00	2.00	1.00	6.50	13.00
	Cambiar interruptor del freno de estacionamiento	Cada 2000 hrs		1.00	2.00	2.00	1.00	6.50	13.00
	Inspeccionar todo el circuito de mazo de cables del sistema de intertraba	Cada 1000 hrs		4.00	2.00	8.00	1.00	6.50	52.00
	Cambiar relé "P6"	Cada 2000 hrs		1.00	2.00	2.00	1.00	6.50	13.00
	Cambiar interruptor de freno de estacionamiento	Cada 2000 hrs		1.00	2.00	2.00	1.00	6.50	13.00
	Cambiar relé "P7"	Cada 2000 hrs		1.00	2.00	2.00	1.00	6.50	13.00
	Inspeccionar todo el circuito de mazo de cables del relé "P7"	Cada 1000 hrs		2.00	1.00	2.00	1.00	6.50	13.00
Otros	Análisis de datos estadísticos para toma decisión	Semanal	Ing. Confiabilidad	8.00	48.00	384.00	1.00	7.99	3,068.16
Otros	Ingreso de información al CMMS	Diario	Planer /Program.	1.00	480.00	480.00	1.00	6.53	3,134.40
							Costo Total		12,725.31

Fuente: Elaboración propia.

ANALISIS COMPARATIVO DE COSTOS DE MANTENIMIENTO, CONVENCIONAL Y RCM

Descripción de Costos	Mantenimiento Convencional US\$	Mantenimiento Con RCM US\$	% RCM / Convencional
Costos de Mantenimiento Anual	53,375.36	12,725.31	24%

ANALISIS DE COSTOS ANUAL POR LA FLOTA DE EQUIPOS (06 MAQUINARIAS RODILLOS COMPACTADORES CS533E)

Descripción de Costos	Cant. Equipos	Costo Unitario US\$	Costo Total
Costo de Mantenimiento Convencional	6	53,375.36	320,252.18
Costo de Mantenimiento con RCM	6	12,725.31	76,351.86

Ahorro Obtenido al aplicar RCM US\$	243,900.32
--	-------------------

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N° 03
ANÁLISIS DEL RCM

1. ANÁLISIS DEL RCM

1.1. HOJA DE INFORMACIÓN RCM N° 01 SISTEMA DE MOTOR, SUB-SISTEMA COMBUSTIBLE

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA / ACTIVO Motor Diésel Cat. 3054C		SISTEMA N° 1		FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Combustible		SUB-SISTEMA N° 1			01/12/2020	1 de 2
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)		
1	Distribuir e inyectar combustible una cantidad exacta al cilindro rociando a alta presión	A	Inyecta combustible de manera deficiente y a baja presión.	1	Desgaste en los sellos de agua de culata, lo cual separa sistema de enfriamiento con sistema de inyección.	La combinación del refrigerante con diésel, generan desgastes prematuros en el motor.		
				2	Sumidero y líneas del combustible obstruidos.	Falta de fuerza, funcionamiento anormal. Parada del motor.		
				3	Abundante y deficiente distribución del combustible.	Exceso de humo negro o gris. Se debe inspeccionar la sincronización de los inyectores. Enviar a laboratorio para una revisión general de la bomba de inyección, evite el trabajo forzado del motor, pues esto causa una combustión deficiente.		
				4	Las toberas de los inyectores bomba están obstruidas parcialmente.	Combinación deficiente, potencia del motor anormal. Tanque de combustible contaminado. Dializar el tanque de combustible y limpiar las toberas rociadora según procedimiento. Tiempo de trabajo: 1 día		
				5	Agujeros del inyector con holgura.	Combustión anormal en la cámara “sin quemar” por exceso de combustible, programar cambio de válvula y boquilla de las toberas. Tiempo de trabajo 1 día		
				6	Carbonización de los inyectores.	Deficiente inyección de combustible en la cámara, atomización incorrecta, válvula de apertura con presión baja. Enviar a laboratorio para una limpieza general. Tiempo de trabajo 2 días		

Fuente: Elaboración propia.

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA / ACTIVO Motor Diésel Cat. 3054C		SISTEMA N° 1		FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Combustible		SUB-SISTEMA N° 1			01/12/2020	2 de 2
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)		
2	Enviar combustible desde el tanque a los inyectores a una presión de 60-80psi y devolver el exceso por cañería de retorno al tanque.	A	No envía combustible.	1	Nivel de combustible bajo.	El motor se ahogará por presencia de aire en el circuito. Llene el tanque de combustible y purgue el sistema. Tiempo de trabajo: 30 minutos		
				2	Cañerías de combustible entre la bomba y líneas de aspiración del tanque sueltas.	Deficiente inyección de combustible a la cámara y presión baja al momento de abrir las válvulas del inyector. Ajustar las abrazaderas de las cañerías. Tiempo de trabajo 30 minutos.		
				3	No funciona la bomba de combustible	Alimentación de combustible nulo. Inspeccionar la condición del impulsor de la bomba de combustible y reemplace las piezas si es necesario. Tiempo de trabajo: 1 día		
				4	Cuerpo y engranajes de la bomba con desgastes	Abastecimiento de combustible deficiente, baja potencia del motor. Reemplace si es necesario el conjunto de engranajes, eje y el cuerpo de la bomba. Tiempo de trabajo: 1 día		

Fuente: Elaboración propia.

1.2. HOJA DE DECISIÓN RCM N° 01 SISTEMA DE MOTOR, SUB-SISTEMA COMBUSTIBLE.

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA / ACTIVO Motor Diésel Cat. 3054C							SISTEMA N° 1				FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
			SUB-SISTEMA / COMPONENTE Combustible							SUB-SISTEMA N° 1					01/12/2020	1 de 1
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción "a falta de"			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por	
F	FF	FM	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4				
1	A	1	S	N	N	S	N	N	N				No hay tareas de mantenimiento propuesto			
1	A	2	S	N	N	S	S						Comprobación el caudal de combustible, si es necesario reemplace los elementos del colador, filtro del combustible y las cañerías de combustible	A condición	Técnico Equipo Pesado	
1	A	3	S	N	N	S	N	N	N				No hay tareas de mantenimiento propuesto			
1	A	4	S	N	N	S	S						Efectuar cambio de filtros de combustible, primario y secundario. Es necesario inspeccionar la calidad del combustible	Cada 250 horas	Lubricador	
1	A	5	S	N	N	S	S						Efectuar cambio de filtros de combustible, primario y secundario. Es necesario inspeccionar la calidad del combustible	Cada 250 horas	Lubricador	
1	A	6	S	N	N	S	S						Efectuar cambio de filtros de combustible, primario y secundario. Es necesario inspeccionar la calidad del combustible	Cada 250 horas	Lubricador	
2	A	1	S	N	N	S	S						Inspeccionar nivel de combustible, el tanque debe estar lleno por encima del nivel del tubo de succión del combustible	Cada turno	Operador	
2	A	2	S	N	N	S	S						Inspeccionar cañerías de combustible, mangueras y abrazaderas	Semanal	Operador	
2	A	3	S	N	N	S	N	N	N				No hay tareas de mantenimiento propuesto			
2	A	4	S	N	N	S	N	N	N				No hay tareas de mantenimiento propuesto			

Fuente: Elaboración propia.

1.3. HOJA DE INFORMACIÓN RCM N° 02 SISTEMA DE MOTOR, SUB-SISTEMA LUBRICACIÓN.

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA / ACTIVO Motor Diésel Cat. 3054C		SISTEMA N° 2		FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Lubricación		SUB-SISTEMA N° 2			01/12/2020	1 de 2
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)		
1	Fluir el aceite lubricante desde el colector de aceite a través de un colador y un tubo al lado de succión de la bomba aceite motor hacia cabeza de filtro de aceite, al enfriador de aceite de tipo plancha, al bloque de motor, muñones, árbol de levas, culata, eje de balancín, cojinetes de palancas del balancín, las salpicaduras de aceite y la neblina de aceite lubrican los pistones y los orificios de los cilindros. La presión del aceite a una temperatura de operación normal y a velocidad alta en vacío debe ser de 40psi como mínimo	A	Baja presión de aceite en velocidad alta	1	El nivel de aceite en el cárter es bajo.	Falta de lubricación de componentes internos del motor. Aumento de temperatura del motor. Completar con lubricante de tipo SAE15W40 hasta el nivel según indicación de la varilla de medición. Tiempo de trabajo: 15 minutos.		
				2	Existe una restricción en el enfriador de aceite.	Temperatura excesivamente alta del aceite motor. Inspeccionar el funcionamiento del sistema de enfriamiento del motor. Desmontar el enfriador de aceite y limpiar el núcleo. Tiempo de trabajo: 8 horas.		
				3	Restricción en la rejilla de succión de aceite.	Caída de presión de aceite motor. Lubricación deficiente. Sobre calentamiento del motor. Inspeccionar y limpiar la rejilla de succión de aceite en cárter. Cambiar filtro del aceite motor. Tiempo de trabajo 8 horas		
				4	Rotores de la bomba de aceite están desgastados	Deficiente circulación del lubricante y presenta baja presión. Reemplace o repare la bomba. Tiempo de trabajo: 8 horas.		
				5	La válvula de alivio de presión del aceite funciona mal	Baja presión de aceite en el sistema. Inspeccionar la válvula defectuosa y cambiar		

Fuente: Elaboración propia.

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA / ACTIVO Motor Diésel Cat. 3054C		SISTEMA N° 2		FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Lubricación		SUB-SISTEMA N° 2			01/12/2020	2 de 2
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)		
		B	Fluir el aceite lubricante a una presión mayor a 52 psi.	1	Llenado excesivo del cárter	Elevado consumo de aceite motor. Pase de aceite al interior de los cilindros generando la quema de éste. Humo negro en tubo de escape. Nivelar el aceite de motor en cárter de acuerdo especificación. Tiempo de trabajo: 30 min.		
2	Lubricar elementos internos del motor	A	Lubricación deficiente	1	Aceite motor con viscosidad incorrecta	El motor se calentará ya que el fluido con viscosidad incorrecta no lubricará correctamente los componentes internos que tienen fricción y se producirá un desgaste prematuro. Revisar tipo de aceite del motor. Tiempo de trabajo: 15 min.		
				2	Lubricante contaminado	Desgaste prematuro de componentes internos del motor. Pérdida de potencia y torque. Cambiar aceite motor SAE15W40 y/o equivalente y filtros. Tiempo de trabajo: 1 hora.		
3	Almacenar aceite motor	A	Almacenaje de aceite motor deficiente por presentar fugas.	1	Fisura del cárter	Fuga de aceite por cárter fisurado. Deficiente lubricación debido a disminución de aceite y baja presión. Cambiar cárter. Tiempo de trabajo 2 horas		
				2	Hilos de niples del sensor de presión de aceite gastados y/o falta de teflón.	Fuga mínima de aceite por los niples de sensor. Cambiar niple de sensor y/o agregar al hilo para sellar la fuga. Tiempo de trabajo: 30 minutos.		
				3	Fuga de aceite motor por dámper	Pase de aceite por el interior del cuerpo del cigüeñal. Inspeccionar tapón del cigüeñal. Limpiar las partes involucradas. Instale tapón con Loctite 515. Tiempo de trabajo 3 horas.		

Fuente: Elaboración propia.

