Universidad Católica de Santa María

Escuela de Postgrado

Maestría en Ingeniería de Mantenimiento

Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para un puente grúa de 10 toneladas de un taller de equipo liviano, Arequipa 2021

Tesis presentada por:

Chara Surco, Hector

ORCID: 0009-0005-4852-0595

para optar el Grado Académico de Maestro en Ingeniería de Mantenimiento

Asesor (a):

Dr. Ticse Villanueva, Edwing Jesús

ORCID: 0000-0003-1684-5617

Arequipa - Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ESCUELA DE POSTGRADO

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR DE TESIS

Arequipa, 13 de Enero del 2022

Dictamen: 002620-C-EPG-2022

Visto el borrador del expediente 002620, presentado por:

2015004491 - CHARA SURCO HECTOR

Titulado:

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) PARA UN PUENTE GRÚA DE 10 TONELADAS DE UN TALLER DE EQUIPO LIVIANO, AREQUIPA 2021

Nuestro dictamen es:

APROBADO

1842 - PACHECO OVIEDO ABRAHAM ARTURO
DICTAMINADOR



2346 - MOLINA RODRIGUEZ FREDY NICOLAS
DICTAMINADOR



5704 - ESCOBAR JUAREZ RUTH MARY
DICTAMINADOR



DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) PARA UN PUENTE GRÚA DE 10 TONELADAS DE UN TALLER DE EQUIPO LIVIANO, AREQUIPA 2021

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%	18%	2%	13%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	pdfcoffee.com Fuente de Internet	3%
2	repositorio.uni.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	repositorio.usil.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Tecnológica Indoamerica Trabajo del estudiante	1%
5	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	1%
6	repositorio.unprg.edu.pe:8080 Fuente de Internet	1%
7	www.trhon.com Fuente de Internet	1%
8	Submitted to Instituto Especializado de Estudios Superiores Loyola Trabajo del estudiante	1%
9	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	1%
10	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	1%
11	repositorio.unican.es Fuente de Internet	1%
12	noesis.uis.edu.co Fuente de Internet	1%
13	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	1%
14	Submitted to Universidad de Santiago de Chile Trabajo del estudiante	1%
	cict.umcc.cu	

DEDICATORIA

A mi hijito, Lian Gael Chara. Tú eres mi mayor inspiración y motivo de superación. Tu amor y esa sonrisa tuya, como queriendo salir tímidamente, me llenan de alegría el alma. Siempre serás mi orgullo.

A mi compañera de vida y el amor de mi vida, Yanet Aparicio. Gracias por estar a mi lado, por tú paciencia, tu apoyo incondicional y creer siempre en mí. Este logro también es tuyo. Gracias por construir este camino juntos.

AGREDECIMIENTOS

A Dios, por darme la vida y salud, brindándome oportunidades y personas que han marcado mi camino.

A mi padre, Teodro Chara, siempre orgulloso de nuestro apellido y siempre optimista. A mi madre, Agripina Surco, por su amor incondicional. Y a mis hermanos Helmust, Elizabeth y Yaquelin: sé que siempre puedo contar con ustedes. Gracias por estar ahí.

A todos los docentes, que han marcado mi vida con sus enseñanzas y apoyo.

RESUMEN

Los equipos de izaje en su gran mayoría son críticos debido a que una falla podría ocasionar costosas pérdidas en las instalaciones, e inclusive en ciertos caso podrían conllevar daños a la seguridad del personal, por ello que el desarrollo de este trabajo se plantea el diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para garantizar la correcta operatividad del equipo puente grúa del área de taller flota liviana considerando el contexto operativo actual, la función, sistemas críticos que lo conforman modos de falla y sus consecuencias.

En el desarrollo de este trabajo se ha planteado 5 subsistemas del equipo las cuales son: Subsistema de traslación puente, subsistema de traslación carro, subsistema de elevación, subsistema de control de movimiento y subsistema de alimentación eléctrica.

Aplicando la metodología del RCM se ha encontrado 128 modos de fallas plasmados en las hojas de información RCM, definiendo para cada una de ellas tareas de mantenimiento de las cuales en total son 100 tareas proactivas y 28 acciones de omisión.

En las tareas proactivas se tienen que 88 activadas de mantenimiento a condición, 5 en las tareas de reacondicionamiento cíclicas, 7 en las tareas de sustitución cíclica.

En las actividades de omisión se tienen que 15 actividades de búsqueda de falla, 01 actividad de rediseño (actividad relacionada con el subsistema de elevación) y 12 actividades de mantenimiento a la rotura.

Se evidencia un incremento de la disponibilidad de 9.68% en comparación entre dos periodos (Julio 2020 – Diciembre 2020 y Enero 2021 – Junio 2021).

Con la aplicación de la metodología RCM, la confiabilidad del puente grúa aumentó: el MTBF creció 66.7 % y la tasa de falla se redujo 40 %. En consecuencia, la confiabilidad para 24 h de operación aumentó 4.5 % y para 168 h, 36.5 %

Palabras claves: Puente grúa, Mantenimiento centrado en la confiabilidad, modos de falla, efectos de falla, consecuencias de falla.

ABSTRACT

The vast majority of lifting equipment is critical because a failure could cause costly losses in the facilities, and even in certain cases could lead to damage to the safety of the personnel, for this reason the development of this work considers the design of a maintenance plan focused on reliability (RCM) to guarantee the correct operation of the overhead crane equipment in the light fleet workshop area, considering the current operating context, function, critical systems that comprise failure modes and their consequences.

In the development of this work, 5 subsystems of the equipment have been proposed, which are: Bridge translation subsystem, carriage translation subsystem, lifting subsystem, movement control subsystem and electrical power supply subsystem.

Applying the RCM methodology, 128 failure modes have been found reflected in the RCM information sheets, defining for each one of them maintenance tasks, of which a total of 100 proactive tasks and 28 omission actions.

In proactive tasks, 88 have to be activated from maintenance to condition, 5 in cyclical reconditioning tasks, 7 in cyclical replacement tasks.

In the omission activities there are 15 failure search activities, 01 redesign activity (activity related to the lifting subsystem) and 12 maintenance activities at failure.

There is an increase in availability of 9.68% compared to two periods (July 2020 - December 2020 and January 2021 - June 2021).

With the application of the RCM methodology, the reliability of the overhead crane increased: the MTBF grew by 66.7%, and the failure rate was reduced by 40%. Consequently, reliability for 24 hours of operation increased by 4.5%, and for 168 hours, by 36.5%.

Keywords: Overhead Crane, Reliability Centered Maintenance, Failure Modes, Failure Effects, Failure Consequences.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGREDECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN **1**

CAPITULO I **2**

1. GENERALIDADES **2**

1.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA 2

1.2 IDENTIFICACIÓN (PROBLEMA, OPORTUNIDAD) 2

1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 3

1.4 OBJETIVOS 3

1.4.1 Objetivo General 3

1.4.2 Objetivos Específicos 3

1.5 HIPÓTESIS 4

1.5.1 Hipótesis General 4

1.5.2 Hipótesis Especificas 4

1.6 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN 4

1.6.1 Tipo de investigación 4

1.6.2 Diseño de la investigación 4

1.7 JUSTIFICACIÓN 5

1.7.1 Aspecto General 5

1.7.2 Aspecto Tecnológico 5

1.7.3 Aspecto Social 6
1.7.4 Aspecto Económico 6
1.8 VARIABLE 6
1.8.1 Variable Independiente 6
1.8.2 Variable Dependiente 6
1.9 METODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN 6
1.9.1 Diseño de la investigación 6
1.10 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN 6
1.10.1 Técnicas 6
1.10.2 Instrumentos 7
CAPITULO II 8
2. MARCO TEÓRICO 8
2.1 CONCEPTOS Y OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO 8
2.2 HISTORIA Y EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO 9
2.2.1 Primera Generación 10
2.2.2 Segunda Generación 11
2.2.3 Tercera Generación 12
2.2.4 Cuarta Generación 13
2.3 TIPOS DE MANTENIMIENTO 13
2.4 REVISIÓN DE CONCEPTOS DE CONFIABILIDAD 14
2.4.1 El MTBF – Mean Time Between Failures 14

2.4.2 El MTTF – Mean Time To Failures 14
2.4.3 El MTTR – Mean time to repair 15
2.4.4 Disponibilidad 15
2.4.5 Confiabilidad 16
2.4.6 Mantenibilidad 17
2.5 GESTIÓN Y TAXONOMÍA ACTIVOS 17
2.6 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) 19
2.7 CONTEXTO OPERATIVO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA 19
2.8 TÉCNICAS Y ANÁLISIS CRITICIDAD PARA EL PROCESO DE JERARQUIZACIÓN DEL SISTEMA 21
2.8.1 Técnicas de análisis de criticidad aplicadas en el proceso de jerarquización de los sistemas 21
2.8.2 Técnicas de análisis de criticidad aplicadas en el proceso de jerarquización de los sistemas 24
2.9 DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE MODOS DE FALLAS Y EFECTOS DE FALLOS (FMEA) 27
2.10 FORMACIÓN DEL EQUIPO DE TRABAJO NATURAL DEL TRABAJO DEL RCM 28
2.11 LAS SIETE PREGUNTAS BÁSICAS DEL RCM 29
2.11.1 Funciones del equipo (pregunta 1) 30
2.11.2 Falla funcional (pregunta 2) 32
2.11.3 Modo de falla (Pregunta 3) 33
2.11.4 Efectos de falla (pregunta 4) 37

2.11.5 Consecuencias de falla (Pregunta 5) 38
2.11.6 Estrategias de mantenimiento (Pregunta 6 y 7) 40
2.12 PLANTILLA DE HOJA DE INFORMACIÓN RCM 44
2.13 DIAGRAMA DE DECISIÓN Y PLANILLA DE HOJA DE DECISIÓN DE RCM ……44
2.14 DESARROLLO DE LA METODOLOGIA RCM 46
2.15 PUENTES GRÚA 48
2.15.1 Tipos de puentes grúas 49
2.15.2 Parámetros técnicos de un puente grúa 53
2.15.3 Componentes principales de un puente grúa 54
2.15.4 Clasificación de servicio 56
CAPITULO III 59
3. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS ACTUAL 59
3.1 DIAGNÓSTICO SITUACIONAL DE TALLER FLOTA LIVIANA 59
3.2 UBICACIÓN TALLER FLOTA LIVIANA 59
3.3 ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA 61
3.4 CONTEXTO OPERACIONAL DEL EQUIPO 61
3.5 TAXONOMÍA DEL ACTIVO 63
3.6 DATOS DEL EQUIPO PUENTE GRÚA 63
CAPITULO IV 64
4. DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) 64

4.1 FORMACIÓN DEL EQUIPO NATURAL DE TRABAJO 64

4.2 DEFINICIÓN DEL PROPÓSITO DEL ACTIVO..... 64

4.2.1 Propósito del activo 64

4.2.2 Variables importantes del proceso..... 65

4.3 DIAGRAMA DE BLOQUES Y SUBSISTEMAS PRINCIPALES 65

4.3.1 Subsistema de traslación puente 66

4.3.2 Subsistema de traslación carro 68

4.3.3 Subsistema de elevación 69

4.3.4 Subsistema de control de movimiento..... 70

4.3.5 Subsistema de alimentación eléctrica 71

4.4 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLOS (FMEA) 72

4.5 DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO..... 78

CAPITULO V 84

5. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS..... 84

5.1 ANÁLISIS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO 84

5.2 ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD DE EQUIPO 88

CONCLUSIONES 93

RECOMENDACIONES 94

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 95

ANEXOS 97

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 *Principales datos de puente grúa de 10 toneladas de taller equipo liviano* 63

Tabla 2 *Resumen de resultado de análisis de modos y consecuencias de fallas para el puente grúa* 85

Tabla 3 *Resumen de resultado de análisis de tareas de mantenimiento de puente grúa* ..87

Tabla 4 *Fallas y tiempo de parada del puente grúa, julio–diciembre de 2020*.....89

Tabla 5 *Fallas y tiempo de parada del puente grúa, enero–junio de 2021*.....89

Tabla 6 *Comparación de la frecuencia de fallas y del tiempo de reparación del puente grúa entre los periodos evaluados* 90

Tabla 7 *Análisis tiempo medio entre falla (MTBF) del equipo puente grúa*.....91

Tabla 8 *Análisis tiempo medio para reparar (MTTR) del equipo puente grúa*.....91

Tabla 9 *Análisis disponibilidad del equipo puente grúa* 91

Tabla 10 *Confiabilidad del puente grúa en los dos periodos*.....92

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 *Evolución del mantenimiento durante el siglo XX*.....10
Figura 2 *Patrón de falla en la primera generación*.....11
Figura 3 *Patrón de falla en la segunda generación*.....12
Figura 4 *Tipos de Mantenimiento según la norma AFNOR NFX 60-010*.....13
Figura 5 *Tipos de Mantenimiento según la norma UNE-EN-13306*.....14
Figura 6 *Modelos comunes de confiabilidad*.....16
Figura 7 *Niveles de clasificación de activos*.....18
Figura 8 *Ejemplo de taxonomía*.....18
Figura 9 *Algunos procedimientos y/o normas que gobiernan el RCM*.....19
Figura 10 *Representación genérica de la matriz de criticidad*.....24
Figura 11 *Diagrama de entrada proceso salida*.....25
Figura 12 *Esquema de análisis de modos y efectos de falla (AMFE)*.....27
Figura 13 *Proceso de Gestión del Mantenimiento aplicando el análisis de modos de falla y sus efectos y criticidad, AMFEC*.....28
Figura 14 *Integrantes del grupo natural del equipo de trabajo.*.....29
Figura 15 *Siete preguntas del proceso de Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)*.....30
Figura 16 *Descripción de una función de una bomba*.....31
Figura 17 *Falla funcional*.....33
Figura 18 *Ejemplo de modo de falla de una bomba*.....35
Figura 19 *Ejemplo de modos de falla en diferentes niveles de detalle*.....36
Figura 20 *Categoría de consecuencias de modos de fallas*.....39
Figura 21 *Estrategias de mantenimiento según el proceso de RCM*.....40
Figura 22 *Tareas proactivas según el proceso de RCM*.....41
Figura 23 *La curva P-F*.....42
Figura 24 *Intervalo P-F*.....42
Figura 25 *Acciones de omisión según el proceso de RCM*.....43
Figura 26 *Planilla de Hoja de Información RCM*.....44
Figura 27 *Diagrama de Decisión del Proceso de RCM*.....45
Figura 28 *Planilla de Hoja de Decisión RCM*.....46
Figura 29 *Diagrama de la metodología de RCM II.*.....46
Figura 30 *Pasos adicionales para metodología de RCM*.....47
Figura 31 *Fases de Implementación RCM*.....47

Figura 32 *Representación de movimiento del puente grúa, carro y balanceo de carga*....48
Figura 33 *Conmutación de polos para traslación de puente grúa y carro* 49
Figura 34 *Control por convertidor de frecuencia para traslación puente grúa y carro*....49
Figura 35 *Grúa puente* 50
Figura 36 *Grúa puente monorrail* 50
Figura 37 *Grúa puente birrail* 51
Figura 38 *Grúa pórtico*.....52
Figura 39 *Grúa semipórtico* 52
Figura 40 *Grúa ménsula*.....53
Figura 41 *Grúa de brazo giratorio*.....53
Figura 42 *Parámetros técnicos de puente grúa*.....54
Figura 43 *Componentes de un puente grúa*.....55
Figura 44 *Mecanismo de elevación y traslación carro* 56
Figura 45 *Clases de servicio de grúas*.....58
Figura 46 *Ubicación de taller de flota liviana* 60
Figura 47 *Ubicación de taller de flota liviana en UM Antapaccay* 60
Figura 48 *Organigrama taller de equipo liviano* 61
Figura 49 *Puente Grúa de 10 toneladas de taller de equipo liviano*.....62
Figura 50 *Taxonomía general de equipo puente grúa de 10 toneladas del taller equipo liviano* 63
Figura 51 *Equipo de trabajo RCM para el puente grúa 10 toneladas*.....64
Figura 52 *Diagrama de bloques de entrada-salida y subsistemas principales del equipo puente grúa del área de taller de equipo liviano de 10 toneladas* 66
Figura 53 *Subsistema de traslación puente para puente grúa de 10 toneladas*.....67
Figura 54 *Subsistema de traslación carro para puente grúa de 10 toneladas*.....68
Figura 55 *Subsistema de elevación para puente grúa de 10 toneladas* 69
Figura 56 *Principales partes de subsistema de elevación de puente grúa 10 toneladas* ...70
Figura 57 *Subsistema de control de movimiento para puente grúa de 10 toneladas*.....71
Figura 58 *Subsistema de alimentación eléctrica puente grúa de 10 toneladas* 72
Figura 59 *Subsistemas a analizar con el FMEA* 73
Figura 60 *Hoja de información RCM (FMEA) para subsistema traslación puente* 74
Figura 61 *Hoja de información RCM (FMEA) para subsistema traslación carro* 75
Figura 62 *Hoja de información RCM (FMEA) para subsistema elevación* 76
Figura 63 *Hoja de información RCM (FMEA) subsistema de control de movimiento* 77

Figura 64 *Hoja de información RCM (FMEA) subsistema de alimentación eléctrica* 78
Figura 65 *Hoja de decisión RCM para subsistema traslación puente* 79
Figura 66 *Hoja de decisión RCM para subsistema traslación carro* 80
Figura 67 *Hoja de decisión RCM para subsistema elevación* 81
Figura 68 *Hoja de decisión RCM subsistema de control de movimiento* 82
Figura 69 *Hoja de decisión RCM subsistema de alimentación eléctrica* 83
Figura 70 *Resultados de modos de fallas de puente grúa de 10 toneladas de taller equipo* 85
Figura 71 *Resultados de modos de fallas de puente grúa de 10 toneladas de taller equipo liviano* 86
Figura 72 *Resultados de estrategias de mantenimiento de tareas proactivas y acciones a falta depara el puente grúa de 10 toneladas de taller equipo liviano* 87
Figura 73 *Resultados de análisis de tareas de mantenimiento para puente grúa* 88

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto tiene como finalidad el diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para un puente grúa de 10 toneladas del área de taller de equipo liviano, siendo este un alcance para los interesados en mantención de equipos de izaje.

El desarrollo de la tesis se desarrolla teniendo como finalidad elaborar un plan mantenimiento óptimo basado en la metodología del RCM para el equipo de izaje en su contexto operacional actual, reducir las paradas imprevistas, evitar fallas ocultas, aumentar la confiabilidad, incrementar a disponibilidad, seleccionar tareas de mantenimiento adecuados.

Teniendo en cuenta estas consideraciones el presente proyecto de tesis se divide de la siguiente manera:

CAPITULO I GENERALIDADES: Se inicia el capítulo con la identificación del problema, descripción del problema, justificación, alcances, limitaciones y antecedentes cuyas interrogantes deberán ser respondidas en el desarrollo de las tesis. Para luego precisar los objetivos del estudio que serán contrastada con el diseño del plan de mantenimiento.

CAPITULO II MARCO TEÓRICO: Los temas desarrollados son: Definición del mantenimiento, evolución del mantenimiento, tipos de mantenimiento, gestión de activos, determinación de criticidad de equipos, mantenimiento centrado en la confiabilidad.

CAPÍTULO III PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS ACTUAL: En este capítulo se desarrolla la descripción del contexto operacional del equipo puente grúa, descripción del taller de equipo liviano, identificación del equipo a analizar, taxonomía del equipo, análisis de criticidad.

CAPÍTULO IV DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM): En este capítulo se plantea el grupo natural de trabajo, contexto operacional del activo, planteamiento de sistemas subsistemas, análisis de modos de fallas, diseño del plan de mantenimiento basado en el RCM para el puente grúa de 10 toneladas del taller de equipo liviano.

CAPÍTULO V PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS: En este capítulo se presentan los resultados del plan de mantenimiento y el análisis de disponibilidad del equipo puente grúa.

El proyecto se concluye con las conclusiones, recomendaciones, referencias y anexos.

CAPITULO I

1. GENERALIDADES

1.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA

Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para un puente grúa de 10 toneladas de un taller de equipo liviano, Arequipa 2021.

1.2 IDENTIFICACIÓN (PROBLEMA, OPORTUNIDAD)

En el taller de equipo liviano realiza diferentes actividades de mantenimientos correctivos y/o preventivos a los equipos de flota liviana de mina (camión canastilla, camión articulado, cisternas, montacargas, entre otros), entre las diferentes herramientas y máquinas para la realización de las actividades se encuentra el equipo de izaje puente grúa, el cual se usa para desplazar componentes y partes mecánicos de hasta de 10 toneladas dentro del taller de flota de flota liviana.

El equipo de levante puente grúa, es el único equipo dentro del taller de flota liviana para realizar operaciones de izaje de cargas, una falla en ella conlleva a que se tenga retrasos en las actividades de mantenimiento reduciendo la capacidad de mantención de equipos del taller del área de flota liviana, por lo cual se tengan que optar por alquiler de equipos de izajes móviles (muchas veces estas nos disponibles en mina) esto con el fin de compensar la falla del puente grua, incrementándose el de costo del área de mantenimiento.

El mantenimiento preventivo actual que se realiza al puente grua no conlleva que se tenga un enfoque del contexto operacional del equipo, este mantenimiento por lo general es deficiente e inadecuada para prevenir fallas y eventos correctivos. Además en las actividades de mantenimientos preventivo no se prevén fallas ocultas (no evidentes) que podrían afectar a la seguridad del personal del área, es por lo cual la necesidad del diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para el puente grúa de 10 toneladas del área de taller de flota liviana opere con altos estándares de seguridad y operatividad.

1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El equipo de izaje puente grúa de capacidad de 10 toneladas de taller de equipo liviano, es considerado para nuestro caso un equipo crítico el cual es capaz de izar y desplazar cargas por lo general del alto tonelaje, permitiendo que se puedan desplazar piezas y componentes mecánicos en forma horizontal y vertical para el cumplimiento de las actividades en mantenimiento de los equipos de flota liviana, una falla en el puente grúa generaría retrasos en los trabajos así como en incremento en los costos para el área de mantenimiento del taller de equipo liviano, además una falla oculta en el sistema de izaje podría conllevar a que la carga quede suspendida y/o esta caiga, pudiendo afectar severamente a la seguridad de las personas implicadas en dicha área.

Un adecuando mantenimiento basado en el concepto de RCM del puente grúa minimizaría paradas imprevistas, además que se eliminaría altas procacidades en fallas que afecten a la seguridad de los operadores implicados en uso del equipo de izaje.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

- Diseñar de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para un puente de 10 toneladas del área de taller de equipo liviano, Arequipa 2021

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar el contexto operacional equipo de izaje puente grúa de 10 toneladas en el área de taller de equipo liviano.
- Realizar el análisis funcional de cada subsistema del equipo de izaje puente grúa de 10 toneladas del área de flota liviana.
- Realizar el análisis de modos y efectos de falla modificado FMEA, de los subsistemas del equipo de izaje del taller de equipo liviano.
- Establecer las estrategias de mantenimiento para el equipo de izaje de 10 toneladas del taller de equipo liviano bajo la metodología del RCM.
- Establecer métricas indicadoras de gestión de mantenimiento de disponibilidad y confiabilidad del equipo.

1.5 HIPÓTESIS

1.5.1 Hipótesis General

Un plan de mantenimiento usando la filosofía del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, aumentara la disponibilidad del equipo, reducirá paradas imprevistas, evidenciara fallas potenciales ocultas no previstas en el equipo que podrían afectar la seguridad de las personas y operadores en el área de trabajo, por lo cual se podrían eliminar y/o reducir las mismas.

1.5.2 Hipótesis Especificas

- El realizar el diagnostico la situación actual del mantenimiento del equipo de izaje puente grúa de 10 toneladas del taller de equipo liviano, permitirá establecer la línea base del mantenimiento basado en la filosófica del RCM.
- El realizar el análisis funcional de cada sistema del equipo de izaje del puente grúa de 10 toneladas del taller de equipo liviano, permitirá establecer las funciones de cada subsistema.
- El realizar el análisis de modos y efectos de falla modificado FMEA, de los sistemas del equipo de izaje puente grúa de 10 toneladas del taller de equipo liviano, permitirá establecer los modos de falla importantes y las estrategias de mantenimiento adecuados y eficaces.
- Disminuir paradas imprevistas e incrementar la disponibilidad y confiabilidad en el equipo puente grúa de 10 toneladas del área de taller de flota liviana.

1.6 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

1.6.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada. Se utilizó conocimiento pre existente en cuanto a eventos de falla y data histórica registrada en los sistemas de gestión de mantenimiento y operaciones.

1.6.2 Diseño de la investigación

No experimental transversal, con registro de datos que ocurrieron en el pasado y uso de información ya existente del equipo.

1.7 JUSTIFICACIÓN

Uno de los aspectos más importante de la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) es cual por lo general se aplica a equipos de mayor criticidad, debido a que conlleva que tenga la participación de todo el personal y áreas involucradas en el equipo a analizar.

En la actualidad el puente grúa de 10 Toneladas del taller de equipo liviano cuenta con un plan de mantenimiento no adecuado a su contexto operacional, los cuales en su mayoría lo conforman las actividades correctivas.

El no contar con adecuado plan de mantenimiento podría conllevar a tener fallas que afecten a la operatividad del equipo y en especial fallas que afecten la seguridad del personal involucrado en el área debido a que se manejan se realizan izaje de cargas de hasta 10 toneladas.

El diseño de un plan de mantenimiento basado en la metodología de Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM), permitirá minimizar fallas, mitigar riesgos en seguridad, además de aumentar la disponibilidad y confiabilidad de la grúa en operación, combinando diferentes actividades de mantenimiento.

1.7.1 Aspecto General

- Se espera con el diseño de del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, incrementar la disponibilidad y confiabilidad del equipo, reducir paradas imprevistas, mitigar fallas que afecten la seguridad.

1.7.2 Aspecto Tecnológico

- El equipo puente grúa están diseñados según su clasificación de servicio para una larga vida útil en operación de las diferentes plantas, por lo general existe planes de mantenimiento basado en el fabricante, pero la diversidad de contexto operativo de operación de la grúa en diferentes instalaciones conlleva a que en su mayoría dichas actividades no sean adecuadas, siendo en ciertas ocasiones costosas e inadecuada. La aplicación de la metodología de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) posibilita que se apliquen correctamente todas las estrategias de mantenimiento, teniendo en cuenta consecuencias operativas, económicas, medio ambiente y de seguridad.

1.7.3 Aspecto Social

- Una falla en el con consecuencias críticas en seguridad conlleva a que se tenga un aspecto negativo de la instalación y/o proceso. Abordar la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para el puente grúa de 10 toneladas del taller de equipo liviano se podrá identificar, categorizar y evitar fallas que podrían afectar a personas de dicha instalación de manera eficaz, eficiente y detallada, además concientiza e involucra a todo el personal de dicha área.

1.7.4 Aspecto Económico

- Un mantenimiento excesivo prestablecido por el fabricante por lo general no garantiza la confiabilidad de los equipos, más aún conlleva a que se tengan gastos muy elevados y ciertas ocasiones contribuyen a que se tengan fallas que antes no se tenían. El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) tiene amplias posibilidades en la disminución de costes de mantenimiento, debido a la optimización del plan de mantenimiento según las consecuencias y estrategias de mantenimiento.

1.8 VARIABLE

1.8.1 Variable Independiente

Actividades del Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

1.8.2 Variable Dependiente

Aumento de la disponibilidad del equipo, reducción de paradas imprevistas, aumento de la confiabilidad del equipo del área de taller de equipo liviano de 10 TONELADAS.

1.9 METODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

1.9.1 Diseño de la investigación

No experimental transversal, con registro de datos que ocurrieron en el pasado y uso de información ya existente.

1.10 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

1.10.1 Técnicas

Se utilizó la inspección de registros, análisis documental y entrevistas grupales, como técnica para le recopilación de datos las cuales ayudaron a asegurar la investigación.

1.10.2 Instrumentos

Eventos de registro de fallas y órdenes de trabajo, reportes de indicadores clave de desempeño (KPI's) de equipo puente grúa.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 CONCEPTOS Y OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO

Existe diversas normas de países y libros que definen el mantenimiento entre ellas se puede mencionar:

- "Combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión realizadas durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o a devolverlo a un estado en el que pueda desempeñar la función requerida" (UNE-EN 13306, 2011).
- "El conjunto de acciones que permiten conservar o restablecer un bien a un estado especificado o a una situación tal que pueda asegurar un servicio determinado" (AFNOR, 1994).
- "Asegurar que los bienes físicos continúen cumpliendo las funciones que sus usuarios esperan" (Moubray, 2004).