1.4. HOJA DE DECISIÓN RCM N° 02 SISTEMA MOTOR, SUB-SISTEMA LUBRICACIÓN.

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA / ACTIVO Motor Diésel Cat. 3054C							SISTEMA N° 2			FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
			SUB-SISTEMA / COMPONENTE Lubricación											SUB-SISTEMA N° 2	
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción "a falta de"			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	S						Al empezar la jornada laboral inspeccionar nivela de aceite motor, si es necesario aumentar hasta el nivel indicado en la varilla.	Cada turno	Lubricador
1	A	2	S	N	N	S	N	N	N				No hay tareas de mantenimiento propuesto		
1	A	3	S	N	N	S	N	N	N				No hay tareas de mantenimiento propuesto		
1	A	4	S	N	N	S	S						No hay tareas de mantenimiento propuesto	Anual	Técnico Equipo Pesado
1	A	5	S	N	N	S	N	N	N				No hay tareas de mantenimiento propuesto		
1	B	1	S	N	N	S	S						En cada turno de trabajo revisar el nivel y viscosidad de aceite motor	Diario	Lubricador
2	A	1	S	N	N	S	S						Rellenar aceite motor tipo SAE 15W40 y/o equivalente, cambiar filtros de aceite motor.	A condición	Lubricador

Fuente: Elaboración propia.

**RCM II
HOJA DE
DECISIÓN**

RCM II HOJA DE DECISIÓN							SISTEMA / ACTIVO Motor Diésel Cat. 3054C				SISTEMA N° 2			FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
							SUB-SISTEMA / COMPONENTE Lubricación				SUB-SISTEMA N° 2				01/12/2020	2 de 2
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción "a falta de"			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realiza rse por	
F	FF	FM	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4				
2	A	2	S	N	N	S	S						Sacar muestras de aceite motor para análisis	Cada 125 hrs	Lubricador	
3	A	1	S	N	S		N	N	N				No hay tareas de mantenimiento propuesto			
3	A	2	S	N	S		N	N	N				No hay tareas de mantenimiento propuesto			
3	A	3	S	N	S		N	N	N				No hay tareas de mantenimiento propuesto			

Fuente: Elaboración propia.

1.5. HOJA DE INFORMACIÓN RCM N°03 SISTEMA MOTOR, SUB-SISTEMA ADMISIÓN DE AIRE

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA / ACTIVO Motor Diésel Cat. 3054C		SISTEMA N° 3		FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Admisión de aire		SUB-SISTEMA N°3			01/12/2020	1 de 2
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)		
1	Proveer y fluir aire comprimido del múltiple de admisión y distribuye de modo uniforme a cada cilindro del motor.	A	Insuficientes suministros de aire.	1	Contaminación del filtro de aire primario y secundario	Insuficiente aire en los cilindros, pérdida de potencia por mezcla insuficiente. Inspeccione el elemento del filtro de aire del motor. Reemplace un elemento sucio con un elemento limpio. Tiempo de trabajo: 15 minutos.		
				1	Empaquetadura del block gastados.	Elevada presión de cárter. Cambiar la empaquetadura. Tiempo de trabajo: 4 horas.		
		B	Flujo de aire es desviado al cárter	2	Desgaste de los anillos de lubricación.	Elevada presión de cárter. Pérdida de potencia por baja compresión. Pase de aire desde cámara de combustión al cárter generando un aumento de presión. Cambiar los anillos. Revisar estado del lubricante. Tiempo de trabajo: 1 día.		
				3	Fisura del pistón, camisa del cilindro dañado.	Sobrepresión de cárter, pérdida de potencia. Cambiar kit completo semi-reparación del motor (pistón, anillos, camisa de cilindro, empaques, orines). Tiempo de trabajo: 2 días.		
				4	Empaquetadura de culata de los cilindros sopladados	No tiene potencia. Es necesario inspeccionar con herramienta adecuada la compresión de cada cilindro y cambiar los empaques del cilindro que presenta problemas. Tiempo de trabajo: 5 hrs.		

Fuente: Elaboración propia.

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA / ACTIVO Motor Diésel Cat. 3054C		SISTEMA N° 3		FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Admisión de aire		SUB-SISTEMA N° 3			01/12/2020	2 de 2
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)		
2	Elevar potencia del motor.	A	No eleva la potencia del motor	1	Deficiente lubricación por fluido que no cumple las especificaciones u obstrucción en las cañerías de lubricación del conjunto giratorio del turbo.	Desgaste prematuro en los elementos internos del turbo, bujes radiales, cuellos del eje, desbalanceo. Perdida de potencia del motor. Enviar turbo para reparación a empresa Casa del Turbo. Instalar Turbo reparado. Tiempo de trabajo: 4 horas.		
				2	Por altas temperaturas (carbonización) y partículas por desgastes de elementos internos del motor generan contaminación del lubricante.	Desgaste con ralladura en los bujes radiales, cuellos del eje, desbalanceo y ruptura de elementos internos del turbo. Presencia de exceso de humo, pérdida de potencia del motor. Enviar turbo para reparación a empresa Casa del Turbo. Instalar Turbo reparado. Tiempo de trabajo: 4 horas.		
				3	Obstrucción del conducto y canalización de admisión de aire	Falta fuerza del motor. Inspeccionar y limpiar sistema admisión de aire. Tiempo de trabajo: 1 hora.		
				4	Objetos extraños en las ruedas del compresor y caja del compresor de la turbina.	Funcionamiento deficiente del turbo o pierde su función. Inspeccionar si el elemento extraño causó algún daño los alabes del compresor o de la turbina, si hay daños determinar el origen del objeto extraño. Reemplazar el turbo. Tiempo de trabajo: 3 horas.		
				5	Almacenamiento de trazas de suciedad en el compresor.	Pérdida de fuerza del motor. Inspeccionar el turbo y limpiar los elementos internos. Tiempo de trabajo: 2 horas		

Fuente: Elaboración propia.

1.6. HOJA DE DECISIÓN RCM N° 03 SISTEMA MOTOR, SUB-SISTEMA ADMISIÓN DE AIRE

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA / ACTIVO Motor Diésel Cat. 3054C							SISTEMA N° 3			FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
			SUB-SISTEMA / COMPONENTE Admisión de aire							SUB-SISTEMA N° 3				01/12/2020	1 de 2
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción "a falta de"			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Inspeccionar que la admisión de aire esté limpia, filtros de aire primario y secundario deben estar en óptimas condiciones. En cada inspección se debe verificar el medidor de restricción del filtro de aire.	A condición	Técnico Equipo Pesado
1	B	1	S	N	N	S	N	N	N				No hay tareas de mantenimiento propuesto		
1	B	2	S	N	N	S	S						Cambiar los anillos según especificación de Cat.	Cada 2000 Hrs	Técnico Equipo Pesado
1	B	3	S	N	N	S	N	N	N				No hay tareas de mantenimiento propuesto		
1	B	4	S	N	N	S	N	N	N				No hay tareas de mantenimiento propuesto		
2	A	1	S	N	N	S	S						Limpie los turbos según procedimiento de mantenimiento Cat. Cambiar el aceite motor y los filtros.	Cada 250 Hrs	Mecánico / Lubricador
2	A	2	S	N	N	S	S						Realizar toma de muestra de aceite lubricante según procedimiento	Cada 250 Hrs	Lubricador

Fuente: Elaboración propia.

**RCM II
HOJA DE
DECISIÓN**

SISTEMA / ACTIVO Motor Diésel Cat. 3054C	SISTEMA N° 3	FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
	SUB-SISTEMA / COMPONENTE Admisión de aire		01/12/2020	2 de 2

Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción "a falta de"			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4			
2	A	3	S	N	N	S	N	N	N				No hay tareas de mantenimiento propuesto		
2	A	4	S	N	N	S	S						Inspeccionar filtros de aire primario y secundario. Ajustar las abrazaderas del filtro para que no tenga juego.	Semanal	Lubricador
2	A	5	S	N	N	S	S						Cambiar filtro de aire según factor operacional	A condición	Lubricador

Fuente: Elaboración propia.

1.7. HOJA DE INFORMACIÓN RCM N° 04 SISTEMA MOTOR, SUB-SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA / ACTIVO Motor Diésel Cat. 3054C		SISTEMA N° 4		FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Enfriamiento		SUB-SISTEMA N° 4			01/12/2020	1 de 2
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)		
1	Fluir refrigerante entre 80 y 95°C para sostener una temperatura ideal para el correcto trabajo del motor	A	Temperatura de trabajo del motor por debajo de 80°C.	1	Fuga de refrigerante por los sellos del termostato.	Pérdida de fuerza del motor. Apariencia de humo blanco en tubo de escape del motor. Inspeccionar y cambiar si son necesarios los sellos del termostato. Tiempo de trabajo: 2 horas		
		B	Temperatura de trabajo del motor por encima de 95°C (calentamiento).	1	Deficiente circulación del fluido refrigerante por bajo nivel del mismo. Mangueras gastadas, torcidas o secas.	Temperatura elevada del refrigerante causará calentamiento del motor. Disminución de viscosidad y pérdida de propiedades del lubricante y refrigerante generando desgastes prematuros en elementos internos del motor.		
				2	Deficiente entrega de calor por formación de sarros en el recorrido del refrigerante	Temperatura elevada del fluido refrigerante. Los sarros y depósitos de lodos generan alteración en sistema enfriamiento, los cuales aíslan elementos que necesitan ser refrigerados. Con sobrecalentamiento del motor es habitual ver monoblock fracturados, pérdida de fuerza del motor		
2	Impulsar el flujo del refrigerante por: enfriadores de aceite, parte trasera del bloque y parte trasera de la culata del motor.	A	No impulsa el fluido refrigerante.	1	Rotor de bomba de agua suelto y/o con desgaste.	Circulación deficiente del refrigerante por las partes internas del motor ocasionará un sobrecalentamiento del motor. Inspeccionar, ajustar el rotor de la bomba agua de ser necesario cambiar. Tiempo de trabajo: 2 horas.		

Fuente: Elaboración propia.

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA / ACTIVO Motor Diésel Cat. 3054C		SISTEMA N° 4	FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Enfriamiento		SUB-SISTEMA N° 4		01/12/2020	2 de 2
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)		
				2 “Cavitación de la bomba debido al aire atrapado en el sistema de refrigeración”. (Vasquez, 2008, pág. 89)	Presencia de picaduras en las paredes de las camisas de los cilindros durante el proceso de combustión. Erosión de paredes de las camisas por implosión repetitiva del aire. Para eliminar la cavitación es necesario utilizar aditivos de refrigerante que ayude a proteger la superficie metálica de los elemento por donde flui el refrigerante.		
3	“(…) Ajustar el flujo del refrigerante proveniente de los múltiples de agua y recircularlo por el motor según temperatura” (Vasquez, 2008, pág. 90)	A	“Incapaz de regular el flujo de refrigerante o lo hace de manera incorrecta”. (Vasquez, 2008, pág. 90)	1 “Termostato no cierra”. (Vasquez, 2008, pág. 90)	“(…) funcionamiento deficiente con temperatura baja de refrigerante, ya que aunque esté por debajo de 81°C igual circulará por el intercambiador de calor. Poca potencia. Presencia de humo blanco. Remueva, inspeccione y compruebe el termostato. Instale uno nuevo si fuese necesario. Tiempo de trabajo: 3 horas”. (Vasquez, 2008, pág. 89)		
4	Almacenar el fluido refrigerante.	A	Almacenaje deficiente del fluido refrigerante.	1 Fuga de líquido refrigerante por empaquetadura y sellos del eje de la bomba.	Al bajar el nivel de refrigerante generará un aumento de temperatura del motor debido a la despresurización del sistema de refrigeración.		

Fuente: Elaboración propia.