Según Augusto Tavares et al. (2013) los objetivos del mantenimiento son:

- Reducción de costos.
- Evitar paradas con pérdidas de producción.
- Disminuir tiempos de inmovilización.
- Reducir tiempos de intervención.
- Reducir fallos y defectos.
- Mejorar la calidad de producción.
- Aumentar la seguridad.
- Aumentar el rendimiento de la producción.
- Aumentar el tiempo de vida útil de las maquinas.

2.2 HISTORIA Y EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO

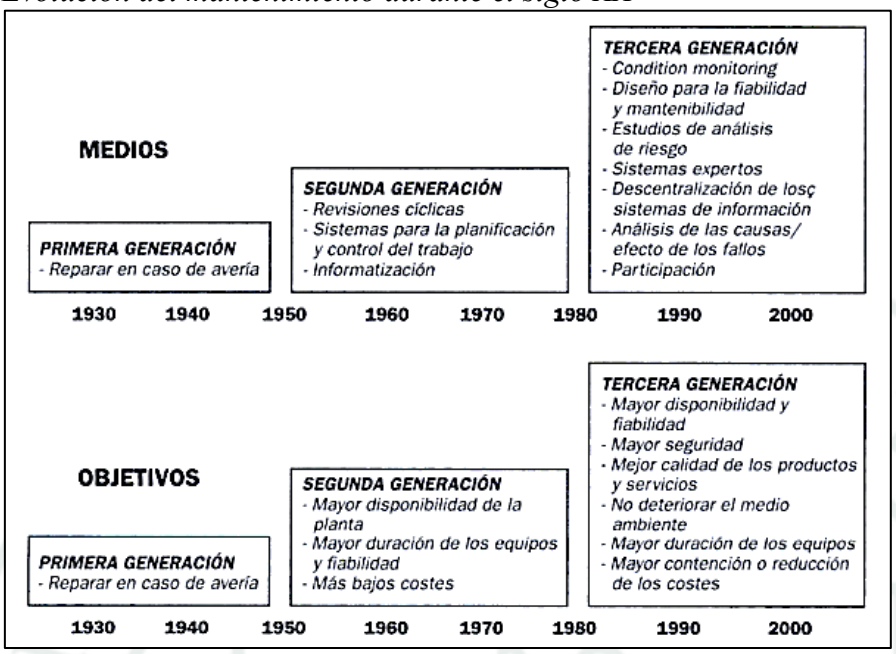
La principal función de mantenimiento es sostener la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las máquinas a través del tiempo, bajo esta premisa se puede entender la evolución del área de mantenimiento al atravesar las distintas épocas acordes a las necesidades de sus clientes; que son todas aquellas dependencias y/o empresas de procesos o servicios, que generan bienes reales o intangibles mediante la utilización de estos activos, para producirlos. (Mora Gutiérrez, Mantenimiento-planeación, ejecución y control, 2009)

Hasta la década de 1980 la industria de la mayoría de los países occidentales tenía un objetivo bien definido: obtener el máximo de rentabilidad para una inversión dada. Sin embargo, con la penetración de la industria oriental en el mercado occidental, el consumidor pasó a ser considerado un elemento importante en las adquisiciones, o sea, exigir la calidad de los productos y los servicios suministrados, y esta demanda hizo que las empresas considerasen este factor, "calidad", como una necesidad para mantenerse competitivas, especialmente en el mercado internacional. (Augusto Tavares, Administración Moderna de Mantenimiento, 1999)

Históricamente a lo largo del desarrollo industrial, la función mantenimiento ha evolucionado a través del tiempo pasando por diferentes etapas. Al respecto, muchos autores coinciden en establecer que durante el siglo XX la evolución del mantenimiento ha tenido tres (03) grandes etapas (*primera, segunda y tercera generación*), aunque no tienen una frontera clara entre ellas desde el punto de vista temporal, sí pueden dar una clara idea de cuál ha sido la evolución de las técnicas y organizaciones que se han ido implementando durante dicho siglo. El hecho de que no exista una frontera clara entre una etapa y otra, se debe a varios factores. El fundamental, es que cada sector de la industria ha evolucionado de forma diferente, por lo tanto, esta clasificación es más aplicable a sectores llamémosles convencionales que al susodicho de la aviación, el cual ha ido siempre por delante del sector industrial, naval y ferroviario. (Gonzáles Fernández, 2005)

Figura 1

Evolución del mantenimiento durante el siglo XX



Nota. Tomado de (Gonzáles Fernández, 2005)

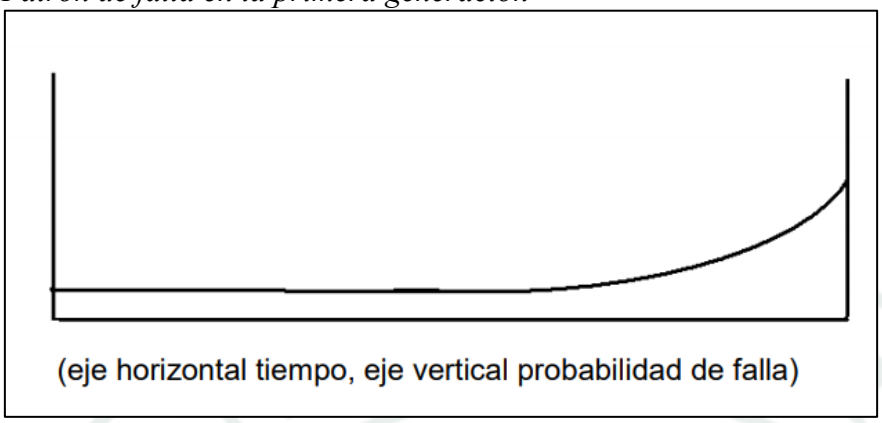
2.2.1 Primera Generación

"La más larga, desde la revolución industrial hasta después de la 2ª Guerra Mundial, aunque todavía impera en muchas industrias. El Mantenimiento se ocupa sólo de arreglar las averías" (Navarro, 2004).

> La primera generación cubre el periodo hasta la segunda guerra mundial. En esa época la industria no era altamente mecanizada, de modo que los tiempos de inactividad no tenían demasiada importancia. Esto significa que la prevención de fallas en equipos no era una prioridad en la mente de la mayoría de los gerentes. Al mismo tiempo la mayoría de los equipos eran simples y muy bien diseñados esto los hacia confiables y fáciles de reparar. Como consecuencia, no había necesidad de mantenimiento sistemático de ningún tipo, más allá que la limpieza, control y lubricación de rutina. La necesidad de habilidades específicas era inclusive menor de lo que es ahora. (Moubray, 2004)

Figura 2

Patrón de falla en la primera generación



Nota. Tomado de (Barreda Beltrán, 2015)

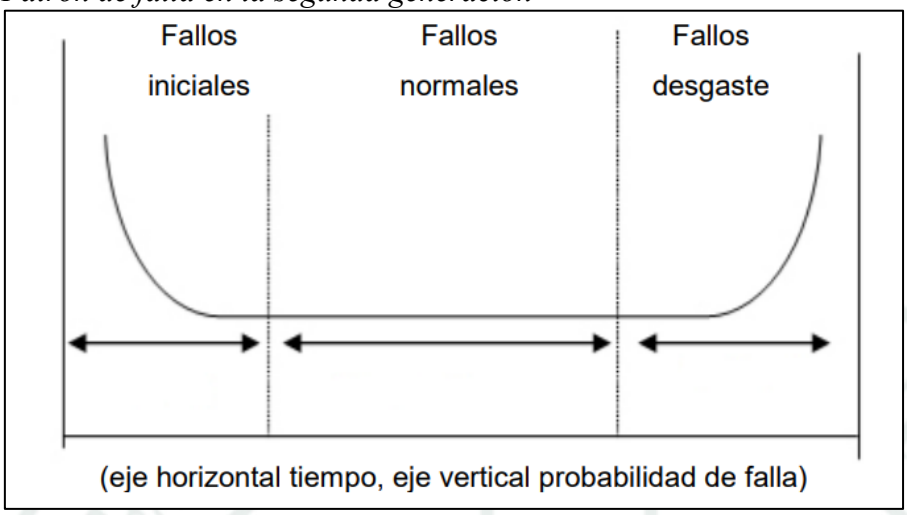
2.2.2 Segunda Generación

"Entre la 2ª Guerra Mundial y finales de los años 70 se descubre la relación entre edad de los equipos y probabilidad de fallo. Se comienza a hacer sustituciones preventivas. Es el Mantenimiento Preventivo" (Navarro, 2004).

> Todo cambió dramáticamente desde la segunda guerra mundial. Las presiones de la guerra aumentaron la demanda de todo tipo de provisiones, mientras que la disponibilidad de mano de obra disminuyó notablemente. Esto llevo a una mayor mecanización. Para 1950, las maquinarias de todo tipo se habían multiplicado en número y complejidad. La industria estaba comenzando a depender de ellas.
>
> A medida que esta independencia creció, la inactividad tuvo un enfoque más cercano. Esto trajo la idea de que las fallas técnicas podían y debían ser prevenidas, lo que trajo a su vez el concepto de mantenimiento preventivo. En 1960 éste consistía principalmente en el reacondicionamiento de los equipos, que se llevaba a cabo en intervalos fijos. El costo de mantenimiento comenzó a incrementarse notablemente en comparación con otros costos operativos. Esto llevo al crecimiento de la planificación de mantenimiento y programas de control. Estos fueron una enorme contribución para comenzar a controlar el mantenimiento, y actualmente forman parte oficial de las prácticas de éste. Finalmente, la cantidad de capital invertido en bienes físicos y los costos crecientes, llevo a que los propietarios buscaran el modo de maximizar la vida de esos bienes. (Moubray, 2004)

Figura 3

Patrón de falla en la segunda generación



Nota. Tomado de (Barreda Beltrán, 2015)

2.2.3 Tercera Generación

Surge a principios de los años 80. Se empieza a realizar estudios CAUSA-EFECTO para averiguar el origen de los problemas. Es el Mantenimiento Predictivo o detección precoz de síntomas incipientes para actuar antes de que las consecuencias sean inadmisibles. Se comienza a hacer partícipe a Producción en las tareas de detección de fallos. (Navarro, 2004)

Según Moubray (2004) desde mediados de los años setenta, el proceso de cambio en las empresas ha tomado incluso velocidades más altas. Los cambios pueden clasificarse así:

Nuevas expectativas: El crecimiento continuo de la mecanización significa que los períodos improductivos tienen un efecto más importante en la producción, costo total y servicio al cliente. Esto se hace más claro con el movimiento mundial hacia los sistemas de producción justo a tiempo, en el que los reducidos niveles de inventario en curso hacen que pequeñas averías puedan causar el paro de toda una planta. Una automatización más extensa significa que hay una relación más estrecha entre la condición de la maquinaria y la calidad del producto. Al mismo tiempo, se están elevando continuamente los estándares de calidad. Otra característica en el aumento de la mecanización es que cada vez son más serias las consecuencias de las fallas de una instalación para la seguridad y/o el medio ambiente.

Nueva Investigación: Mucho más allá de las mejores expectativas, la nueva investigación está cambiando las creencias más básicas acerca del mantenimiento. En particular, se hace aparente ahora que hay una menor conexión entre el tiempo que lleva un equipo funcionando y sus posibilidades de falla.

2.2.4 Cuarta Generación

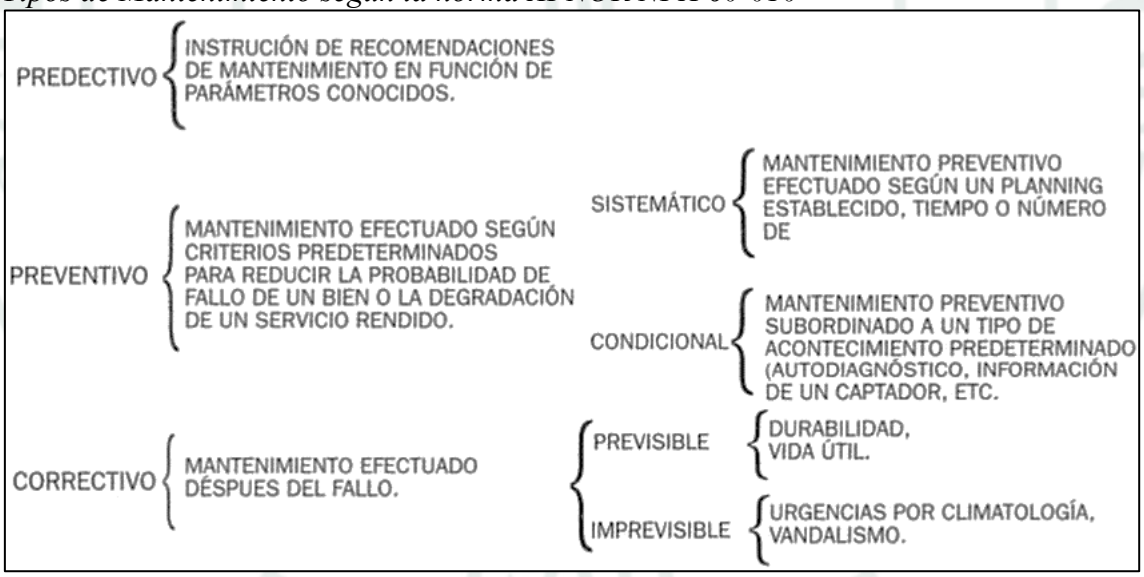
Aparece en los primeros años 90. El Mantenimiento se contempla como una parte del concepto de Calidad Total: "Mediante una adecuada gestión del mantenimiento es posible aumentar la disponibilidad al tiempo que se reducen los costos. Es el Mantenimiento Basado en el Riesgo (MBR): Se concibe el mantenimiento como un proceso de la empresa al que contribuyen también otros departamentos. Se identifica el mantenimiento como fuente de beneficios, frente al antiguo concepto de mantenimiento como "mal necesario". La posibilidad de que una máquina falle y las consecuencias asociadas para la empresa es un riesgo que hay que gestionar, teniendo como objetivo la disponibilidad necesaria en cada caso al mínimo coste. (Navarro, 2004)

2.3 TIPOS DE MANTENIMIENTO

"Existen dos normas importantes para la clasificación de los tipos de mantenimiento con similitudes y discrepancia entre ellas (*UNE-EN-13306 y AFNOR NFX 60-10*)" (Gonzáles Fernández, 2005).