1.8. HOJA DE DECISIÓN RCM N° 04 SISTEMA MOTOR, SUB-SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

RCM II HOJA DE DECISIÓN							SISTEMA / ACTIVO Motor Diésel Cat. 3054C				SISTEMA N° 4			FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
							SUB-SISTEMA / COMPONENTE Enfriamiento				SUB-SISTEMA N° 4				01/12/2020	1 de 1
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción "a falta de"			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por	
F	FF	FM	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4				
1	A	1	S	N	N	S	N	N	N				No hay tareas de mantenimiento propuesto			
1	B	1	S	N	N	S	S						Inspeccionar el nivel del refrigerante de ser necesario aumentar hasta el cuello del llenador. Inspeccione las mangueras para ver si están aplastadas o deterioradas. De ser necesario reemplace las mangueras defectuosas.	Diario	Operador	
1	B	2	S	N	N	S	S						Limpiar el sistema con un limpiador de sistemas de enfriamiento para remover los depósitos de lodos y sarro dentro del sistema. Espirar con aire el exterior del núcleo del intercambiador de calor. Revisar los aditivos del refrigerante y cambiar si es necesario según especificaciones establecidas por Caterpillar.	Anual	Técnico Equipo Pesado	
2	A	1	S	N	N	S	N	N	N				No hay tareas de mantenimiento propuesto.			
2	A	2	S	N	N	S	N	N	N				Cambiar fluido del sistema de enfriamiento según especificación por Caterpillar.	Anual	Técnico Equipo Pesado	
3	A	1	S	N	N	S	S						Probar el termostato según especificaciones por Caterpillar.	Anual	Técnico Equipo Pesado	
4	A	1	S	N	N	S	S						Inspeccionar estanqueidad del sistema de refrigeración en periodos de mantenimiento. Sacar muestra de refrigerante usado para análisis.	Cada 500 Hrs	Técnico Equipo Pesado	

Fuente: Elaboración propia.

1.9. HOJA DE INFORMACIÓN RCM N° 05 SISTEMA MOTOR, SUB-SISTEMA ELÉCTRICO

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA / ACTIVO Motor Diésel Cat. 3054C		SISTEMA N° 5		FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Eléctrico		SUB-SISTEMA N° 5			01/12/2020	1 de 1
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)		
1	Girar el volante del motor con suficiente fuerza para dar partida y activar los contactos eléctricos.	A	No hay fuente de energía.	1	Baterías fuera de servicio y/o descargadas.	No da arranque el motor. Cambiar y/o cargar batería. Tiempo de trabajo: 15 minutos.		
				2	Circuitos eléctricos averiadas y/o sueltas.	No da arranque el motor. Inspeccionar el conjunto de cableado, conexiones y terminares. Tiempo de trabajo: 2 horas.		
				3	Terminales de batería sueltos y bornes con desgastes.	No da arranque el motor. Revisar los bornes gastados y cambiar, ajustar los terminales sueltos. Tiempo de trabajo: 1 hora.		
		B	“Incapaz de hacer arrancar el motor”. (Vasquez, 2008, pág. 92)	1	“Bendix del motor de arranque pegados	No da arranque el motor. Revisar y reparar arrancador en taller eléctrico de equipo pesado. Tiempo de trabajo: 2 horas.		
				2	Dientes del piñón del motor de arranque fracturados.	Dificultad de dar partida el motor. Reparar arrancador en taller eléctrico de equipo pesado. Tiempo de trabajo: 2 horas.		
				3	Porta carbones entre las delgas del motor de arranque	Arrancador no tiene fuerza por lo que no gira a velocidad necesaria para girar el volante del motor. Reparar el arrancador en taller eléctrico de equipo pesado. Tiempo de trabajo: 2 horas.		
				4	Inducido del motor de arranque quemado” (Vasquez, 2008, pág. 92)	“Motor de arranque no gira” (Vasquez, 2008, pág. 92). Reparar en taller eléctrico de equipo pesado. Tiempo de trabajo: 2 horas.		
2	Cargar las baterías de almacenamiento.	A	La carga de la batería no se mantiene.	1	Regulador de carga de alternador averiado.	Las baterías no se cargan. No volverá arrancar el motor hasta cargar la batería. Revisar alternador y cambiar el regulador. Tiempo de trabajo: 1 hora.		

Fuente: Elaboración propia.

1.10. HOJA DE DECISIÓN RCM N° 05 SISTEMA MOTOR, SUB-SISTEMA ELÉCTRICO

RCM II HOJA DE DECISIÓN							SISTEMA / ACTIVO Motor Diésel Cat. 3054C						SISTEMA N° 5			FACILITADOR JOSE ALVES		FECHA	HOJA
							SUB-SISTEMA / COMPONENTE Eléctrico						SUB-SISTEMA N° 5						01/12/2020
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción "a falta de"			Tarea Propuesta				Intervalo Inicial	A realizarse por	
F	FF	FM	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4							
1	A	1	S	N	N	S	S							Inspeccionar nivel de carga de las baterías 12V	Todos los lunes	Técnico Electricista CC			
1	A	2	S	N	N	S	S							Inspeccionar visualmente circuito de cables y terminales del sistema eléctrico (arrancador, alternador y baterías).	Todos los lunes	Técnico Electricista CC			
1	A	3	S	N	N	S	S							Inspeccionar bornes de baterías, si es necesario cambiar. Ajustar terminal de batería.	Todos los lunes	Técnico Electricista CC			
1	B	1	S	N	N	S	S							Desmontar arrancador e inspeccionar estado del Bendix, si presenta desgaste cambiar.	Cada 1000 horas	Técnico Electricista CC			
1	B	2	S	N	N	S	S							Desmontar arrancador e inspeccionar estado de dientes del piñón, si presenta desgaste cambiar.	Cada 1000 horas	Técnico Electricista CC			
1	B	3	S	N	N	S	S							Desmontar arrancador e inspeccionar estado de porta carbones, si presenta desgaste cambiar.	Cada 1000 horas	Técnico Electricista CC			
1	B	4	S	N	N	S	S							Desmontar arrancador e inspeccionar estado de inducido, si presenta desgaste cambiar.	Cada 1000 horas	Técnico Electricista CC			

Fuente: Elaboración propia.

1.11. HOJA DE INFORMACIÓN RCM N° 06 SISTEMA MOTOR, SUB-SISTEMA DE ESCAPE

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA / ACTIVO Motor Diésel Cat. 3054C		SISTEMA N° 6		FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Escape		SUB-SISTEMA N° 6			01/12/2020	1 de 1
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)		
1	“Abrir y cerrar las canalizaciones (válvulas de escape) por donde escapan los gases quemados del interior de los cilindros”. (Vasquez, 2008, pág. 94)	A	Deficiente cierre y apertura de las válvulas de escape.	1	Presencia de depósito de carbón en la cabeza de las válvulas de escape.	Pérdida de compresión del motor por deficiente asentamiento de las válvulas. Pérdida de potencia del motor. Inspeccionar las válvulas de escape según procedimiento Cat. Tiempo de trabajo: 1 día		
				2	Válvula de escape arqueado.	“Determine si existe contacto entre la cabeza de válvula y el pistón. Posibles daños en la guía e inserto de la válvula, la culata de cilindro o el pistón. Debido a que las válvulas no asientan bien se produce una pérdida de compresión. Esto conlleva a una pérdida de potencia. Reemplace las válvulas dobladas. Tiempo de trabajo: 1 día” (Vasquez, 2008, pág. 94)		
				3	Todas las válvulas arqueadas.	“Pérdida considerable de potencia, ya que todas las válvulas asientan incorrectamente. Verifique y corrija si existe una sincronización incorrecta del tren de engranajes. Tiempo de trabajo: 1 día” (Vasquez, 2008, pág. 94).		
2	Circular gases quemados al silenciador y luego al tubo de escape.	A	Deficiente circulación de gases	1	Restricción en tubería de escape por presentar hendidura.	Pérdida de potencia del motor por elevada presión del cárter. Inspeccionar tubería de escape de ser necesario reparar y/o cambiar. Tiempo de trabajo: 1 día.		

Fuente: Elaboración propia.

1.12. HOJA DE DECISIÓN RCM N° 06 SISTEMA MOTOR, SUB-SISTEMA DE ESCAPE

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA / ACTIVO Motor Diésel Cat. 3054C									SISTEMA N° 6		FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
			SUB-SISTEMA / COMPONENTE Escape									SUB-SISTEMA N° 6			01/12/2020	1 de 1
			Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción "a falta de"			Tarea Propuesta
F	FF	FM	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4				
1	A	1	S	N	N	S	N	S					Inspeccionar y medir estado actual de las válvulas de escape.	Cada 2000 horas	Técnico Equipo Pesado	
1	A	2	S	N	N	S	N	S					Inspeccionar alineación de válvulas de escape.	Cada 2000 horas	Técnico Equipo Pesado	
1	A	3	S	N	N	S	N	S					Inspeccionar alineación de válvulas de escape.	Cada 2000 horas	Técnico Equipo Pesado	
2	A	1	S	N	N	S	S						Inspección visual de la tubería de escape.	Diario	Operador	

Fuente: Elaboración propia.

1.13. HOJA DE INFORMACIÓN RCM N° 07 SISTEMA MOTOR, SUB-SISTEMA DE PROTECCIÓN

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA / ACTIVO Motor Diésel Cat. 3054C		SISTEMA N° 7		FACILITADOR JOSE ALVES		FECHA		HOJA	
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Protección						SUB-SISTEMA N° 7		01/12/2020	
FUNCIÓN			FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)			MODO DE FALLA (Causa de la Falla)			EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)		
1	“Activar una alarma sonora cuando la presión del aceite baje a los 30 psi y activar el mecanismo de parada del motor cuando la presión del aceite baje hasta los 20 PSI”. (Vasquez, 2008, pág. 96)	A	No se activa la alarma sonora tampoco el mecanismo de parada del motor.	1	Terminales de conexión eléctrica del sensor sulfatado y/o suelto.	Al bajar la presión de aceite motor hasta los 20 PSI, habrá una lubricación deficiente en los elementos móviles del motor por lo que aumentará la temperatura, generando desgastes, ruptura prematura de los mismos. Inspeccionar el circuito de cable eléctrico y terminales. Cambiar el cableado y/o reparar. Tiempo de trabajo: 2 horas.					
				2	Sensor averiado.	Al bajar la presión de aceite motor hasta los 20 PSI, habrá una lubricación deficiente en los elementos móviles del motor por lo que aumentará la temperatura, generando desgastes, ruptura prematura de los mismos. Inspeccionar el sensor y cambiar. Tiempo de trabajo: 1 hora.					
2	“Activar una alarma sonora cuando la temperatura del líquido refrigerante suba a los 96°C y activar el mecanismo de detención del motor cuando la temperatura del líquido refrigerante alcance los 110°C”. (Vasquez, 2008, pág. 96)	A	No se activa la alarma sonora tampoco el mecanismo de parada del motor.	1	Terminales de conexión eléctrica del sensor sulfatado y/o suelto.	Al subir la temperatura del fluido refrigerante por encima de 110°C se genera un sobrecalentamiento del motor. Ocasionando sobrecalentamiento de las camisas de los cilindros, causando daños directos sobre la culata y los cilindros. Inspeccionar el circuito de cable eléctrico y terminales. Cambiar el cableado y/o reparar. Tiempo de trabajo: 2 horas.					

Fuente: Elaboración propia.