Figura 4

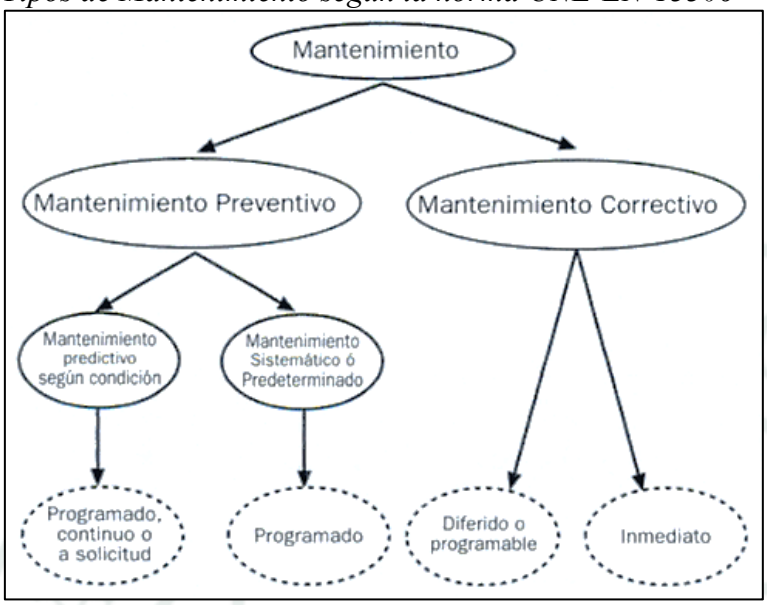
Tipos de Mantenimiento según la norma AFNOR NFX 60-010



Nota. Tomado de (Gonzáles Fernández, 2005).

Figura 5

Tipos de Mantenimiento según la norma UNE-EN-13306



Nota. Tomado de (Gonzáles Fernández, 2005).

2.4 REVISIÓN DE CONCEPTOS DE CONFIABILIDAD

Según los autores de Silva Ardila & Orrego Barrera (2014), "la variable principal para efectos de cálculos en el mantenimiento es el tiempo, con el seguimiento de este se puede analizar el comportamiento de los activos y por ende la gestión de la actividad de mantenimiento".

2.4.1 El MTBF – Mean Time Between Failures

"Se refiere al tiempo promedio que es capaz de operar una instalación, sistema, equipo y/o dispositivo a capacidad requerida sin interrupciones dentro del periodo considerado del estudio" (Amendola, 2005).

"Representa el Promedio del tiempo entre fallas de un elemento (Equipo, Sistema o Componente)" (Silva Ardila & Orrego Barrera, 2014).

La expresión matemática utilizada es:

$$MTBF = \frac{Tiempo\ total\ Disponible - Tiempo\ de\ avería}{Número\ de\ fallas} = \frac{Tiempo\ total\ de\ operación}{Número\ de\ fallas}$$

2.4.2 El MTTF – Mean Time To Failures

Cuando se trata de un cambio o sustitución de parte o repuesto, el concepto es similar que MTBF, lo que se indica en este caso, es el tiempo promedio con que se producirá la falla del elemento analizado. Es importante resaltar que el MTBF y el MTTF son mutuamente excluyentes, pues para este último, el tiempo de reparación se asume como cero. (Silva Ardila & Orrego Barrera, 2014)

MTTF mide la confiabilidad de los sistemas no reparables y significa el tiempo que se espera que funcione el sistema antes de que falle por completo. Según Silva Ardila & Orrego Barrera (2014), si se está analizando un solo elemento y se asume como "cero" el tiempo de parada del elemento analizado, la expresión matemática utilizada es:

$$MTTF = \frac{Tiempo\ total\ Disponible}{Número\ de\ fallas}$$

2.4.3 El MTTR – Mean time to repair

Se refiere al tiempo promedio en que puede ser reparado una instalación, sistema, equipo y/o dispositivo. Se entiende como horas de fallos, el tiempo en horas que transcurre desde que el equipo fallo, hasta que el equipo es nuevamente puesto en servicio. Es decir, las horas de fallos se consideran igual al tiempo para reparar. (Amendola, 2005)

$$MTTR = \frac{Tiempo\ total\ de\ mantenimiento}{Número\ de\ fallas} _ \frac{Tiempo\ total\ de\ reparación}{Número\ de\ fallas}$$

Otra variable importante para el gestor de activos es la tasa de fallas (λ), que es igual al inverso del MTTF, es decir;

$$\lambda = \frac{1}{MTTF}$$

2.4.4 Disponibilidad

Se refiere a la capacidad de una instalación, sistema, equipo y/o dispositivo para realizar una función requerida bajo condiciones específicas en un periodo de tiempo determinado, asumiendo que los recursos requeridos son suministrados. (Amendola, 2005)

Otros autores para diferenciar mejor este término como lo comenta Mora Gutiérrez (2009) a esta disponibilidad lo conisdera como *Diponibilidad inherente o intrínsica* el cual lo refiere como: La probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente cuando se requiere en cualquier tiempo, bajo condiciones de operación especificadas y con un entorno ideal de soporte logisticos, es decir con la disponibilidad adecuada de personal, repuestos, herramientas, equipos de prueba demás, sin considerar demora alguna, logística o administrativa ademas aquí no se contempla mantenimeintos planeados. Esta disponibilidad está basada únicamente en la distribución de fallas y en la distribución de reparación.

La expresión matemática utilizada es:

$$D_{(t)} = \frac{Tiempo\ programado - Tiempo\ de\ demoras}{Tiempo\ programdo} = \frac{MTBF}{MTBF - MTTR}$$

2.4.5 Confiabilidad

"Se refiere a la probabilidad de que una instalación, sistema, equipo y/o dispositivo pueda realizar una función requerida en un periodo considerado" (Amendola, 2005).

Según los autores Silva Ardila & Orrego Barrera (2014), define a la confiabilidad es definida como; La PROBABILIDAD de que un activo opere sin falla por un determinado período de tiempo especificado (tiempo de misión) y bajo condiciones previamente establecidas. Lo que lleva a que como valor probabilístico varíe desde 1 o 100% hasta tomar un valor de 0 al ocurrir la falla. Esto explica que la confiabilidad pueda variar de 100% a 0%.

En su forma más simple se exprese a la confiabilidad como:

$$R_{(t)} = e^{-\lambda.t} = e^{-\frac{1}{MTTF}.t}$$

Donde:

- λ: tasa de falla
- t: Tiempo de la misión (hrs, días, semanas, meses, años, etc)

Esta ecuación es válida para tiempos para la falla que sigan la distribución exponencial.

Figura 6

Modelos comunes de confiabilidad

Modelos Comunes de Confiabilidad	Exponencial	Weibull	Normal	Lognormal
Función de Densidad de Probabilidad (pdf), f(t)	$f(t) = \lambda\exp(-\lambda t)$	$f(t)=\frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}\exp\left\{-\left[\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}\right]\right\}$	$f(t)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right]$	$f(t)=\frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(t)-\mu}{\sigma}\right)^2\right]$
Función de Confiabilidad, R(t)	$R(t) = \exp(-\lambda t)$	$R(t)=\exp\left\{-\left[\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}\right]\right\}$	$R(t)=\int_{z(t)}^{\infty}\phi(z)dz$	$R(t)=\int_{z[\ln(t)]}^{\infty}\phi(z)dz$
Función de Tasa de Falla, h(t)	$h(t) = \lambda$	$h(t)=\frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$	$h(t)=\frac{\phi(z)}{\sigma R(z)}$	$h(t)=\frac{f(t)}{R(t)}$
Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF)	$\overline{T}=\frac{1}{\lambda}$	$\overline{T}=\eta\,\Gamma\left(\frac{1}{\beta}+1\right)$	$\overline{T}$ = *media*	$\overline{T}=\exp(\overline{T}'+\frac{1}{2}\sigma^2{}_{T'})$ donde T' es la funcion ln(t)
Parámetros	1/λ = escala sin forma	η = escala β = forma, o pendiente Weibull	media = localización σ = escala	media de ln's = escala σ de ln's = forma
Aplicaciones	Sistema complejo vida útil electrónica	β < 1, fallas infantiles β = 1, exponencial β > 1, desgaste β app 3.4, app. normal componentes mecánicos	z(t) = (t - μ)/σ ϕ(z) = pdf normal std. desgaste alto	z[ln(t)] = (ln(t) - μ)/σ donde μ = media de ln's σ = desv. std. de ln's ϕ(z) = pdf normal std. fatiga en metales desgaste de partes mecánicas

Nota. Tomado de (Moubray, 2004)

Según los autores Silva Ardila & Orrego Barrera (2014), un sistema de ingeniería se puede tomar diferentes configuraciones lo que lleva a diferentes análisis de confiabilidad, puesto que la confiabilidad de un elemento del sistema analizado cambia la confiabilidad de la misión del conjunto, por lo que deben de entenderse las diferentes configuraciones y su tratamiento, estas configuraciones son:

- Configuración de confiabilidad en Serie.
- Configuración de confiabilidad en Paralelo.

2.4.6 Mantenibilidad

"Hace referencia al para volver el equipo a su condición operativa después de una parada por falla no planificada, se define como la probabilidad de restaurar la condición operativa del equipo en un periodo de tiempo" (Silva Ardila & Orrego Barrera, 2014).

$$M_{(t)} = 1 - e^{-\mu.t} = e^{-\frac{1}{MTTR}.t}$$

Donde:

- μ: tasa de reparación
- t: Tiempo de la misión (hrs, días, semanas, meses, años, etc)

Esta ecuación es válida para tiempos para reparar que sigan la distribución exponencial.

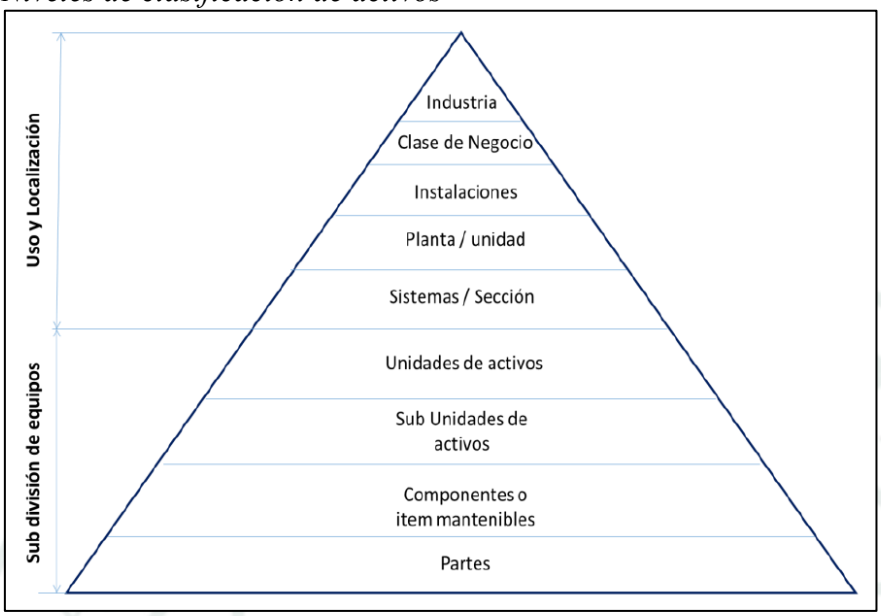
2.5 GESTIÓN Y TAXONOMÍA ACTIVOS

> El primer problema que se plantea al intentar realizar un análisis de activos es elaborar una lista ordenada de los equipos que hay en ella. Realizar un inventario de los activos de la planta es algo más complejo de lo que pueda parecer en un primer momento. Una simple lista de todos los motores, bombas, sensores, etc., de la planta no es útil ni práctica. Una lista de estas características no es más que una lista de datos, no es información. Si queremos elaborar una lista de equipos realmente útil, debemos expresar esta lista en forma de estructura arbórea, en la que se indiquen las relaciones de dependencia de cada uno de los ítems con los restantes. (García Garrido, 2010)

No existe un criterio de cómo debe estructurarse un árbol jerárquico de los activos de una organización, generalmente se realiza ordenamiento del *tipo funcional, ligado al proceso y por su ubicación espacial*. A esto hay que mencionar que la norma de ISO 14224 es de mayor referencia para realizar un árbol jerárquico de activos.

Figura 7

Niveles de clasificación de activos



Nota. Tomado de (ISO 14224, 2016)

Figura 8

Ejemplo de taxonomía

Categoría Principal	Nivel Taxonómico	Jerarquía de Taxonomía	Definición	Ejemplos
Datos de uso/ ubicación	1	Industria	Tipo de industria principal	Petróleo, gas natural, petroquímica
	2	Categoría del Negocio	Tipo de negocio o flujo de procesos	Upstream (E y P), midstream, Downstream (refinería), petroquímica
	3	Categoría de Instalación	Tipo de instalación	Producción, transportación, perforación de petróleo y gas, LNG, refinería, petroquímica
	4	Categoría de Planta/ Unidad	Tipo de planta/unidad	Plataforma, semi-sumergible, hidrocraqueo, craqueo de etileno, polietileno, planta de ácido acético, planta de metanol
	5	Sección/ Sistema	Sección/sistema principal de la planta	Compresión, gas natural, licuefacción, gasoil de vacío, regeneración de metanol, sección de oxidación, sistema de reacción, sección de destilación, sistema de carga del tanque
Subdivisión de equipos	6	Clase de equipo/ unidad	Clase de equipos similares. Cada clase de equipo contiene unidades de equipos comparables (ej. compresores).	Intercambiadores de calor, compresores, tuberías, bombas, turbinas a gas, boca de pozo submarina y árboles de navidad, botes salvavidas, extrusoras, BOPs submarinos
	7	Sub-unidad	Un subsistema necesario para la función del equipo	Sub-unidad de lubricación, sub-unidad de enfriamiento, control y monitoreo, subunidad de calentamiento, sub-unidad de peletización, sub-unidad de extinción, sub-unidad de refrigeración, sub-unidad de reflujo, sub-unidad de control distribuido
	8	Componente/ Ítem Mantenible (MI) [a]	El grupo de piezas del equipo que comúnmente se mantienen (se reparan/se restauran) como un todo	Enfriador, acoplamiento, caja de engranaje, bomba de aceite de lubricación, circuito de instrumento, motor, válvula, filtro, sensor de presión, sensor de temperatura, circuito eléctrico
	9	Pieza [b]	Una parte individual del equipo	Sello, tubo, carcasa, accionador, junta, placa de filtro, perno, tuerca etc.

Nota. Tomado de (ISO 14224, 2016)

2.6 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

En el manual de Moubray (2004) se define como al "mantenimiento Centrado en la confiabilidad: Un proceso usado para determinar que debe hacerse para asegurar que todo bien físico continúe funcionando como sus usuarios lo desean en el presente contexto operativo".