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA / ACTIVO Motor Diésel Cat. 3054C		SISTEMA N° 7		FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Protección		SUB-SISTEMA N° 7			01/12/2020	2 de 2
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)		
				2	Sensor averiado.	Al subir la temperatura del fluido refrigerante por encima de 110°C se genera un sobrecalentamiento del motor. Ocasionando sobrecalentamiento de las camisas de los cilindros, causando daños directos sobre la culata y los cilindros. . Inspeccionar el sensor. Cambiar el sensor. Tiempo de trabajo: 1 hora.		
3	“Activar una alarma sonora y activar el mecanismo de detención del motor cuando la presión del cárter exceda los 2,4"H2O” (Vasquez, 2008, pág. 96)	A	No se activa la alarma sonora tampoco el mecanismo de parada del motor.	1	Terminales de conexión eléctrica del sensor sulfatado y/o suelto.	Al aumentar el consumo de lubricante, este pasa a la cámara de combustión generándose quema del mismo. Pérdida de fuerza del motor, presencia de humo negro. Inspeccionar el circuito de cable eléctrico y terminales. Cambiar el cableado y/o reparar, hacer una limpieza con limpia contactos. Tiempo de trabajo: 2 horas.		
				2	Sensor averiado	Al aumentar el consumo de lubricante, este pasa a la cámara de combustión generándose quema del mismo. Pérdida de fuerza del motor, presencia de humo negro. Inspeccionar el circuito de cable eléctrico y terminales. Cambiar el sensor averiado. Tiempo de trabajo: 1 hora.		

Fuente: Elaboración propia.

1.14. HOJA DE DECISIÓN RCM N° 07 SISTEMA MOTOR, SUB-SISTEMA DE PROTECCIÓN

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA / ACTIVO Motor Diésel Cat. 3054C							SISTEMA N° 7			FACILITADOR JOSE ALVES		FECHA		HOJA			
			SUB-SISTEMA / COMPONENTE Protección							SUB-SISTEMA N° 7					01/12/2020		1 de 1			
			Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción "a falta de"			Tarea Propuesta				Intervalo Inicial
F	FF	FM	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4								
1	A	1	N					S						Inspeccionar el circuito de cable eléctrico, terminales y limpiar la sulfatación con limpia contactos.				Cada horas	250	Técnico Electricista CC
1	A	2	N					S						Revisar y probar el sensor con un voltímetro, de acuerdo especificación Cat.				Cada horas	1000	Técnico Electricista CC
2	A	1	N					S						Inspeccionar el circuito de cable eléctrico, terminales y limpiar la sulfatación con limpia contactos.				Cada horas	250	Técnico Electricista CC
2	A	2	N					S						Revisar y probar el sensor con un voltímetro, de acuerdo especificación Cat.				Cada horas	1000	Técnico Electricista CC
3	A	1	N					S						Inspeccionar el circuito de cable eléctrico, terminales y limpiar la sulfatación con limpia contactos.				Cada horas	250	Técnico Electricista CC
3	A	2	N					S						Revisar y probar el sensor con un voltímetro, de acuerdo especificación Cat.				Cada horas	1000	Técnico Electricista CC

Fuente: Elaboración propia.

1.15. HOJA DE INFORMACIÓN RCM N° 08 SISTEMA DE DIRECCIÓN

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA / ACTIVO Dirección		SISTEMA N° 8	FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Dirección		SUB-SISTEMA N° 8		01/12/2020	1 de 6
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)		
1	Dar sentido y velocidad de giro de la máquina.	A	La bomba de engranajes es ruidosa y los pistones de los cilindros de la dirección no se mueven con facilidad.	1 Presencia de aire en el circuito hidráulico de la dirección	Por presencia de aire en circuito puede generar desgastes en elementos de la bomba de engranaje, purgar el sistema, tiempo de trabajo = 30 minutos		
				2 La bomba de engranajes está desgastada	“Deficiente circulación de aceite y presión baja de éste. Reemplace o repare la bomba de dirección” (Caterpillar Inc., 2017, pág. 1)		
				3 Hay una conexión floja en la tubería de aceite conectada al lado de entrada de la bomba de la dirección.	Fuga de aceite, ajuste para los acoples para evitar fugas y generar impactos ambientales		
				4 “El nivel de aceite hidráulico es bajo” (Caterpillar Inc., 2017)	“Pérdida de lubricación de elementos móviles de la bomba de engranajes. Sobrecalentamiento de la bomba. Rellene con aceite hasta el nivel del visor medidora. Tiempo de trabajo: 30 minutos” (Caterpillar Inc., 2017)		
				5 La viscosidad del aceite hidráulico no es correcta	“Pobre lubricación de la bomba de engranajes puede generar sobrecalentamiento ya que éste no lubricará correctamente los componentes que tienen roce y se producirá un desgaste excesivo” (Caterpillar Inc., 2017, pág. 2).		

Fuente: Elaboración propia

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA / ACTIVO Dirección		SISTEMA N° 8		FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Dirección		SUB-SISTEMA N° 8			01/12/2020	2 de 6
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)		
		B	Se necesita demasiada fuerza para girar el volante.	1	La válvula de alivio se ha atascado en la posición abierta	Lentitud del equipo y posible parada		
				2	“(…) El nivel de aceite hidráulico está bajo” (Caterpillar Inc., 2017, pág. 3)	“Pérdida de lubricación de elementos móviles de la bomba de engranajes. Sobrecalentamiento de la bomba. Rellene con aceite hasta el nivel del visor medidora. Tiempo de trabajo: 30 minutos” (Caterpillar Inc., 2017, pág. 3)		
				3	La presión de aceite de la bomba de engranajes es demasiado baja.	Circulación pobre de aceite dentro del sistema, posible parada		
				4	El alineamiento de la columna de la dirección no es correcto.	Des alineamiento de la dirección, alinear dirección, tiempo de trabajo = 2 horas		
		C	La máquina no gira cuando vira el volante.	1	El nivel de aceite hidráulico es bajo.	Sobrecalentamiento de elementos internos por pérdida de lubricación. Rellene con aceite hasta el nivel del visor medidora. Tiempo de trabajo: 30 minutos.		
				2	Hay aire en el sistema hidráulico.	Por presencia de aire en circuito puede generar desgastes en elementos de la bomba de engranaje, purgar el sistema, tiempo de trabajo = 30 minutos		

Fuente: Elaboración propia

RCM II	SISTEMA / ACTIVO	SISTEMA N° 8	FACILITADOR	FECHA	HOJA
--------	------------------	--------------	-------------	-------	------

HOJA DE INFORMACIÓN		Dirección				JOSE ALVES			
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Dirección		SUB-SISTEMA N° 8				01/12/2020 3 de 6	
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)			
				3	Hay suciedad en el sistema hidráulico.	Deterioro de la bomba hidráulica			
				4	La operación de la bomba de engranajes no es correcta.	Parada del equipo, cambiar y/o reparar la bomba de engranajes, tiempo de trabajo : 2 horas			
				5	La articulación del bastidor está trabada porque el pasador de traba está en el agujero de la horquilla	Parada del equipo, revisar y/o cambiar pasador de traba, tiempo de trabajo : 1 horas			
				6	Uno de los cilindros de la dirección tiene anillos de pistón desgastados.	Fuga de aceite por los sellos desgastados, revisar y cambiar los sellos gastados, tiempo de trabajo: 4 horas			
		D	La máquina gira lentamente en ambas direcciones	1	No hay suficiente caudal de aceite desde la bomba de engranajes.	Presión baja del sistema, medir las presiones y comparar con lo especificada, cambiar y/o reparar la bomba de engranajes, tiempo de trabajo: 4 horas			
				2	Está restringida la tubería de succión de la bomba de engranajes.	Pobre lubricación de la bomba de engranajes puede generar sobrecalentamiento ya que éste no se lubricará correctamente y se producirá un desgaste excesivo.			
				3	Fugas en los sellos de los cilindros de la dirección.	Sellos gastados, cambie orines, tiempo mínimo 4 horas			

Fuente: Elaboración propia

RCM II	SISTEMA / ACTIVO	SISTEMA N° 8	FACILITADOR	FECHA	HOJA
--------	------------------	--------------	-------------	-------	------

HOJA DE INFORMACIÓN		Dirección		JOSE ALVES			
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Dirección		SUB-SISTEMA N° 8		01/12/2020	4 de 6
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)	
				4	El carrete de la válvula de prioridad que está en el interior de la bomba de engranajes no permite que pase suficiente aceite a la bomba de dosificación.	Carrete de válvula inoperativo, cambie la válvula, tiempo: 4 horas	
				5	La presión en el circuito de la dirección es demasiado baja.	Circulación pobre de aceite dentro del sistema, posible parada	
		E	La bomba de dosificación no vuelve correctamente a la posición central	1	Las cubiertas de la bomba de dosificación están demasiado apretadas.	La incorrecta apriete de la bomba de dosificación no genera el retorno a su posición central	
				2	El alineamiento de la columna de la dirección no es correcto.	Des alineamiento de la dirección, alinear dirección, tiempo de trabajo: 2 horas	
				3	El carrete de la válvula de la bomba de dosificación tiene una restricción.	Carrete de válvula inoperativo, cambie la válvula, tiempo=4 horas	
				4	Uno de los cilindros de la dirección no funciona debidamente.	Cilindros con desgaste en los sellos, cambiar sellos, tiempo de trabajo = 8 horas	
		F	La temperatura del aceite hidráulico es demasiado alta	1	La viscosidad del aceite hidráulico no es correcta.	Pobre lubricación de los componentes hidráulicos puede generar sobrecalentamiento ya que éste no lubricará correctamente los componentes internos que tienen fricción.	

Fuente: Elaboración propia

RCM II	SISTEMA / ACTIVO	SISTEMA N° 8	FACILITADOR	FECHA	HOJA
--------	------------------	--------------	-------------	-------	------

HOJA DE INFORMACIÓN		Dirección				JOSE ALVES			
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Dirección		SUB-SISTEMA N° 8				01/12/2020	5 de 6
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)			
				2	El aire se mezcla con el aceite hidráulico.	Fuga de aceite por enfriador, cambiar y/o enviar a taller especializado, tiempo de trabajo: 8 horas			
				3	La válvula de alivio del sistema de la dirección tiene un defecto.	Parada del equipo, cambiar la válvula de alivio, tiempo de trabajo : 2 horas			
				4	Hay una restricción en una de las tuberías o componentes del sistema de la dirección.	Calentamiento del sistema hidráulico, revisar tuberías y componentes del sistema dirección, tiempo de trabajo: 4 horas			
				5	Las aletas del enfriador de aceite están sucias.	Aletas del radiador sucio, limpiar y/o lavar, tiempo de trabajo = 1 hora			
				6	El ventilador de enfriamiento no gira al rpm apropiadas.	Calentamiento del sistema, cambiar ventilador, tiempo de trabajo: 4 horas			
		G	Cuando se prueba la presión del sistema de dirección, el sistema no alcanza el ajuste de presión de la válvula de alivio de 19000 ± 300 kPa (2750 ± 45 psi).	1	La válvula de alivio no está bien calzada.	Parada del equipo, cambiar válvula de alivio, tiempo de trabajo: 2 horas			

Fuente: Elaboración propia

RCM II	SISTEMA / ACTIVO	SISTEMA N° 8	FACILITADOR	FECHA	HOJA
--------	------------------	--------------	-------------	-------	------

HOJA DE INFORMACIÓN		Dirección				JOSE ALVES			
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE		SUB-SISTEMA N° 8				01/12/2020	6 de 6
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)			
				2	La válvula de alivio está abierta.	Parada del equipo, cambiar válvula de alivio, tiempo de trabajo: 2 horas			
				3	La válvula de alivio está defectuosa.	Parada del equipo, cambiar válvula de alivio, tiempo de trabajo: 2 horas			
				4	La bomba está defectuosa.	Parada del equipo, cambiar la bomba, tiempo de trabajo: 2 horas			
		H	La volante gira sin virar manualmente la rueda	1	Hay materias extrañas que hacen que se atasque la válvula de carrete en la bomba de dosificación.	Ralladuras en válvula de carrete bomba de dosificación, revisar materiales extraños, tiempo de trabajo: 2 horas			
				2	Los resortes de centrado están rotos o dañados en la bomba de dosificación.	Soltura de volante girando sin virar, revisar los resortes si es necesario cambiar, tiempo de trabajo: 2 horas			
				3	La sincronización del mando de la bomba de dosificación no es correcta.	Parada del equipo, revisar la sincronización de la bomba dosificadora, tiempo de trabajo: 2 horas			
				4	La temperatura del aceite es demasiado alta.	Calentamiento del sistema, revisar el sistema de enfriamiento, tiempo de trabajo = 4 horas			