Según Mora Gutiérrez (2012) la filosofía del RCM se fundamenta en:

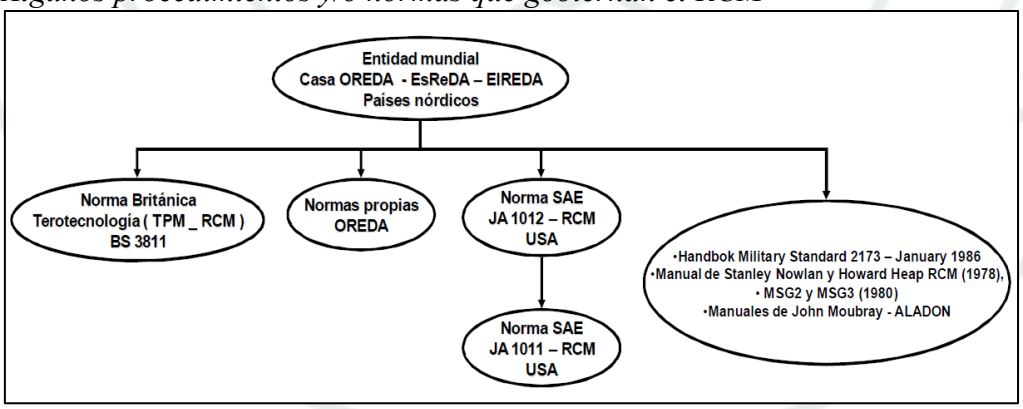
- Evaluación de los componentes de los equipos, su estado y su función.
- Identificación de los componentes críticos.
- Aplicación de las técnicas de mantenimiento proactivo y predictivo.
- Chequeo en sitio y en operación del estado corpóreo y funcional de los elementos mediante permanente revisión y análisis.

El mantenimiento centrado en confiabilidad es una filosofía de gestión de mantenimiento, que sirve de guía para identificar las actividades de mantenimiento con sus respectivas frecuencias a los activos más importantes de un contexto operacional.

Existen varios procedimientos de orden universal que plantean las normas y reglas que rigen la implementación del RCM, en sí son procedimientos parecidos, algunos con mayor validez o no, pero en el fondo apuntan a unos propósitos generales comunes.

Figura 9

Algunos procedimientos y/o normas que gobiernan el RCM



Nota. Tomado de (Mora Gutiérrez, Mantenimiento Industrial Efectivo, 2012)

2.7 CONTEXTO OPERATIVO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA

La selección del sistema es primordial para realizar todo el esfuerzo de todas las áreas en poder elaborar un plan de mantenimiento adecuado en el equipo, no todos los equipos deben realizarse un plan de mantenimiento, estos por lo general son equipos de mayor criticidad.

Además, el plan de mantenimiento debe contemplar el contexto actual del sistema y/o equipo, esto por lo general no son contemplado por los fabricantes por la ausencia de información que no se obtiene de los usuarios.

Según el autor Parra Márquez & Crespo Márquez (2012), el primer paso a dar en la implantación del RCM es la selección de los sistemas o equipos a los que se va a aplicar esta metodología. Se debe determinar la parte de nuestras instalaciones a estudiar y la parte o elementos que quedarán excluidos de ese estudio y, una vez delimitado el sistema a estudiar, determinar su composición, los elementos de nivel inmediatamente inferior que lo constituyen y así sucesivamente, siguiendo con una estructura de árbol hasta el nivel que ya se considere como un todo indivisible desde el punto de vista del mantenimiento. Téngase en cuenta que esta estructura puede no ser jerárquica en el sentido estricto, sino tener ramas que se interrelacionan en un mismo nivel o ramas entre niveles no contiguos. Los subsistemas que a su vez tienen bucles de control están en este caso y, por tanto, se deben tratar los bucles como unidades indivisibles, desde el punto de vista del sistema principal, de manera que quede reducido a una estructura jerárquica en árbol pura. Para establecer el sistema o sistemas a los que se va a aplicar el método RCM, definir sus límites y su estructura es necesario responder a las dos preguntas:

1. ¿Cuál debería ser el nivel de detalle que se requiere para realizar el análisis de los modos y efectos de fallos del sistema seleccionado?
2. 2. ¿Debería ser analizada toda el área seleccionada, y si no es necesario, que debería hacerse para seleccionar la parte a analizar y con qué prioridad deben analizarse cada una de las partes?

Para entender mejor lo que significa nivel de detalle el autor Smith & Hinchcliffe (2004) comenta que, es necesario que los grupos de trabajo confirmen o definan los distintos niveles que presenta una determinada organización, es decir, el grado de división existente en la organización: corporación, filiales, departamentos, plantas, sistemas, equipos, componentes son ejemplos de división de una determinada organización. A continuación, se definen algunos términos necesarios para entender el concepto de nivel de detalle:

- Parte: representa el nivel más bajo de detalle al cual un equipo puede ser desensamblado sin que sea dañado o destruido. Ejemplos: engranajes, bolas de cojinetes, ejes, resistores, chips… (El tamaño no es el criterio a considerar para establecer qué elemento constituye una parte de un equipo determinado).

- Equipo: nivel de detalle constituido por un grupo o colección de partes ubicadas dentro de un paquete identificable, que cumple al menos una función relevante como ítem independiente. Ejemplos: válvulas, motores, bombas, compresores, etc.
- Sistema: nivel de detalle constituido por un grupo lógico de equipos que cumplen una serie de funciones requeridas por una organización. La mayoría de los sistemas están agrupados en función de los procesos más importantes. Ejemplos: sistema de generación de vapor, de tratamiento de aguas, de condensado, de protección, etc.
- Planta: nivel de detalle constituido por un grupo lógico de sistemas que funcionan en conjunto para proveer un producto o servicio por procesamiento o manipulación de materiales o recursos.
- Complejo o polígono industrial: nivel de detalle constituido por un grupo lógico de plantas que funcionan en conjunto para proveer varios productos o servicios de una misma clase o de distintas clases. Por ejemplo, un grupo de plantas de hidrógeno, azufre, etc., que constituyen un área denominada "Complejo de Refinería, Polígono Petroquímico, etc.".

2.8 TÉCNICAS Y ANÁLISIS CRITICIDAD PARA EL PROCESO DE JERARQUIZACIÓN DEL SISTEMA

2.8.1 Técnicas de análisis de criticidad aplicadas en el proceso de jerarquización de los sistemas

Según Parra Márquez & Crespo Márquez (2012) ha mencionado lo siguiente:

> Las técnicas de análisis de criticidad, son metodologías que permiten jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de optimizar el proceso de asignación de recursos (económicos, humanos y técnicos). Un método de criticidad cualitativo muy utilizado dentro de las aplicaciones de RCM, es el proceso de jerarquización de sistemas basado en matrices de criticidad, que consideran dentro de su proceso de análisis la evaluación del factor "Riesgo".
>
> Este método integra el análisis de la probabilidad (frecuencia) de que se produzca un fallo y las consecuencias (nivel de severidad) que pueden traer consigo los fallos de los sistemas a evaluar. La definición de criticidad puede tener varias interpretaciones dependiendo del objetivo que se pretenda y de las necesidades de la

organización, por lo que existe una gran diversidad de herramientas de criticidad. Para realizar un análisis de criticidad es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Definir un alcance y propósito para el análisis de criticidad.
- Establecer criterios (atributos) de importancia.
- Desarrollar un método de evaluación para jerarquizar los sistemas.

Según Jones (1995), afirmo lo siguiente:

> En relación a los criterios de importancia a ser considerados, estos dependerán básicamente del objetivo principal del proceso de jerarquización y del entorno organizacional y operacional. Entre los atributos más utilizados en los procesos de criticidad se encuentran: Seguridad, Ambiente, Producción, Costes (Operaciones y Mantenimiento), Frecuencia de Fallos y Tiempo promedio para reparar.

Según Parra Márquez & Crespo Márquez (2012) uno de los modelos que puede utilizarse es la estimación del factor riesgo, el cual se detalla a continuación:

Riesgo = Frecuencia de Fallos x Consecuencias

Dónde:

Frecuencia fallos = Número de fallos en un tiempo determinado Consecuencias = (Impacto Seguridad y Salud x 0,25) + (Impacto Medio Ambiente x 0,25) + (Impacto Producción y/ó Costos de Mantto. x 0,5)

El proceso de evaluación de la frecuencia de fallos y de las consecuencias se realiza a través de los siguientes factores ponderados:

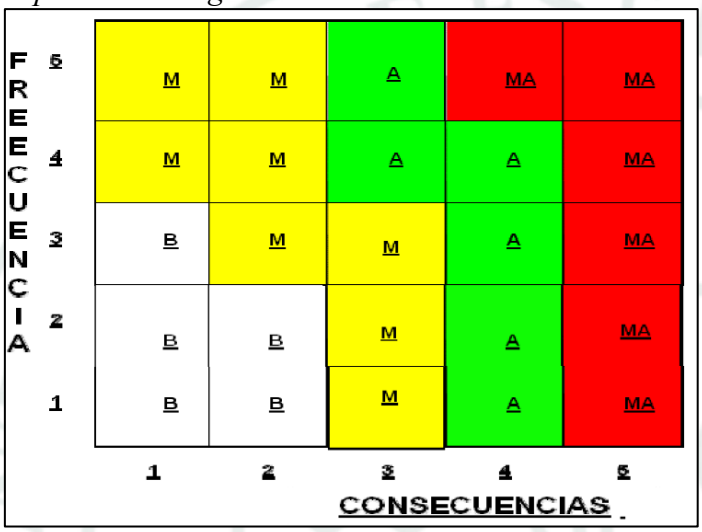
- Factores de frecuencia de fallos / escala 1-5
  - 1: Sumamente improbable: menos de 1 evento en 5 años.
  - 2: Improbable: 1 evento en 5 años.
  - 3: Posible: 1 evento en 3 años.
  - 4: Probable: entre 1 y 3 eventos al año.
  - 5: Frecuente: más de 3 eventos por año.

- Factores de frecuencia de fallos / escala 1-5
    - Impacto en seguridad y salud
        - 5. Evento catastrófico: pérdida de vidas humanas.
        - 4. Evento que genera: lesión incapacitante o efectos a la salud de por vida.
        - 3. Evento que genera: lesión incapacitante o efectos a la salud de forma temporal.
        - 2. Evento que genera: lesión o efectos a la salud menores (no incapacita al trabajador).
        - 1. No genera ningún impacto en la seguridad y salud.
    - Impacto medio ambiente
        - 5. Afectación catastrófica al ambiente (cierre total de las operaciones).
        - 4. Afectación sensible al ambiente (daños ambientales recuperables a largo plazo, multas, indemnizaciones y cierre temporal).
        - 3. Afectación moderada al ambiente (daños ambientales recuperables en corto plazo, multas e indemnizaciones).
        - 2. Incidente ambiental controlable (no genera daños ambientales, costos directos menores).
        - 1. No genera ningún impacto ambiental.
    - Impacto en producción y/o en los costos de mantenimiento
        - 5: Pérdidas de producción superiores al 75%, costos de reposición mayores a 75.000$.
        - 4: Pérdidas de producción entre el 50% y el 74%, costos de reposición entre 50.000$ y 74.999$.
        - 3: Pérdidas de producción entre el 25% y el 49%, costos de reposición entre 25.000$ y 49.999$.
        - 2: Pérdidas de producción entre el 5% y el 24%, costos de reposición entre 10.000$ y 24.999$.
        - 1: Pérdidas de producción menor al 5%, costos de reposición menores a 9.999$.

Los resultados de la evaluación de los factores anteriores, se presentan en una matriz de criticidad 5 x 5, donde el eje vertical expresa cinco categorías de frecuencia de los fallos, mientras que el eje horizontal indica cinco categorías de frecuencia de fallos. La matriz está dividida en cuatro zonas para indicar la criticidad de los equipos:

Figura 10

Representación genérica de la matriz de criticidad



Nota. Tomado de (Carlos Parra, 2006)

Zonas de criticidad consideradas:

B = Baja criticidad

M = Media criticidad

A = Alta criticidad

MA = Muy Alta criticidad.

2.8.2 Técnicas de análisis de criticidad aplicadas en el proceso de jerarquización de los sistemas

Según Moubray (2004) indica que:

Una vez identificados los sistemas críticos, la metodología de RCM propone que se desarrolle el contexto operacional los sistemas a evaluar. Para el desarrollo del contexto operacional hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Resumen Operativo: Especificar el propósito que cumple el sistema a analizar, describiendo los equipos, procesos y dispositivos de seguridad implicados, así como detallar las metas relativas a la seguridad y medio ambiente y establecer planes futuros.

- Personal: Especificar la rotación de turnos de trabajo, las operaciones realizadas y los parámetros de calidad definidos.
- División de Procesos: Especificar la división del proceso en sistemas, definir los límites y listar los componentes de los mismos, incluyendo indicadores y dispositivos de seguridad.

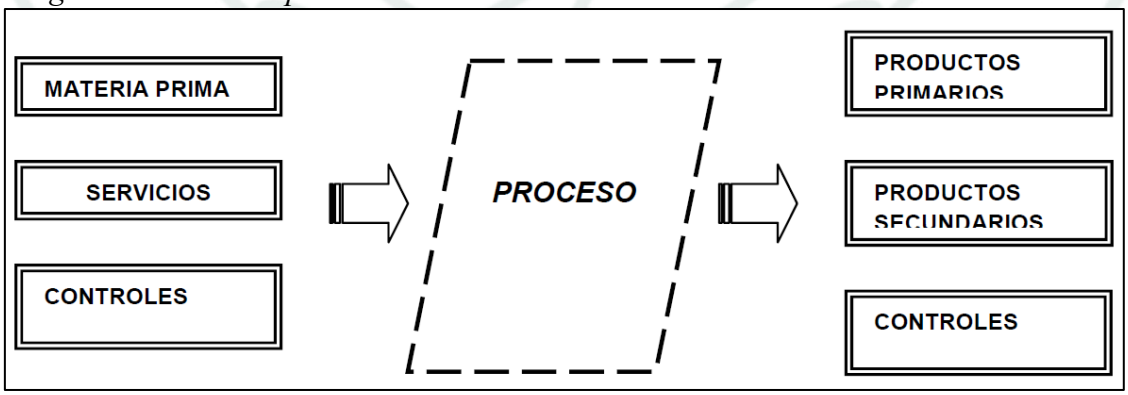
Para la información que necesita recopilarse en un inicio para el desarrollo para el contexto operacional según Moubray (2004) recomienda empezar con lo siguiente:

- Perfil de operación.
- Ambiente de operación.
- Calidad/Disponibilidad de las entradas requeridas (combustible, aire, etc.).
- Alarmas, Monitorización.
- Políticas de repuestos, recursos, logística.
- P&IDs (diagramas de tuberías e instrumentación) del sistema.
- Esquemas del sistema y/o diagramas de bloque, que normalmente son desarrollados a partir de los P&IDs.

"Una herramienta gráfica que facilita la visualización del contexto operacional, es el diagrama de entrada-proceso-salida. En estos diagramas se deben identificar las entradas, los procesos y las salidas principales del sistema" (Parra Márquez & Crespo Márquez, 2012).

Figura 11

Diagrama de entrada proceso salida



Nota. Tomado de (Carlos Parra, 2006)

Según Moubray (2004) los estos factores importantes de entrada-proceso-salida pueden detallarse como:

- Las entradas pueden ser de tres tipos:
  - Materia prima: son los recursos tomados directamente por el proceso (sistema/equipo) para transformarlos o convertirlos (gas, crudo, madera…).
  - Servicios: son los recursos utilizados por el proceso para la transformación de la materia prima (electricidad, agua, vapor…).
  - Controles: entrada referida a los sistemas de control y sus efectos sobre los equipos o procesos pertenecientes al área en cuestión. Normalmente, no necesitan ser registrados como una función separada ya que su fallo siempre va asociado a una pérdida de señal de salida en alguna parte del proceso.
- Las salidas van a estar asociadas a las funciones inherentes al sistema y pueden ser clasificadas como:
  - Productos primarios: Constituyen los principales propósitos del sistema, generalmente son especificados por la tasa de producción y los estándares de calidad.
  - Productos secundarios: se derivan de funciones principales que cumple el sistema dentro del proceso. La pérdida de los productos secundarios puede causar, en la mayoría de los casos, la pérdida de las funciones primarias y sus consecuencias pueden ser catastróficas.
  - Controles y alarmas: van asociadas a las funciones de protección y control del sistema.
- Los procesos deben registrarse como una descripción de la función a ejecutar por el sistema en un lugar específico, con el fin de concentrar los esfuerzos de mantenimiento sobre la función que esté siendo analizada y averiguar qué actividades de mantenimiento deben ejecutarse para que el activo cumpla la función dentro del contexto operacional.

2.9 DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE MODOS DE FALLAS Y EFECTOS DE FALLOS (FMEA)

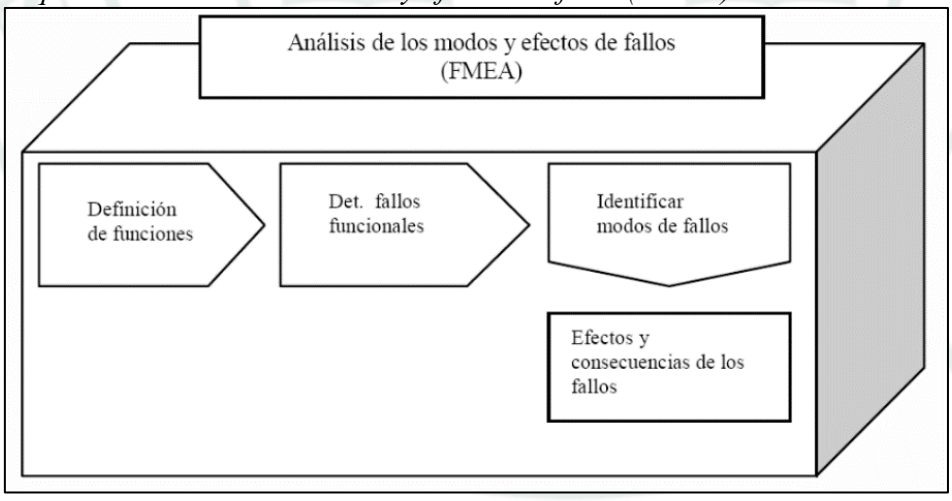
"El Análisis de los Modos y Efectos de Fallos (FMEA) es la herramienta principal del RCM para optimizar la gestión de mantenimiento en una organización determinada ya que ayuda a responder las primeras cinco preguntas básicas del RCM" (J. Woodhouse, 1996).

Según Parra Márquez & Crespo Márquez (2012) menciona que:

> El FMEA es un método sistemático que permite identificar los problemas antes de que ocurran y puedan afectar a los procesos y productos en un área determinada, bajo un contexto operacional dado. A partir del análisis realizado por los grupos de trabajo RCM a los distintos activos en su contexto operacional, se obtiene la información necesaria para prevenir las consecuencias y los efectos de los posibles fallos a partir de la selección adecuada de las actividades de mantenimiento. Estas actividades se eligen de forma que actúen sobre cada modo de fallo y sus posibles consecuencias. El objetivo básico del FMEA es encontrar todas las formas o modos en los que puede fallar un activo dentro de un proceso, e identificar las posibles consecuencias de los fallos en función de tres criterios básicos en el RCM: seguridad humana, seguridad del medio ambiente e impacto en la producción.

Figura 12

Esquema de análisis de modos y efectos de falla (AMFE)



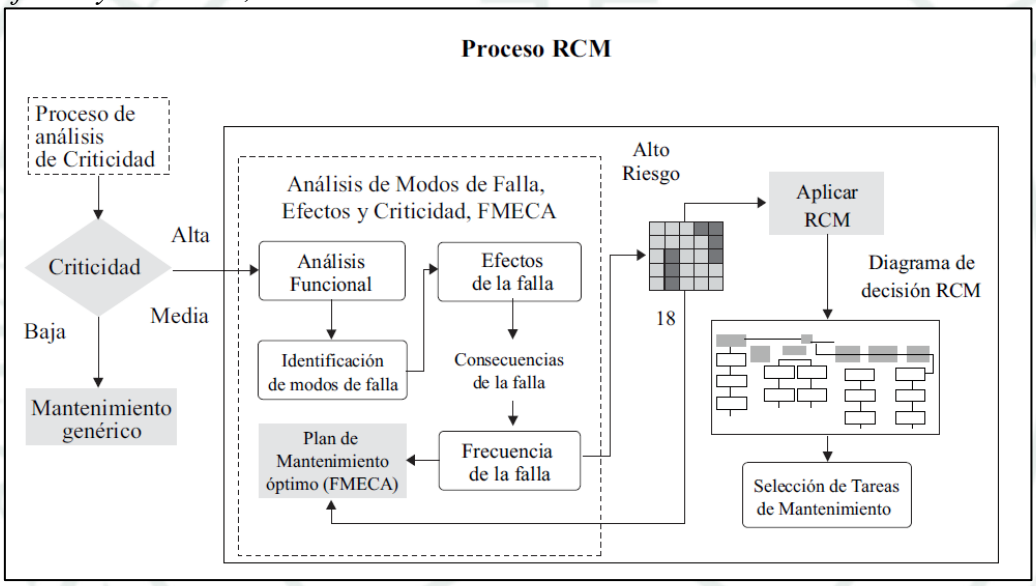
Nota. Tomado de (Carlos Parra, 2006)

Entre otras variantes y/o mejoras a esta metodología son el análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC), según los autores Aguilar Otero, Torres Arcique, & Magaña Jiménez (2010) consisten en las siguientes actividades:

- Definición de intención de diseño.
- Análisis funcional.
- Identificación de modos de falla.
- Efectos y consecuencias de la falla.
- Jerarquización del riesgo.

Figura 13

Proceso de Gestión del Mantenimiento aplicando el análisis de modos de falla y sus efectos y criticidad, AMFEC



Nota. Tomado de (Aguilar Otero, Torres Arcique, & Magaña Jiménez, 2010)

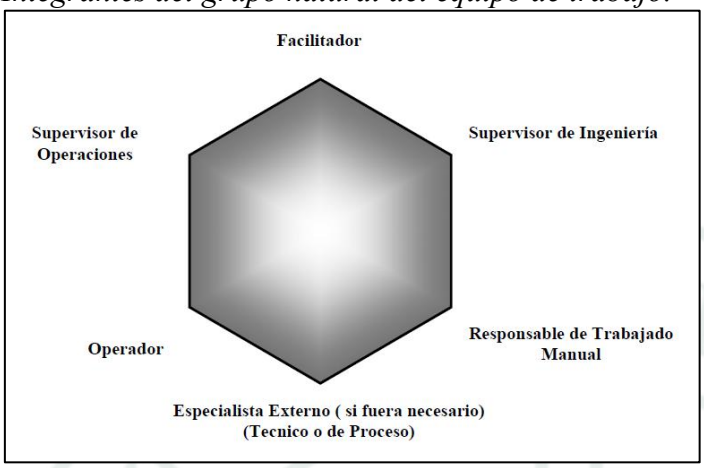
2.10 FORMACIÓN DEL EQUIPO DE TRABAJO NATURAL DEL TRABAJO DEL RCM

Según los autores Parra Márquez & Crespo Márquez (2012):

> El corazón de la metodología del RCM responder las 7 preguntas básicas, en necesario en primera instancia crear un equipo natural de trabajo constituido por personas con distintas funciones dentro de la organización que sean capaces de responder entre todos dichas preguntas. En la práctica, el personal de mantenimiento de la organización no puede responder a todas las preguntas por sí mismo debido a que algunas de las respuestas deben ser proporcionadas por el personal de producción u operación, sobre todo las relacionadas con el funcionamiento deseado del equipo y las consecuencias y efectos de los fallos.

Figura 14

Integrantes del grupo natural del equipo de trabajo.



Nota. Tomado de (Moubray, 2004)

Según Moubray (2004), el grupo de trabajo debe incluir los siguientes participantes:

- **Personal de Operación:** experto en manejo de sistemas y equipos, las personas que viven el día a día de la operación de los equipos (fuente de información valiosa).
- **Personal de Mantenimiento:** expertos en reparación y mantenimiento
- **Ingeniero de Proceso**s: aporta visión global de los procesos.
- **Programador:** aporta visión sistémica de la actividad.
- **Especialista externo:** experto en un área específica (en muchos casos el fabricante)
- **Facilitador**: asesor experto en la metodología RCM.

2.11 LAS SIETE PREGUNTAS BÁSICAS DEL RCM

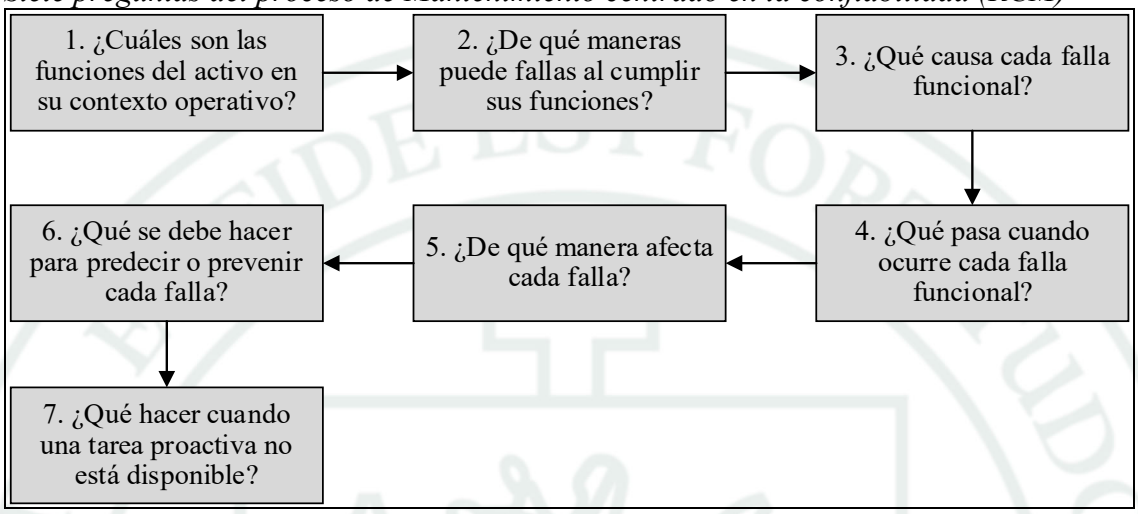
Según la norma SAE JA1011 (1999), cualquier procedimiento de proceso de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) debe asegurarse de responder satisfactoriamente las siguientes siete preguntas y además ser respondidas en la secuencia que se muestra:

1. ¿Cuáles son las funciones deseadas y los estándares de desempeño asociados del activo en su contexto operacional presente (funciones)?
2. ¿De qué maneras puede fallar al cumplir sus funciones (fallas funcionales)?
3. ¿Qué causa cada falla funcional (modos de falla)?
4. ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional (efectos de falla)?
5. ¿De qué manera afecta cada falla (consecuencias de falla)?
6. ¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla (tareas proactivas e intervalos de tareas)?
7. ¿Qué se debe hacer si una tarea proactiva que conviene no está disponible (acciones predeterminadas)?

"La metodología RCM propone un procedimiento que permite identificarlas necesidades reales de mantenimiento de los activos en su contexto operacional, a partir del análisis de las siete preguntas mencionas" (Bloom, 2006).

Figura 15

Siete preguntas del proceso de Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)



Nota. Tomado de www.redalyc.org

> Los encargados de responder estas preguntas serán los componentes de un "Grupo de revisión", creados expresamente para esto. Este grupo estará integrado por representantes de las diferentes secciones donde se aplicará el R.C.M, como son por ejemplo personal de producción o personal de mantenimiento. (Barreda Beltrán, 2015)

2.11.1 Funciones del equipo (pregunta 1)

La primera pregunta del RCM el cual es:

- ¿Cuáles son las funciones deseadas y los estándares de desempeño asociados del activo en su contexto operacional presente (funciones)?