Fuente: Elaboración propia

1.16. HOJA DE DECISIÓN RCM N° 08 SISTEMA DE DIRECCIÓN

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA / ACTIVO Dirección						SISTEMA N° 8			FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA	
			SUB-SISTEMA / COMPONENTE Dirección						SUB-SISTEMA N° 8				01/12/2020	1 de 5	
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción "a falta de"			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	S						Revisar fugas de aceite en niples y cañerías sueltas	Semanal	Técnico Equipo Pesado
1	A	2	N				S						Sacar muestra de aceite dirección y analizar tendencia de desgaste.	Cada 125 hrs	Lubricador
1	A	3	S	N	N	S	S						Revisar fugas de aceite en niples y cañerías sueltas	Semanal	Técnico Equipo Pesado
1	A	4	S	N	N	S	S						Revisar nivel de aceite antes de empezar turno de trabajo	Diario	Operador
1	A	5	N				N	S					Sacar muestra de aceite hidráulico y evaluar tendencia.	Cada 250 hrs	Lubricador
1	B	1	S	N	N	S	N	S					Revisión de válvulas de alivio	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	B	2	S	N	N	S	N	S					Revisión de niveles de aceite	Diario	Operador / Lubricador
1	B	3	N				S						Medir presiones con manómetros	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado

Fuente: Elaboración propia

**RCM II
HOJA DE
DECISIÓN**

SISTEMA / ACTIVO Dirección	SISTEMA N° 8	FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
SUB-SISTEMA / COMPONENTE Dirección	SUB-SISTEMA N° 8		01/12/2020	2 de 5

Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción "a falta de"			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4			
1	B	4	S	N	N	N	N	S					Verificar alineamiento de la columna de dirección	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	C	1	S	N	N	S	N	S					Revisión de niveles de aceite	Diario	Operador / Lubricador
1	C	2	N				N	S					Purgar aire en sistema hidráulico	Mensual	Operador / Lubricador
1	C	3	N				S						Sacar muestra de aceite hidráulico y analizar tendencia de desgaste.	Cada 500 hrs	Lubricador
1	C	4	N				N	S					Medir presiones con manómetros	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	C	5	S				N	N	N				Cambiar pasador de traba	Cada 1000 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	C	6	N				N	S					Inspeccionar los cilindros de dirección	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	D	1	N				N	S					Medir presiones de la bomba con manómetros	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado

Fuente: Elaboración propia

**RCM II
HOJA DE
DECISIÓN**

SISTEMA / ACTIVO Dirección	SISTEMA N° 8	FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
SUB-SISTEMA / COMPONENTE Dirección	SUB-SISTEMA N° 8		01/12/2020	3 de 5

Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción "a falta de"			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4			
1	D	2	N				N	S					Medir presiones de la bomba con manómetros	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	D	3	N				N	S					Inspeccionar los cilindros de dirección	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	D	4	N				N	S					Medir presiones de la bomba con manómetros	Cada 500 hrs	Mecánico Predictivo
1	D	5	N				N	S					Medir presiones de la bomba con manómetros	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	E	1	N				N	S					Inspeccionar el correcto apriete de la bomba de dosificación	Cada 250 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	E	2	S	N	N	N	N	S					Verificar alineamiento de la columna de dirección	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	E	3	N				N	S					Inspección de carretes de la válvula de bomba dosificación	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado

Fuente: Elaboración propia

**RCM II
HOJA DE
DECISIÓN**

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA / ACTIVO						SISTEMA N° 8				FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA 01/12/2020	HOJA 4 de 5
			SUB-SISTEMA / COMPONENTE						SUB-SISTEMA N° 8						
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción "a falta de"			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	S4			
1	E	4	N				N	S					Inspeccionar los cilindros de dirección	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	F	1	N				N	S					Toma de muestras de aceite hidráulico y analizar tendencia de desgaste.	Cada 250 hrs	Lubricador
1	F	2	S	N	S		N	S					Inspeccionar estado del enfriador de aceite	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	F	3	N				N	S					Inspección de las válvulas de alivio	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	F	4	S	N	N	S	N	S					Inspección de tuberías averiadas	Diario	Operador
1	F	5	S	N	N	S	N	S					Lavar radiador / enfriador	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	F	6	S	N	N	S	N	S					Inspeccionar del ventilador	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	G	1	S	N	N	S	N	S					Medir presiones con manómetros	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado

Fuente: Elaboración propia

**RCM II
HOJA DE
DECISIÓN**

SISTEMA / ACTIVO Dirección	SISTEMA N° 8	FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA 01/12/2020	HOJA 5 de 5
SUB-SISTEMA / COMPONENTE Dirección	SUB-SISTEMA N° 8			

Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción "a falta de"			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	S4			
1	G	2	S	N	N	S	N	S					Revisar la válvula de alivio	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	G	3	S	N	N	S	N	S					Revisar la válvula de alivio	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	G	4	S	N	N	S	N	S					Medir presiones con manómetros	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	H	1	S	N	N	S	N	S					Toma de muestras de aceite dirección y analizar tendencia de desgaste.	Cada 500 hrs	Lubricador
1	H	2	S	N	N	S	N	S					Revisar la bomba de dosificación	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	H	3	S	N	N	S	N	S					Revisar la sincronización de la bomba de dosificación	Cada 1000 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	H	4	S	N	N	S	N	S					Inspeccionar sistema de refrigeración del aceite hidráulico	Cada 250 hrs	Técnico Equipo Pesado

Fuente: Elaboración propia

1.17. HOJA DE INFORMACIÓN RCM N° 09 SISTEMA VIBRATORIO

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA / ACTIVO Vibratorio		SISTEMA N° 9		FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Vibratorio		SUB-SISTEMA N° 9			01/12/2020	1 de 6
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)		
1	Entregar fuerza de compactación: Fuerza centrífuga: máxima 234.0 kN Fuerza centrífuga: mínima 133.0 kN Amplitud nominal: alta 1.8 mm Amplitud nominal: baja 0.85 mm Frecuencia vibratoria: estándar 31/34 Hz (1.860/2.040 vpm)	A	El sistema vibratorio no funciona en amplitud alto o baja	1	Avería del fusible.	Posible parada del equipo, cambiar fusible, tiempo de trabajo = 01 hora		
				2	El interruptor de Activar/Desactivar del sistema vibratorio en la palanca de control de propulsión se ha averiado	Posible parada del equipo, cambiar el interruptor, tiempo de trabajo: 2 horas		
				3	El selector de amplitud en el tablero de control se ha averiado.	Posible parada del equipo, cambiar el selector, tiempo de trabajo = 2 horas		
				4	El circuito eléctrico está defectuoso.	Parada del equipo, revisar todo el circuito de cableado, tiempo de trabajo = 4 horas		

Fuente: Elaboración propia

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA / ACTIVO Vibratorio		SISTEMA N° 9		FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Vibratorio		SUB-SISTEMA N° 9			01/12/2020	2 de 6
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)		
				5	El alternador se ha averiado.	Parada del equipo, cambiar y/o reparar alternador, tiempo de trabajo = 2 horas		
				6	Presión de aceite de carga baja.	Circulación pobre de aceite dentro del sistema puede generar sobrecalentamiento		
				7	La válvula del solenoide en la bomba del sistema vibratorio se ha averiado.	parada del equipo, cambiar válvula solenoide, tiempo de trabajo = 2 horas		
				8	Falla mecánica en el mecanismo vibratorio.	Parada del equipo, revisar el mecanismo de vibración, tiempo de trabajo = 4 horas		
		B	Presión de aceite de carga baja.	1	Hay un nivel bajo de aceite en el tanque hidráulico.	Posible parada del equipo, aumentar aceite hidráulico, tiempo de trabajo = 0.5 horas		
				2	El elemento del filtro de aceite hidráulico está restringido.	Posible parada del equipo, cambiar elemento filtro hidráulico, tiempo de trabajo = 0.5 horas		
				3	Hay fugas excesivas en la caja de la bomba y/o del motor.	Por falta de aceite puede presentar recalentamiento en la caja de bombas		
				4	La manguera entre el depósito y la bomba del sistema vibratorio está floja.	Posible parada del equipo, ajustar las mangueras, tiempo de trabajo = 0.5 horas		

Fuente: Elaboración propia

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA / ACTIVO Vibratorio		SISTEMA N° 9	FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Vibratorio		SUB-SISTEMA N° 9		01/12/2020	3 de 6
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)		
		C	Hay una pérdida periódica de vibración en las gamas ALTA o BAJA	1	Hay una conexión floja en las conexiones de los cables del circuito eléctrico.	Pérdida de conexión, revisar el circuito de conexiones de cables eléctricos, tiempo de trabajo: 2 horas	
				2	El interruptor de control de Activar/Desactivar está defectuoso.	Posible parada del equipo, cambiar interruptor del control, tiempo de trabajo = 2 horas	
				3	El selector de la amplitud vibratoria está defectuoso.	Posible parada del equipo, cambiar selector de amplitud, tiempo de trabajo = 2 horas	
		D	Parada lenta de la frecuencia vibratoria.	1	El plato basculante y/o el pistón de servo se está atascando.	Lentitud de la frecuencia de vibración	
				2	La válvula de alivio principal no se cierra completamente en el lado del circuito de retorno.	Lentitud de la frecuencia de vibración	
		E	El compactador no alcanza la frecuencia máxima de vibración.	1	El medidor de frecuencia no está correctamente ajustado o el medidor está defectuoso.	Frecuencia de vibración baja	
				2	La velocidad alta en vacío no es la correcta.	Frecuencia de vibración baja	

Fuente: Elaboración propia

RCM II	SISTEMA / ACTIVO	SISTEMA N° 9	FACILITADOR	FECHA	HOJA
--------	------------------	--------------	-------------	-------	------

HOJA DE INFORMACIÓN		Vibratorio		JOSE ALVES			
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Vibratorio		SUB-SISTEMA N° 9		01/12/2020	4 de 6
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)	
				3	El ajuste del tope en el servo de la bomba no es el ajuste correcto.	Frecuencia de vibración baja	
				4	El nivel de aceite en la caja de los contrapesos excéntricos es demasiado alto.	Frecuencia de vibración baja, verificar nivel de aceite en el visor medidor, tiempo de trabajo: menos de 30 minutos.	
				5	Las válvulas de alivio de alta presión están ajustadas a una presión demasiado baja.	Frecuencia de vibración baja, medir las presiones con instrumentos de medición (manómetros), ajustar si es necesario, tiempo de trabajo: 2 horas	
				6	Presión de carga baja.	Frecuencia de vibración baja, medir las presiones con instrumentos de medición (manómetros), ajustar si es necesario, tiempo de trabajo: 2 horas	
				7	La válvula de retención del motor del sistema vibratorio se está atascando.	Frecuencia de vibración baja, cambiar válvula de retención, tiempo de trabajo: 2 horas	
		F	El sistema vibratorio emite mucho ruido.	1	Falta aceite que lubrica la caja vibratoria.	“Pérdida de lubricación de elementos móviles del rodaje vibratorio. Rellene con aceite hasta el nivel del visor medidora. Tiempo de trabajo: 30 minutos” (Caterpillar Inc., 2017).	

Fuente: Elaboración propia

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA / ACTIVO Vibratorio		SISTEMA N° 9		FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Vibratorio		SUB-SISTEMA N° 9			01/12/2020	5 de 6
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)		
				2	Pernos de ajuste del motor de pistones sueltos.	Desgaste de agujeros del motor de pistones, ajustar pernos sueltos, tiempo de trabajo: menos de 1 hora		
				3	Se han averiado los cojinetes del eje vibratorio.	Fricción excesiva en el eje		
		G	El aceite hidráulico en el circuito se recalienta.	1	El enfriador hidráulico, el condensador del acondicionador de aire, y/o el radiador están restringidos.	Parada del equipo, sacar el enfriador y condensador para revisión y/o limpieza, tiempo de trabajo: 4 horas		
				2	Presión de carga baja.	Posible parada del equipo		
				3	La válvula de derivación térmica está defectuosa.	Posible parada del equipo, cambiar la válvula derivación, tiempo de trabajo: 2 horas		
				4	La válvula de alivio principal está abierta.	Pérdida de eficiencia en la vibración		
				5	Se ha utilizado un tipo de aceite incorrecto en el sistema hidráulico.	La viscosidad inadecuada puede causar desgastes prematuros de los componentes hidráulicos, cambiar aceite correcto, tiempo de trabajo: 1 hora		
		H	El sistema vibratorio no se conecta.	1	El fusible del sistema vibratorio está quemado.	Posible parada del equipo, cambiar fusible, tiempo de trabajo: 1 hora		

Fuente: Elaboración propia

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA / ACTIVO Vibratorio		SISTEMA N° 9 SUB-SISTEMA N° 9		FACILITADOR JOSE ALVES		FECHA		HOJA	
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Vibratorio						01/12/2020		6 de 6	
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)					
				2	El interruptor de control de ACTIVAR/DESACTIVAR del sistema vibratorio está en la posición abierta.	Posible parada del equipo, cambiar interruptor, tiempo de trabajo: 1 hora					
				3	El interruptor del control del acelerador se ha averiado.	Posible parada del equipo, cambiar interruptor, tiempo de trabajo: 1 hora					
				4	El interruptor de control de la amplitud vibratoria se ha averiado.	Posible parada del equipo, cambiar interruptor, tiempo de trabajo: 1 hora					
				5	El solenoide del control del sistema vibratorio se ha averiado.	Parada del equipo, cambiar solenoide de control sistema vibratorio, tiempo de trabajo: 2 horas					
				6	Existe un circuito abierto en el mazo de cables del sistema vibratorio.	Parada del equipo, cambiar el mazo de cables del sistema vibratorio, tiempo de trabajo: 4 horas					

Fuente: Elaboración propia

1.18. HOJA DE DECISIÓN RCM N° 09 SISTEMA VIBRATORIO

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA / ACTIVO Vibratorio						SISTEMA N° 9				FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
			SUB-SISTEMA / COMPONENTE Vibratorio						SUB-SISTEMA N° 9					01/12/2020	1 de 4
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción "a falta de"			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	N	S					Inspeccionar los fusibles	Cada 250 hrs	Técnico Electricista CC
1	A	2	S	N	N	S	N	S					Inspeccionar los interruptores	Cada 500 hrs	Técnico Electricista CC
1	A	3	S	N	N	S	N	S					Inspeccionar el selector de amplitud	Cada 500 hrs	Técnico Electricista CC
1	A	4	S	N	N	S	N	S					Inspeccionar todo el circuito de cableado	Cada 500 hrs	Técnico Electricista CC
1	A	5	S	N	N	S	N	N	S				Cambiar rodamientos y carbones	Cada 1000 hrs	Técnico Electricista CC
1	A	6	N				N	S					Medir las presiones	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	A	7	N				N	S					Medir la resistencia de solenoide de bomba de vibración	Cada 500 hrs	Técnico Electricista CC
1	A	8	S	N	N	S	N	S					Toma de muestras de aceite del rodaje vibratorio	Cada 500 hrs	Lubricador
1	B	1	S	N	N	S	S						Revisar nivel de aceite antes de empezar turno de trabajo	Diario	Lubricador / Operador

Fuente: Elaboración propia

**RCM II
HOJA DE
DECISIÓN**

SISTEMA / ACTIVO Vibratorio	SISTEMA N° 9	FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA 01/12/2020	HOJA 2 de 4
SUB-SISTEMA / COMPONENTE Vibratorio	SUB-SISTEMA N° 9			

Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción "a falta de"			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H 4	H 5	S 4			
1	B	2	S	N	N	S	N	N	S				Cambiar filtro aceite hidráulico	Cada 500 hrs	Lubricador
1	B	3	S	N	S		N	S					Inspeccionar fugas de aceite en la caja de bombas	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	B	4	N				N	S					Ajustar bridas de manguera entre el depósito y la bomba del sistema vibratorio	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	C	1	N				N	S					Revisar circuito de conexiones de cables eléctricos que conectan la vibración alta/baja	Cada 500 hrs	Técnico Electricista CC
1	C	2	N				N	N	S				Cambiar interruptor de control de activar/desactivar vibración alta/baja	Cada 2000 hrs	Técnico Electricista CC
1	C	3	N				N	N	S				Cambiar selector de amplitud vibratoria	Cada 2000 hrs	Técnico Electricista CC
1	D	1	S	N	N	S	N	S					Revisar plato basculante y/o pistón del servo	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	D	2	N				N	S					Inspeccionar la válvula de alivio principal	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	E	1	S	N	N	S	N	S					Inspeccionar el medidor de frecuencia, ajustar si es necesario según especificación	Cada 1000 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	E	2	S	N	N	S	N	S					Inspeccionar el medidor de frecuencia, ajustar si es necesario según especificación	Cada 1000 hrs	Técnico Equipo Pesado

Fuente: Elaboración propia

**RCM II
HOJA DE
DECISIÓN**

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA / ACTIVO Vibratorio							SISTEMA N° 9				FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
			SUB-SISTEMA / COMPONENTE Vibratorio							SUB-SISTEMA N° 9					01/12/2020	3 de 4
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción "a falta de"			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por	
F	FF	FM	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4				
1	E	3	S	N	N	S	N	S					Inspeccionar el ajuste correcto del tope en el servo de bomba, si es necesario corregir	Cada 1000 hrs	Técnico Equipo Pesado	
1	E	4	N				N	S					Verificar nivel de aceite de la caja de contrapesas	Cada 15 días	Lubricador	
1	E	5	N				N	S					Inspeccionar la válvula de alivio de alta presión si es necesario ajustar según especificación	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado	
1	E	6	N				N	S					Medir las presiones de carga	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado	
1	E	7	N				N	S					Revisar la válvula de retención del motor sistema vibratorio, si es necesario cambiar	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado	
1	F	1	S	N	N	S	N	S					Revisar nivel de aceite antes de empezar turno de trabajo	Diario	Lubricador / Operador	
1	F	2	S	N	N	S	N	S					Inspeccionar ajuste de presión del motor de pistones, si es necesario ajustar	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado	
1	F	3	N				S						Toma de muestras de aceite del rodaje vibratorio	Cada 500 hrs	Lubricador	
1	G	1	N				N	S					Lavar con agua y sopletear con aire el enfriador hidráulico	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado	
1	G	2	N				N	S					Medir las presiones de carga	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado	
1	G	3	N				N	S					Medir y/o revisar el estado de la válvula de derivación térmica	Cada 500 hrs	Técnico Electricista CC	

Fuente: Elaboración propia

**RCM II
HOJA DE
DECISIÓN**

RCM II HOJA DE DECISIÓN							SISTEMA / ACTIVO Vibratorio				SISTEMA N° 9			FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
							SUB-SISTEMA / COMPONENTE Vibratorio				SUB-SISTEMA N° 9				01/12/2020	4 de 4
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción "a falta de"			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por	
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	S4				
1	G	4	N				N	S					Inspeccionar la válvula de alivio principal	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado	
1	G	5	N				S						Toma de muestras de aceite del sistema hidráulico	Cada 500 hrs	Lubricador	
1	H	1	S	N	N	S	N	S					Inspeccionar los fusibles	Cada 250 hrs	Técnico Electricista CC	
1	H	2	N				N	N	S				Cambiar interruptor de control de activar/desactivar vibración alta/baja	Cada 2000 hrs	Técnico Electricista CC	
1	H	3	N				N	N	S				Cambiar interruptor del control de acelerador	Cada 2000 hrs	Técnico Electricista CC	
1	H	4	N				N	N	S				Cambiar interruptor del control de amplitud de vibración	Cada 2000 hrs	Técnico Electricista CC	
1	H	5	N				N	S					Medir la resistencia de solenoide de control de sistema vibratorio	Cada 500 hrs	Técnico Electricista CC	
1	H	6	N				N	S					Revisar circuito de conexiones de cables eléctricos que conectan al sistema de vibración	Cada 500 hrs	Técnico Electricista CC	

Fuente: Elaboración propia

1.19. HOJA DE INFORMACIÓN RCM N° 10 SISTEMA HIDRAULICO, SUB-SISTEMA DE PROPULSIÓN

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA / ACTIVO Hidráulico		SISTEMA N° 10		FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Propulsión		SUB-SISTEMA N° 10			01/12/2020	1 de 10
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)		
1	Dar propulsión que suministran flujo hidráulico equilibrado y separado para el eje de las ruedas traseras y para los motores impulsores del tambor vibratorio.	A	El sistema de propulsión se conecta muy lentamente cuando el operador está cambiando.	1	Presión de carga baja.	Propulsión baja, medir las presiones con instrumentos de medición (manómetros), ajustar si es necesario, tiempo de trabajo: 2 horas		
				2	Los orificios de las bombas de pistón están taponados.	Parada del equipo, revisar el sistema de propulsión, tiempo de trabajo = 4 horas		
				3	El aceite es demasiado viscoso y/o el aceite está demasiado frío.	Posible parada del equipo, revisar el tipo de aceite según condiciones de temperatura ambiente, tiempo de trabajo = menos de 1 hora		
				4	El filtro de carga está taponado.	Posible parada del equipo, cambiar filtro de carga, tiempo de trabajo = menos de 1 hora		
				5	El nivel de aceite hidráulico está bajo.	Posible parada del equipo, aumentar nivel de aceite, tiempo de trabajo = menos de 1 hora		
				6	La válvula de control está funcionando mal.	Posible parada del equipo, revisar válvula de control, si es necesario cambiar, tiempo de trabajo = 2 horas		

Fuente: Elaboración propia

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA / ACTIVO Hidráulico		SISTEMA N° 10		FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Propulsión		SUB-SISTEMA N° 10			01/12/2020	2 de 10
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)		
		B	El sistema de propulsión se conecta repentinamente cuando el operador mueve la palanca de control de propulsión.	1	Faltan los orificios de las bombas de pistones.	Posible parada del equipo, inspeccionar y hacer limpieza de pistones, tiempo de trabajo: 2 horas		
				2	La válvula de retención que hay en la válvula de vaciado se atasca.	Posible parada del equipo, cambiar válvula de retención, tiempo de trabajo: 2 horas.		
				3	El carrete del servo válvula está atascado.	Posible parada del equipo, cambiar carrete de válvula, tiempo de trabajo = 1 hora		
		C	El sistema de propulsión sólo funciona en una dirección.	1	La bomba del servopistón está averiada.	Posible parada del equipo, revisar servopistón, tiempo de trabajo = 4 horas		
				2	Una de las válvulas multifunción está dañada.	Posible parada del equipo, cambiar válvula multifunción, tiempo de trabajo: 2 horas		
				3	El carrete de la válvula de retención se atasca en la parte interior de la válvula de vaciado.	Posible parada del equipo, cambiar válvula de retención, tiempo de trabajo: 2 horas.		
				4	La válvula de control está averiada.	Parada del equipo, cambiar la válvula de control, tiempo de trabajo: 2 horas		