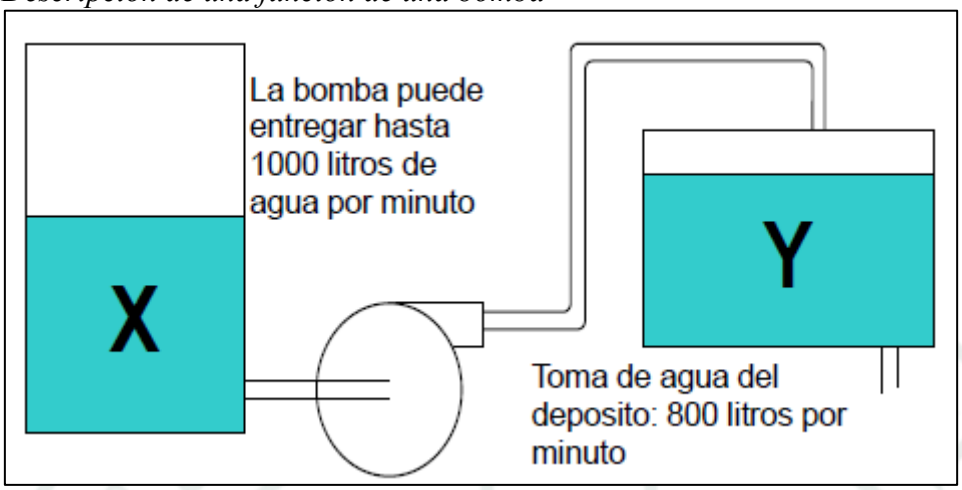
Para esto se debe definir la función el cual según Moubray (2004) lo define como:

> El propósito o la misión de un activo en un contexto operacional específico (cada activo pude tener más de una función en el contexto operacional), es decir función es lo que el dueño o usuario funciones desee que realice un activo físico o sistema.

Para definir correctamente una función es importante mencionar a la norma SAE JA1011 (1999) el cual menciona que "Todos los enunciados de una función deben contener un verbo, un objeto, y un estándar de desempeño (cuantificado en cada caso en que se pueda hacer)".

Figura 16

Descripción de una función de una bomba



Nota. Tomado de (Moubray, 2004)

Según la norma SAE JA1012 (2002) existe dos tipos de funciones:

- Funciones Primarias*:*

Son las funciones que constituyen la razón principal por las que el activo físico o sistema es adquirido por su dueño o usuario.

- Funciones Secundarias:

Se espera que la mayoría de los activos desarrollen otras funciones, además de las funciones primarias. Estas son conocidas como funciones secundarias. Las funciones secundarias normalmente son menos obvias que las funciones primarias. Pero la pérdida de una función secundaria también puede tener serias consecuencias, en ocasiones más serias que la pérdida de la función primaria. Como resultado, las funciones secundarias necesitan a menudo tanta, sino más, atención que las funciones primarias, por lo tanto, deben estar claramente identificadas.

Cuando se identifican las funciones secundarias, se debe velar de no descuidar lo siguiente:

a. Integridad ambiental

b. Integridad de seguridad/estructural

c. Control/contención/confort

d. Apariencia

e. Dispositivos y sistemas protectores

f. Economía/eficiencia

g. Superfluos

Para poder identificar claramente cuándo un activo no está cumpliendo sus funciones de manera eficiente según los autores Parra Márquez & Crespo Márquez (2012) afirman que "es necesario que el grupo de trabajo defina de forma precisa los estándares de ejecución asociados a cada función de los activos a analizar con respecto a su contexto operacional".

"La metodología RCM define un estándar de ejecución como el parámetro que permite especificar, cuantificar y evaluar de forma clara la función de un activo" (Moubray, 2004).
Según Parra Márquez & Crespo Márquez (2012) afirma que:

> Cada activo puede tener más de un estándar de ejecución en su contexto operacional estos estándares de ejecución están normalmente relacionados con las salidas de cada función del sistema, es decir, con el desempeño de la función esperada del sistema. Sin embargo, existen otros estándares de ejecución tales como calidad del producto, seguridad, eficiencia energética y medio ambiente, entre otros.
>
> - Respecto al estándar de calidad del producto, consiste en lograr de forma satisfactoria productos que cumplan los estándares de calidad exigidos. Esto depende fundamentalmente de la capacidad de los activos con los que se obtiene esos productos.
>
> - Los estándares ambientales, con penalizaciones por incumplimiento cada vez más fuertes y estrictas, obligan a las personas responsables del desarrollo de planes de mantenimiento a conocer con precisión las consecuencias que puede ocasionar un fallo en el ambiente.

2.11.2 Falla funcional (pregunta 2)

La segunda pregunta del RCM el cual es:

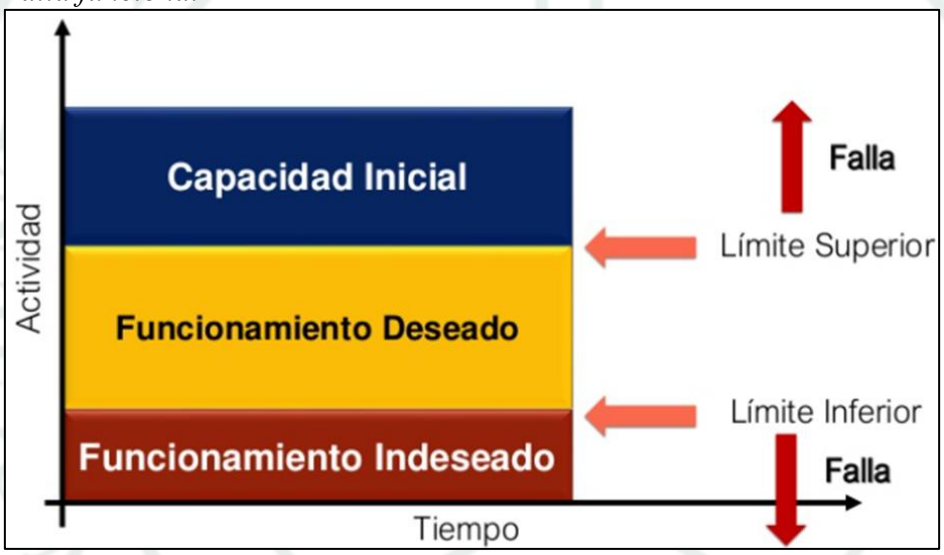
- ¿De qué maneras puede fallar al cumplir sus funciones (fallas funcionales)?

Con esta pregunta se puede identificar cómo puede fallar cada elemento en la realización de sus funciones. "Esto lleva al concepto de una falla funcional, que se define como la incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado" (Moubray, 2004).
"Un fallo funcional además define como una ocurrencia no previsible, que no permite que el activo alcance el funcionamiento esperado en el contexto operacional en el cual se desempeña" (Moubray, 2004).

El nivel de insatisfacción producido por causa del fallo funcional dependerá de las consecuencias que pueda generar la aparición de dicho fallo dentro del contexto operacional. Los diferentes fallos funcionales pueden incidir sobre una función de forma parcial o total. La pérdida total de la función ocurre cuando un activo se detiene por completo de forma inesperada. La pérdida parcial ocurre cuando el activo no puede alcanzar el estándar de ejecución esperado, es decir, cuando opera de forma ineficiente o fuera de los límites específicos tolerados. La definición precisa de un fallo funcional para un activo depende en gran parte del contexto operacional del mismo, por lo que activos idénticos pueden sufrir diferentes fallos funcionales si el contexto operacional es diferente. (Parra Márquez & Crespo Márquez, 2012)

Figura 17

Falla funcional



Nota. Tomado de (Carlos Orrego, 2018)

2.11.3 Modo de falla (Pregunta 3)

La tercera pregunta del RCM el cual es:

- ¿Qué causa cada falla funcional (modos de falla)?

"Un modo de falla puede ser definido como cualquier evento que causa que un bien (sistema o, proceso) puedan fallar, es términos más precisos, un modo de falla es cualquier suceso que cause una falla funcional" (Moubray, 2004).

"Los fallos funcionales tienen causas físicas que originan la aparición de las mismas, estas causas son lo que la metodología RCM define como modos de fallos (causas físicas que provocan los fallos funcionales totales o parciales)" (Moubray, 2004).

Las actividades de prevención, anticipación o corrección según el RCM, deben estar orientadas a atacar modos de fallos específicos. Esta afirmación, constituye una de las mayores diferencias entre el RCM y forma tradicional de gestionar el mantenimiento, es decir que, para el RCM, las actividades de mantenimiento generadas a partir del análisis realizado por el grupo de trabajo RCM, atacarán específicamente a cada uno de los modos de fallos asociados a cada fallo funcional, se ha de precisar que cada fallo funcional puede tener más de un modo de fallo. (Parra Márquez & Crespo Márquez, 2012)

Dentro de una sola instalación puede haber una gran lista de modos de falla, pero de esta enorme lista solo han de registrarse los que puedan ocurrir en mayor probabilidad. La decisión de incluir o no un modo de avería en la lista se ha de tomar con cautela, ya que un modo de avería puede ser no muy probable, pero en cambio sus consecuencias son grandes como para tenerlo en cuenta. (Barreda Beltrán, 2015)

Según la norma SAE JA1011 (1999) define los siguientes puntos:

1) Todos los modos de falla razonablemente probables de causar cada falla funcional deben ser identificados.

2) El método usado para decidir que constituye un modo de avería probable ha de ser aceptado por el propietario/usuario del equipo.

3) Los modos de falla deben identificarse hasta un nivel de casualidad que haga posible identificar una política de manejo de fallas adecuada.

4) Una lista de modos de falla debe incluir los modos de falla que han ocurrido anteriormente, modos de falla actualmente prevenidos por programas de mantenimiento y modos de falla que no han sucedido pero que la probabilidad de que sucedan es alta.

5) Una lista de modos de falla, además, también ha de incluir cualquier situación o proceso que tenga una alta probabilidad de provocar una falla (desgaste, defectos de diseño, error humano, etc.)

Figura 18

Ejemplo de modo de falla de una bomba

ACTIVO: Sistema de Bombeo					
FUNCIÓN		**FALLA FUNCIONAL (Pérdida de la Función)**		**Modo de Falla (Causa de la Falla)**	
1	Transferir agua del tanque X al tanque Y, a no menos de 800 litros por minuto.	A	No disponible para transferir ninguna cantidad de agua	1	Cojinete atascado
				2	Motor quemado
				3	Impulsor suelto
				4	Cizallas en el cubo del acople debido a la fatiga
				5	Válvula de entrada atascada en posición cerrada
				6	Impulsor atascado por un objeto extraño…….etc.
		B	Transfiere menos de 800 litros por minuto	1	Impulsor desgastado
				2	Línea de succión parcialmente bloqueada….etc.

Nota. Tomado de (SAE JA1012, 2002)

Los modos de falla deben ser descritos con el nivel de detalle suficiente como para que como para que sea posible seleccionar una estrategia adecuada de manejo de falla. Si se hace poco detalle y/o pocos modos de falla pueden llevar a un análisis superficial y hasta peligroso. Por el contrario, demasiados modos de falla o demasiado detalle hacen que el proceso de RCM lleve mucho más tiempo, en un caso extremo el proceso tome dos y hasta tres veces más de tiempo del necesario. (Moubray, 2004)

Las casusas de falla deben ser definidas casi a cualquier nivel de detalle, y pueden aplicarse a diferentes niveles a distintas situaciones. En un extremo es suficiente resumir las causas de falla como “falla la maquina”, En otro extremo quizás necesitemos considerar que está sucediendo a nivel molecular, explicar rincones remotos de psiquis de los operadores y del proceso de mantenimiento. (Moubray, 2004)

Figura 19

Ejemplo de modos de falla en diferentes niveles de detalle

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL3	NIVEL 4	NIVEL 5	NIVEL 7	NIVEL 7
Falla el set de bomba	Falla la bomba	Falla el propulsor	Se suelta el propulsor	Tuerca de montaje no hecha	Tuerca no ajustada correctamente	Error de montaje.
				Tuerca de montaje desgastada	Tuerca erosionada o corroída	Material mal especificado
				Tuerca hecha del material equivocado		Material provisto equivocado
				Tuerca del propulsor partida	Tuerca del prop. sobre ajustada	Error de montaje
					Tuerca de material incorrecto	Material provisto equivocado
				Llave del propulsor cortada	Metal para la llave mal especificado	Error de diseño
					Metal provisto equivocado	Error de procuración
						Error de almacén
						Error de pedido
			Objeto golpea el propulsor	Parte en sistema después del mantenimiento	Error de montaje	Ver Apéndice 2
				Objeto extraño en el sistema	Colador de succión no instalado	Error de montaje
		Carcasa rota	Pernos de la carcasa flojos	Pernos no ajustados correctamente	Error de montaje	Ver apéndice 2
				Pernos aflojados por vibración		
				Pernos corridos		
				Pernos fallan por fatiga		
			Fallan las juntas de la carcasa	Juntas ubicadas incorrectamente	Error de montaje	Ver apéndice 2
				Juntas fallan por corrosión		
			Carcasa golpeada	Carcasa golpeada por un vehiculo	Error operativo	Ver apéndice 2
					Bomba en posición vulnerable	Error de Diseño
				Golpeada por un objeto volador	Carcasa golpeada por un meteorito	
					Carcasa golpeada por parte de una nave aérea	

Nota. Tomado de (Moubray, 2004)

Según Moubray (2004), el nivel apropiado varia para los distintos modos de falla muestra que en la hoja de información no debemos listar todos los modos de falla al mismo nivel. Algunos podrían ser identificados en el nivel 2, otros en el nivel 7 y el resto en algún nivel intermedio.

2.11.4 Efectos de falla (pregunta 4)

La cuarta pregunta del RCM el cual es:

- ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional (efectos de falla)?

Para este cuarto paso en el proceso de revisión RCM, “consiste en hacer una lista de lo que sucede al producirse cada modo de falla. Esto se denomina efectos de falla y describen qué pasa cuando ocurre un modo de falla” (Moubray, 2004).

Según Moubray (2004), las fuentes de información sobre modos y efectos para desarrollar un FMEA más compresivo son:

- Fabricante o proveedor del equipo, Esto está limitado por ser genérico y altamente especulativo, debido a que los fabricantes tienen poco acceso al contexto operacional del equipo, estándares de funcionamiento deseado, las consecuencias de las fallas y habilidades de los operadores y el personal del mantenimiento del usuario.

- Listas genéricas de modos de falla, Son listas de fallas preparados por terceros, pueden cubrir sistemas enteros, pero abarcan con mayor frecuencia bienes individuales, o hasta componentes simples. Estas listas deben ser abordado con gran cuidado, debido a varias razones (El nivel de análisis puede ser inapropiado, el contexto operativo puede ser diferente o podría diferir los niveles de desempeño), por lo cual solo debe ser usada para complementar un FMEA en un contexto específico, y jamás ser utilizada en forma particular como una lista definitiva.

- Otros Usuarios del mismo Equipo, Los usuarios son una fuente de información obvia y muy valedera sobre que puede funcionar mal en bienes utilizados en común, siempre por supuesto se permitan el intercambio de datos a través de asociaciones industriales o en diferentes ramas de una misma organización.

- Registros técnicos históricos, Los registros técnicos históricos pueden ser también una fuente de información de gran valor.