Fuente: Elaboración propia

RCM II	SISTEMA / ACTIVO	SISTEMA N° 10	FACILITADOR	FECHA	HOJA
---------------	-------------------------	----------------------	--------------------	--------------	-------------

HOJA DE INFORMACIÓN		Hidráulico				JOSE ALVES			
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Propulsión		SUB-SISTEMA N° 10				01/12/2020	3 de 10
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)			
		D	El sistema de propulsión no se desconecta cuando la palanca de control de propulsión se coloca de nuevo en neutral.	1	La bomba del servopistón está averiada.	Parada del equipo, cambiar y/o reparar bomba del servo pistón, tiempo de trabajo: 4 horas			
				2	La sección del balancín del conjunto del plato oscilante de la bomba está averiada.	Parada del equipo, cambiar y/o reparar bomba del servo pistón, tiempo de trabajo: 4 horas			
				3	El ajuste de neutral de la servoválvula es incorrecto.	Posible parada, ajustar a parámetro indicado por fabricante de servoválvula, tiempo de trabajo: 2 horas			
				4	La barra de articulación que hay entre las válvulas de control direccional está ajustada incorrectamente.	Posible parada del equipo, ajustar la barra de articulación según parámetros indicados por el fabricante			
		E	El freno de estacionamiento no se desconecta cuando se saca el botón del freno de estacionamiento.	1	El interruptor del freno de estacionamiento está averiado.	Posible parada del equipo, cambiar interruptor del freno estacionamiento, tiempo de trabajo = 2 horas			
				2	Hay un sello de pistón del grupo del freno que funciona incorrectamente.	Con freno de estacionamiento pegado puede generar desgastes en componentes del grupo de frenos, revisar sistema, tiempo de trabajo: 2 horas			

Fuente: Elaboración propia

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA / ACTIVO Hidráulico		SISTEMA N° 10		FACILITADOR JOSE ALVES		FECHA		HOJA	
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Propulsión		SUB-SISTEMA N° 10				01/12/2020		4 de 10	
FUNCIÓN				FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)			
				3	La válvula del freno de estacionamiento está averiada.		Posible parada del equipo, cambiar válvula de freno, tiempo de trabajo: 2 horas				
				4	Hay una falla en el circuito eléctrico.		Posible parada del equipo, revisar el circuito de todo el sistema eléctrico, tiempo de trabajo de trabajo: 2 horas				
				5	El interruptor del arranque en neutral está averiado.		Posible parada del equipo, cambiar el interruptor, tiempo de trabajo: 1 hora				
				6	El relé de arranque en neutral está averiado.		Posible parada del equipo, cambiar relé, tiempo de trabajo: menos de 1 hora				
				7	Presión de carga baja.		Propulsión baja, medir las presiones con instrumentos de medición (manómetros), ajustar si es necesario, tiempo de trabajo: 2 horas				
				8	El relé del freno está averiado.		Posible baja del equipo, cambiar relé, tiempo de trabajo: menos de 1 hora				
				9	La válvula de alivio de la bomba de engranajes está dañada o no está ajustada correctamente.		Posible parada del equipo, revisar válvula de alivio, según sea necesario cambiar y/o ajustar, tiempo de trabajo de trabajo: 2 horas				
				10	Avería de la bomba de engranajes.		Posible parada del equipo, revisar la bomba de engranaje, cambiar y/o reparar según sea necesario, tiempo de trabajo: 4 horas				

Fuente: Elaboración propia

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA / ACTIVO Hidráulico		SISTEMA N° 10		FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Propulsión		SUB-SISTEMA N° 10			01/12/2020	5 de 10
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)		
		F	El freno de estacionamiento no se engancha cuando se presiona el botón del freno de estacionamiento	1	El interruptor del freno de estacionamiento está averiado.	Posible parada del equipo, cambiar interruptor del freno estacionamiento, tiempo de trabajo: 2 horas		
				2	El relé del freno está averiado.	Posible parada del equipo, cambiar relé, tiempo de trabajo: menos de 1 hora		
				3	Los discos del freno están desgastados.	Posible parada del equipo, cambiar discos de freno, tiempo de trabajo: 4 horas		
				4	Hay una manguera de freno pellizcada.	Posible parada del equipo, cambiar manguera averiada, tiempo de trabajo de trabajo: menos de 1 hora		
				5	La válvula del freno de estacionamiento está averiada.	Posible parada del equipo, cambiar la válvula de freno, tiempo de trabajo: 2 horas		
				6	Hay una falla en el circuito eléctrico.	Posible parada del equipo, revisar el circuito de todo el sistema eléctrico, tiempo de trabajo: 2 horas		
		G	Hay fugas de aceite externas en alguno de los motores de pistón.	1	La presión de la caja del motor es demasiado alta.	Posible parada del equipo, medir la presión con instrumentos (manómetros), comparar con las especificaciones, de ser necesario regular, tiempo de trabajo: 2 horas		

Fuente: Elaboración propia

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA / ACTIVO Hidráulico		SISTEMA N° 10	FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Propulsión		SUB-SISTEMA N° 10		01/12/2020	6 de 10
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)		
				2	Hay una restricción en la tubería de retorno de aceite al tanque de aceite hidráulico.	Por las restricciones en alguna tubería, puede generar excesiva fuga de aceite y generar falta de aceite en sistema, revisar las restricciones, tiempo de trabajo: 2 horas	
				3	Hay sellos dañados debido a los aumentos de presión, uso de aceite hidráulico no aprobado o un par de apriete incorrecto.	Por la edad operacional de los sellos pueden generar fugas de aceite, lo cual puede contaminar el medio ambiente, cambiar los sellos, tiempo de trabajo: menos de 1 hora	
		H	El aceite del sistema de propulsión se recalienta.	1	Se usa un tipo de aceite incorrecto en el circuito hidráulico.	Por uso inadecuado del fluido puede generar desgastes prematuros de componentes hidráulicos, cambiar aceite de acuerdo con especificaciones y condiciones de ambiente de trabajo, tiempo de trabajo: 1 hora	
				2	El enfriador de aceite está obstruido internamente.	Parada del equipo, sacar el enfriador para revisión y/o limpieza, tiempo de trabajo: 4 horas	
				3	El radiador y/o el enfriador de aceite están obstruidos externamente.	Parada del equipo, sacar el radiador y lavar con agua y detergente, tiempo de trabajo: 2 horas	

Fuente: Elaboración propia

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA / ACTIVO Hidráulico		SISTEMA N° 10 SUB-SISTEMA N° 10	FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Propulsión				01/12/2020	7 de 10
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)		
				4	Hay una avería en el sistema de impulsión del ventilador.	Ventilador averiado, inspeccionar, de ser necesario cambiar, tiempo de trabajo: 2 horas	
				5	Hay una presión baja en la tubería de carga causada por un exceso de fugas internas en el circuito.	Falta de aceite lubricante, verificar niveles y adicionar según visor indicador de nivel, tiempo de trabajo: menos de 1 hora	
				6	Las presiones de operación exceden las presiones de alivio debido a problemas mecánicos.	Parada del equipo	
				7	La válvula de desviación térmica tiene un funcionamiento incorrecto.	Parada del equipo, cambiar la válvula de desviación térmica, tiempo de trabajo de trabajo: 2 horas	

Fuente: Elaboración propia

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA / ACTIVO Hidráulico		SISTEMA N° 10		FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Propulsión		SUB-SISTEMA N° 10			01/12/2020	8 de 10
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)		
				8	Las presiones de alivio de la bomba de propulsión tienen un ajuste inferior a la presión especificada	Posible parada del equipo, medir la presión con instrumentos (manómetros), comparar con las especificaciones, de ser necesario regular, tiempo de trabajo de trabajo: 2 horas		
		I	Presión de carga baja (Neutral).	1	El nivel de aceite hidráulico está bajo.	Posible parada del equipo, aumentar nivel de aceite, tiempo de trabajo: menos de 1 hora		
				2	El filtro de carga del sistema de propulsión está en modalidad de desviación.	Parada del equipo, cambiar filtro del sistema, tiempo de trabajo: menos de 1 hora		
				3	La velocidad en vacío alta de la máquina es demasiado baja.	Posible parada del equipo, medir la presión con instrumentos (manómetros), comparar con las especificaciones, de ser necesario regular, tiempo de trabajo = 2 horas		
				4	Hay un flujo inadecuado de aceite de la bomba de engranaje.	Posible parada del equipo, medir la presión con instrumentos (manómetros), comparar con las especificaciones, de ser necesario regular, tiempo de trabajo = 2 horas		
				5	Hay una fuga excesiva de la caja del motor.	Parada del equipo, podría generar cavitación de la caja del motor, aumentar aceite lubricante, tiempo de trabajo = menos de 1 hora		

Fuente: Elaboración propia

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA / ACTIVO Hidráulico		SISTEMA N° 10	FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Propulsión		SUB-SISTEMA N° 10		01/12/2020	9 de 10
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)	
				6	Hay un exceso de fugas de la caja de la bomba.	Parada del equipo, podría generar cavitación de la caja de la bomba, aumentar aceite lubricante, tiempo de trabajo = menos de 1 hora	
				7	El sello del freno de estacionamiento tiene fugas.	Posible parada del equipo, cambiar sello con desgaste, tiempo de trabajo = 2 horas	
		J	Presión de carga baja (propulsando).	1	Hay una fuga excesiva de la caja del motor.	Parada del equipo, revisar la fuga, tiempo de trabajo = menos de 1 hora	
				2	Hay un exceso de fugas de la caja de la bomba.	Parada del equipo, revisar la fuga de caja de bomba, tiempo de trabajo = 2 horas	
		K	No se puede propulsar la máquina.	1	El fusible del freno está abierto.	Posible parada del equipo, cambiar fusible, tiempo de trabajo = menos de 1 hora	
				2	El interruptor de arranque en neutral está ajustado incorrectamente o el interruptor de arranque en neutral está averiado en posición abierta.	Posible parada del equipo, revisar el interruptor reparar y/o cambiar según sea el caso, tiempo de trabajo = 2 horas	
				3	El relé "P9" está averiado.	Posible parada del equipo, cambiar relé, tiempo de trabajo = menos de 1 hora	

Fuente: Elaboración propia

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA / ACTIVO Hidráulico		SISTEMA N° 10		FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
		SUB-SISTEMA / COMPONENTE Propulsión		SUB-SISTEMA N° 10			01/12/2020	10 de 10
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando se produce la falla)		
				4	Hay un circuito abierto en las válvulas de intertraba del freno y/o en el mazo de cables del interruptor de arranque en neutral.	Posible parada del equipo, revisar el circuito de cables de todo el sistema eléctrico, tiempo de trabajo = 2 horas		
				5	El interruptor del freno de estacionamiento está averiado.	Posible parada del equipo, cambio de interruptor de freno, tiempo de trabajo = menos de 1 hora		
				6	Hay un circuito abierto en el mazo de cables del sistema de intertraba.	Posible parada del equipo, revisar el circuito de todo el sistema eléctrico, tiempo de trabajo = 2 horas		
		L	El freno de estacionamiento no se conecta.	1	El relé "P6" está averiado.	Posible parada del equipo, cambiar relé, tiempo de trabajo = menos de 1 hora		
				2	El interruptor del freno de estacionamiento está averiado.	Posible parada del equipo, cambio de interruptor de freno, tiempo de trabajo = menos de 1 hora		
				3	Hay un cortocircuito en el mazo de cables del sistema de intertraba.	Posible parada del equipo, revisar el circuito de todo el sistema eléctrico, tiempo de trabajo = 2 horas		
		M	La máquina se mueve cuando el interruptor del freno de estacionamiento se pone en la posición DESCONECTADA y la palanca de control de propulsión se saca de la posición NEUTRAL.	1	“El interruptor de arranque en neutral está averiado en la posición cerrada” ^{xx} .	Posible parada del equipo, cambiar interruptor del freno estacionamiento, tiempo de trabajo = 2 horas		
				2	El relé "P7" está averiado.	Posible parada del equipo, cambiar relé, tiempo de trabajo = menos de 1 hora		
				3	Hay un circuito abierto en el mazo de cables del relé "P7".	Posible parada del equipo, revisar el circuito de todo el sistema eléctrico, tiempo de trabajo = 2 horas		