- Las personas que operan y mantienen el equipo.

Las personas que mantienen y operan los equipo, por lo general son la mejor fuente de información para preparar el FMEA, esto por que tienden a saber en profundidad como trabaja el equipo, que es lo que no funciona, cuanto afecta cada falla, y que debe hacerse para repararla.

2.11.5 Consecuencias de falla (Pregunta 5)

La quinta pregunta del RCM el cual es:

- ¿De qué manera afecta cada falla (consecuencias de falla)?

Con esta pregunta se define las consecuencias de fallas. “Consecuencia de falla son los efectos que puede provocar un modo de falla o una falla múltiple (evidencia de falla, impacto en la seguridad, en el ambiente, en la capacidad operacional, en los costos de reparación directos o indirectos)” (SAE JA1012, 2002).

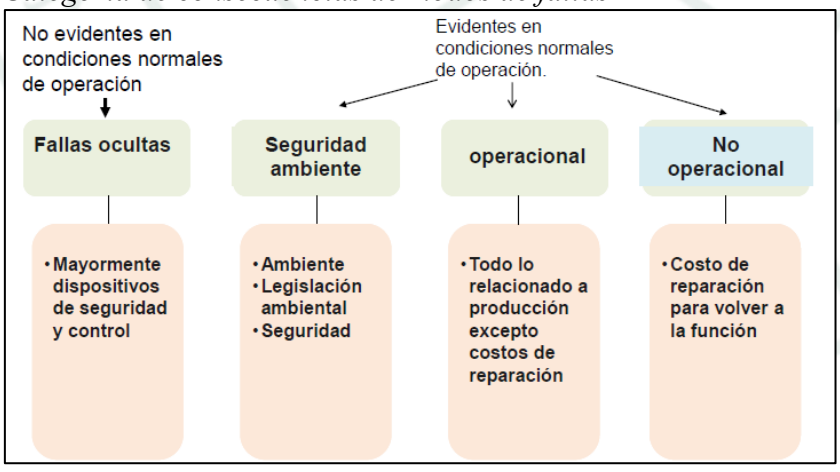
Para Moubray (2004), uno de los puntos fuertes de RCM es que este reconoce que las consecuencias de las fallas son mucho más importantes que sus características técnicas, en realidad reconoce que la única razón de hacer cualquier tipo de mantenimiento proactivo no es para evitar las fallas en sí, sino evitar o al menos reducir las *consecuencias* que estas traen.

El proceso de RCM clasifica estas consecuencias en los siguientes cuatro grupos:

- **Consecuencias de fallas ocultas**: Las fallas ocultas no causan un impacto directo, pero exponen a la empresa a fallas múltiples, con consecuencias serias y frecuentemente catastróficas. (La mayoría de estas fallas están asociadas con sistemas de protección no libres de fallas)
- **Consecuencias medioambientales y de seguridad**: Una falla trae consecuencias de seguridad si potencialmente puede dañar o causar la muerte. Tiene consecuencias medioambientales si provoca la violación de cualquier norma medioambiental corporativa, regional, nacional o internacional.
- **Consecuencias operativas**: Una falla trae consecuencias operativas cuando afecta la producción (rendimiento, calidad del producto, servicio al cliente o costos operativos, además del costo directo de reparación.)
- **Consecuencias no operativas**: Las fallas evidentes que conforman esta categoría, no tienen consecuencias ni de seguridad, ni de protección, de modo que solo implican el costo de reparación.

Figura 20

Categoría de consecuencias de modos de fallas



Nota. Tomado de Campos, José

2.11.6 Estrategias de mantenimiento (Pregunta 6 y 7)

Para el último paso del procedimiento RCM se manejan las preguntas 6 y 7 (respondidos en dicho orden), estas preguntas son:

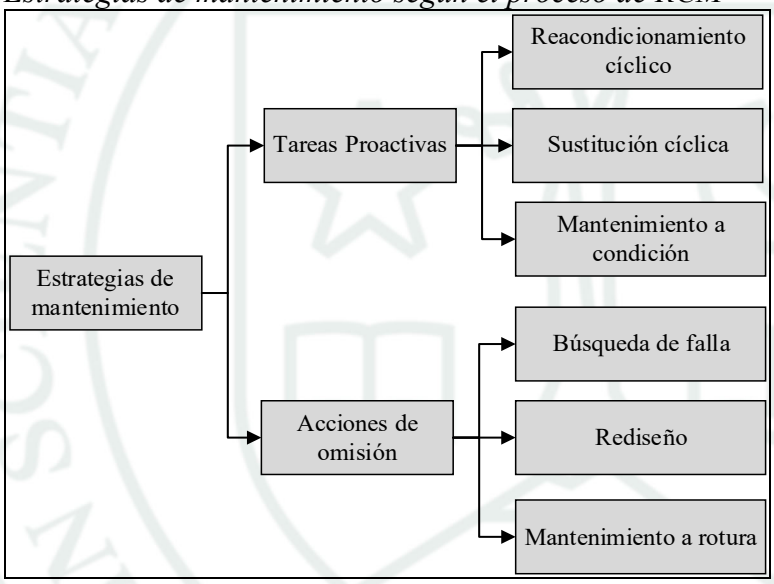
- ¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla (tareas proactivas e intervalos de tareas)? (pregunta 6)
- ¿Qué se debe hacer si una tarea proactiva que conviene no está disponible (acciones predeterminadas)? (Pregunta 7)

Según Moubray (2004), las técnicas de manejo de fallas se dividen en dos categorías:

- Tareas proactivas.
- Acciones de omisión.

Figura 21

Estrategias de mantenimiento según el proceso de RCM



Nota. Tomado de (Moubray, 2004)

"Para lograr un nivel mínimo de personal de manteamiento que sea consistente con la optimización de la producción y la disponibilidad de la planta sin que se comprometa la seguridad, estas estrategias pueden desempeñar un papel eficaz si se aplican en combinación y formas correctas" (Duffuaa, Raouf, & Campbell, 2000).

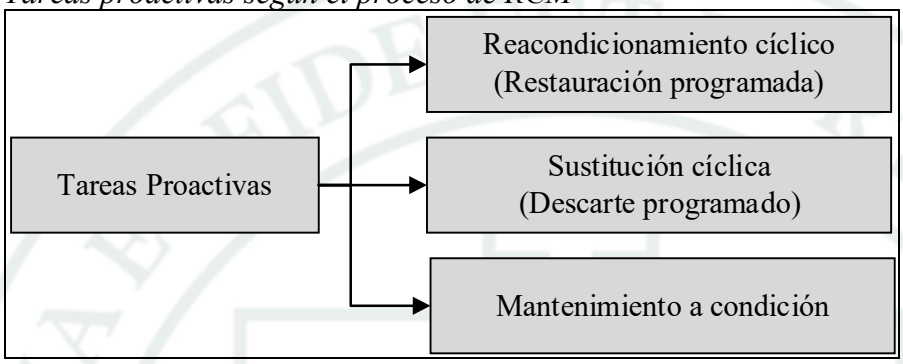
2.11.6.1 Tareas Proactivas.

"Tareas que se emprenden antes que ocurran una falla, para prevenir que el ítem llegue al estado de la falla. Abarca lo que se conoce tradicionalmente como "mantenimiento predictivo" o "preventivo", aunque en el RCM se utiliza términos *reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica y mantenimiento a condición"* (Moubray, 2004).

Se debe tener en consideración del criterio para decidir si una tarea proactiva es Técnicamente posible. “Una tarea es técnicamente viable, si tiene la posibilidad física de reducir, o permitir que la acción seleccionada disminuya, las consecuencias del modo de falla asociado a un grado que sea aceptable para el propietario o usuario del bien” (Moubray, 2004).

Figura 22

Tareas proactivas según el proceso de RCM



Nota. Adaptado de (Moubray, 2004)

- **Reacondicionamiento cíclico (restauración programada)**

  “La restauración programada implica restaurar la capacidad inicial de un ítem o componente existente a o antes una edad límite especificada, sin tener en cuenta su condición aparente en ese momento” (Moubray, 2004).

- **Sustitución cíclica (descarte programado)**

  “El descarte programado implica descartar un ítem o componente a, o antes del límite de edad especificado, sin tener en cuenta su condición en ese momento” (Moubray, 2004).

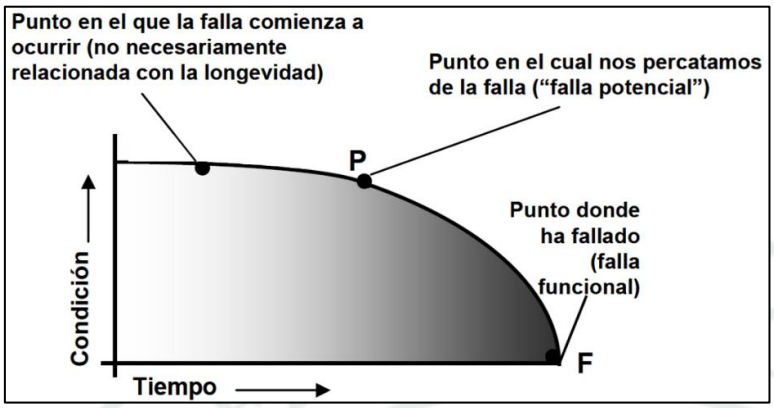
- **Mantenimiento a condición**

  “Las tareas de condición implican el control de fallas potenciales, para que pueda tomarse precauciones para prevenir la falla funcional o para evitar las consecuencias de esta” (Moubray, 2004).

Muchas de las fallas no están relacionadas con la edad, por lo cual con el mantenimiento a condición es posible encontrar una falla potencial en las mayorías de los casos mientras mayor sea el numero de tipos de monitoreo se realicen, esto por es posible comprenderlo en una curva P-F.

Figura 23

La curva P-F

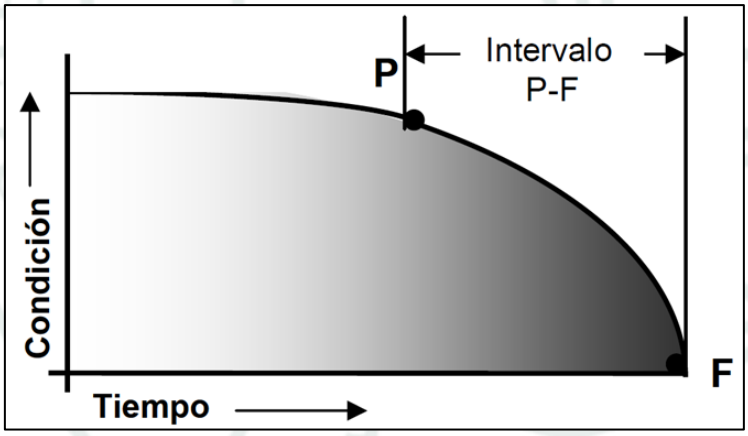


Nota. Tomado de (SAE JA1012, 2002)

En adición a la falla potencial, también es necesario considerar la cantidad de tiempo (o el número de ciclos de esfuerzo) que transcurre entre el punto en el cual ocurre la falla potencial, en otras palabras, el punto en el cual se hace identificable y el punto en el que se deteriora hacia una falla funcional, a este intervalo se conoce como intervalo P-F. (SAE JA1012, 2002)

Figura 24

Intervalo P-F



Nota. Tomado de (SAE JA1012, 2002)

El autor Moubray (2004) afirma:

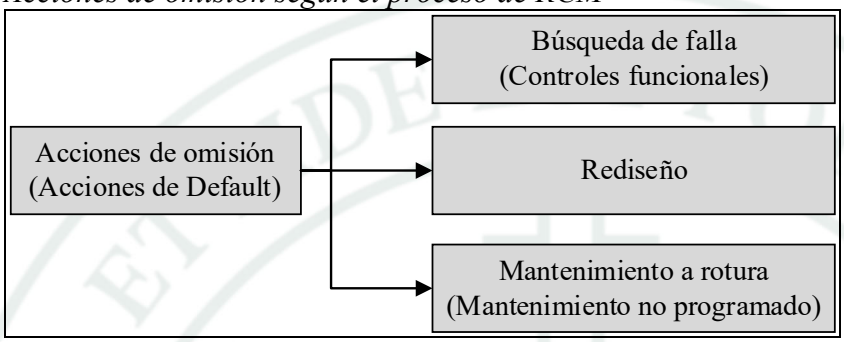
En la práctica es generalmente suficiente seleccionar una frecuencia de tarea equivalente a la mitad del intervalo P-F. Esto asegura que la inspección detectara la falla potencial, mientras otorga un monto de tiempo razonable para hacer algo al respecto. Una tarea en-condición es técnicamente viable si:

2.11.6.2 Acciones de omisión (Acciones de default).

"Son tareas que tratan directamente con el estado de falla y son elegidas cuando no es posible identificar una tarea proactiva efectiva. Las acciones de omisión de incluyen búsqueda de fallas, rediseño y mantenimiento a rotura" (Moubray, 2004).

Figura 25

Acciones de omisión según el proceso de RCM



Nota. Adaptado de (Moubray, 2004)

- **Búsqueda de fallas**

  Son tareas diseñadas para controlar si algo todavía funciona, es conocido también como *controles funcionales* o *tareas defectivas* (por se utilizan para detectar si algo ha fallado). Estas tareas de mantenimiento, se aplican a fallas ocultas o no reveladas, las cuales a su vez solo afectan a los dispositivos de protección. (Moubray, 2004)

- **Rediseño**

  Esta tarea se refiere a todo cambio en la especificación de todo ítem o equipo. Esto significa cualquier acción que pueda resultar en un cambio de un plano, o de una lista de partes. Esto incluye cambiar la especificación de un componente, agregar un nuevo ítem, reemplazando una maquina completa por una de diferente marca o tipo reubicando una máquina. Esto también implica cualquier otro cambio a un proceso o procedimiento que afecte la operación de la planta. (Moubray, 2004)

- **Mantenimiento a rotura (Mantenimiento no programado)**

  Tarea de omisión el cual implica no realizar ningún esfuerzo en anticipar o prevenir los modos de fallas a los que se aplica, de modo que se permite que las fallas sucedan y luego se reparan. Este mantenimiento se conoce como mantenimiento "default" o "acudir a la falla" (Moubray, 2004).

2.12 PLANTILLA DE HOJA DE INFORMACIÓN RCM

La plantilla de hoja de información RCM nos ayuda a desarrollar Análisis de modos de y efectos (Failure Modes and Effects Analysis – FMEA) para así responder adecuadamente a las 4 primeras preguntas de la metodología RCM