Fuente: Elaboración propia

1.20. HOJA DE DECISIÓN RCM N° 10 SISTEMA HIDRÁULICO, SUB-SISTEMA DE PROPULSIÓN

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA / ACTIVO Hidráulico							SISTEMA N° 10				FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA 01/12/2016	HOJA 1 de 6
			SUB-SISTEMA / COMPONENTE Propulsión							SUB-SISTEMA N° 10						
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción "a falta de"			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por	
F	FF	FM	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4				
1	A	1	N				N	S					Medir las presiones de carga	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado	
1	A	2	N				N	S					Revisar estado de las bombas de pistón	Cada 1000 hrs	Técnico Equipo Pesado	
1	A	3	N				S						Toma de muestras de aceite del sistema de propulsión	Cada 500 hrs	Lubricador	
1	A	4	N				N	S					Cambiar filtro de carga	Cada 500 hrs	Lubricador	
1	A	5	S	N	N	S	S						Revisar nivel de aceite antes de empezar turno de trabajo	Diario	Lubricador / Operador	
1	A	6	N				N	S					Medir y/o revisar el estado de la válvula de control	Cada 500 hrs	Técnico Electricista CC	
1	B	1	N				N	S					Revisar los orificios de bomba de pistones	Cada 1000 hrs	Técnico Equipo Pesado	
1	B	2	N				N	S					Revisar la válvula de retención del sistema propulsión, si es necesario cambiar	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado	
1	B	3	N				N	S					Cambiar carrete de servoválvula	Cada 2000 hrs	Técnico Equipo Pesado	
1	C	1	N				N	S					Revisar servo pistón	Cada 1000 hrs	Técnico Equipo Pesado	

Fuente: Elaboración propia

**RCM II
HOJA DE
DECISIÓN**

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA / ACTIVO							SISTEMA N° 10				FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
			SUB-SISTEMA / COMPONENTE							SUB-SISTEMA N° 10					01/12/2020	2 de 6
			Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción "a falta de"			Tarea Propuesta
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	S4				
1	C	2	N					N	S					Revisar las válvulas multifuncionales	Cada 1000 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	C	3	N					N	S					Revisar el carrete de la válvula de retención	Cada 1000 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	C	4	N					N	S					Revisar la válvula de control	Cada 1000 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	D	1	N					N	S					Revisar servo pistón	Cada 1000 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	D	2	N					N	S					Revisar balancín del conjunto del plato oscilante de la bomba	Cada 1000 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	D	3	N					N	S					Inspeccionar el ajuste correcto de neutro de servoválvula	Cada 2000 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	D	4	N					N	S					Inspeccionar el correcto ajuste de la barra articulación que hay entre las válvulas de control de dirección	Cada 2000 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	E	1	S	S				N	S					Inspeccionar interruptor de freno de estacionamiento	Cada 500 hrs	Técnico Electricista CC
1	E	2	N					N	N	S				Cambiar sello del pistón del grupo de frenos	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	E	3	N					N	S					Inspeccionar la válvula de freno del estacionamiento	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	E	4	N					N	S					Revisar circuito eléctrico	Cada 500 hrs	Técnico Electricista CC

Fuente: Elaboración propia

RCM II
HOJA DE
DECISIÓN

SISTEMA / ACTIVO Hidráulico	SISTEMA N° 10	FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA 01/12/2020	HOJA 3 de 6
SUB-SISTEMA / COMPONENTE Propulsión	SUB-SISTEMA N° 10			

Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción "a falta de"			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4			
1	E	5	N				N	S					Inspeccionar interruptor de arranque en neutral	Cada 500 hrs	Técnico Electricista CC
1	E	6	N				N	S					Cambiar relé de arranque en neutral	Cada 2000 hrs	Técnico Electricista CC
1	E	7	N				N	S					Medir las presiones de carga	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	E	8	N				N	S					Cambiar relé de freno	Cada 2000 hrs	Técnico Electricista CC
1	E	9	N				N	S					Inspeccionar el ajuste correcto de la válvula de alivio de la bomba de engranajes	Cada 1000 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	E	10	N				N	S					Revisar bomba de engranajes	Cada 2000 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	F	1	S	S			N	S					Inspeccionar interruptor de freno de estacionamiento	Cada 500 hrs	Técnico Electricista CC
1	F	2	N				N	S					Cambiar relé de freno	Cada 2000 hrs	Técnico Electricista CC
1	F	3	N				N	S					Cambiar discos de freno	Cada 2000 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	F	4	S	S			N	S					Inspeccionar mangueras de freno	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado

Fuente: Elaboración propia

**RCM II
HOJA DE
DECISIÓN**

SISTEMA / ACTIVO Hidráulico	SISTEMA N° 10	FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
SUB-SISTEMA / COMPONENTE Propulsión	SUB-SISTEMA N° 10		01/12/2020	4 de 6

Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción "a falta de"			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4			
1	F	5	N				N	S					Inspeccionar la válvula de freno del estacionamiento	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	F	6	N				N	S					Revisar circuito eléctrico	Cada 500 hrs	Técnico Electricista CC
1	G	1	N				N	S					Inspeccionar ajustes y presiones de la caja de motor, si es necesario cambiar espárragos	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	G	2	N				N	S					Medir presiones y comparar con parámetros del fabricante	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	G	3	N				N	S					Revisar sellos de motores de pistón, si es necesario cambiar todos los sellos	Cada 2000 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	H	1	N				S						Toma de muestras de aceite del sistema de propulsión	Cada 500 hrs	Lubricador
1	H	2	S	N	N	S	N	S					Inspeccionar el enfriador de aceite	Cada 1000 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	H	3	S	N	N	S	N	S					Lavar el enfriador externamente a presión	Cada 1000 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	H	4	N				N	S					Inspeccionar los elementos de impulsión del ventilador	Cada 1000 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	H	5	S	N	S		N	S					Medir presiones y comparar con parámetros del fabricante	Cada 1000 hrs	Técnico Equipo Pesado
1	H	6	S	N	N	S	N	S					Medir presiones y comparar con parámetros del fabricante	Cada 1000 hrs	Técnico Equipo Pesado

Fuente: Elaboración propia

**RCM II
HOJA DE
DECISIÓN**

SISTEMA / ACTIVO							SISTEMA N° 10						FACILITADOR	FECHA	HOJA
Hidráulico															
SUB-SISTEMA / COMPONENTE							SUB-SISTEMA N° 10						JOSE ALVES	01/12/2020	5 de 6
Propulsión															
Evaluación de las Consecuencias			H1	H2	H3	Acción "a falta de"			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por				
			S1	S2	S3										
E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4								
		N	S					Cambiar válvula desviación térmica	Cada 2000 hrs	Técnico Equipo Pesado					
		N	S					Medir presiones y comparar con parámetros del fabricante	Cada 1000 hrs	Técnico Equipo Pesado					
N	S	S						Revisar nivel de aceite antes de empezar turno de trabajo	Diario	Lubricador / Operador					
		N	S					Cambiar filtro de carga del sistema de propulsión	Cada 500 hrs	Lubricador					
N	S	N	S					Medir presiones y comparar con parámetros del fabricante	Cada 1000 hrs	Técnico Equipo Pesado					
N	S	N	S					Medir presiones y comparar con parámetros del fabricante	Cada 1000 hrs	Técnico Equipo Pesado					
S		N	S					Inspeccionar fugas de aceite de la caja del motor	Diario	Operador / Lubricador					
S		N	S					Inspeccionar fugas de aceite de la caja de la bomba	Diario	Operador / Lubricador					
		N	N	S				Cambiar sellos del freno de estacionamiento	Cada 500 hrs	Técnico Equipo Pesado					
S		N	S					Inspeccionar fugas de aceite de la caja del motor	Diario	Operador / Lubricador					
S		N	S					Inspeccionar fugas de aceite de la caja de bomba	Diario	Operador / Lubricador					
N	S	N	S					Inspeccionar los fusibles	Cada 250 hrs	Técnico Electricista CC					

Fuente: Elaboración propia

**RCM II
HOJA DE
DECISIÓN**

SISTEMA / ACTIVO Hidráulico							SISTEMA N° 10						FACILITADOR JOSE ALVES	FECHA	HOJA
SUB-SISTEMA / COMPONENTE Propulsión							SUB-SISTEMA N° 10							01/12/2020	6 de 6
Evaluación de las Consecuencias			H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción "a falta de"			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por				
			H4	H5	S4										
			N	S					Cambiar interruptor de arranque neutral	Cada 2000 hrs	Técnico Electricista CC				
			N	S					Cambiar relé "P9"	Cada 2000 hrs	Técnico Electricista CC				
			N	S					Revisar el circuito de cables en las válvulas de intertraba de freno	Cada 1000 hrs	Técnico Electricista CC				
			N	S					Cambiar interruptor del freno de estacionamiento	Cada 2000 hrs	Técnico Electricista CC				
			N	S					Revisar el circuito de cables del sistema de intertraba	Cada 1000 hrs	Técnico Electricista CC				
			N	S					Cambiar relé "P6"	Cada 2000 hrs	Técnico Electricista CC				
			N	S					Cambiar interruptor de freno de estacionamiento	Cada 2000 hrs	Técnico Electricista CC				
			N	S					Inspeccionar todo el circuito de mazo de cables del sistema de intertraba	Cada 1000 hrs	Técnico Electricista CC				
			N	S					Cambiar interruptor de arranque neutral	Cada 2000 hrs	Técnico Electricista CC				
			N	S					Cambiar relé "P7"	Cada 2000 hrs	Técnico Electricista CC				
			N	S					Inspeccionar todo el circuito de mazo de cables del relé "P7"	Cada 1000 hrs	Técnico Electricista CC				

Fuente: Elaboración propia



ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE RCM EN ÁREA DE MANTENIMIENTO SECCIÓN EQUIPO PESADO EN LA CONSTRUCTORA RECIFE SAC

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repository.upb.edu.co	1 %
	Fuente de Internet	
2	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru	1 %
	Trabajo del estudiante	
3	docshare.tips	1 %
	Fuente de Internet	
4	repositorio.uncp.edu.pe	1 %
	Fuente de Internet	
5	cybertesis.uni.edu.pe	1 %
	Fuente de Internet	
6	www.monografias.com	1 %
	Fuente de Internet	
7	es.scribd.com	1 %
	Fuente de Internet	
8	Submitted to Instituto Especializado de Estudios Superiores Loyola	1 %

9	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1 %
10	repository.eafit.edu.co Fuente de Internet	1 %
11	repositorio.utp.edu.co Fuente de Internet	1 %
12	repositorio.unprg.edu.pe:8080 Fuente de Internet	1 %
13	Submitted to ECCI Trabajo del estudiante	1 %
14	sisbib.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado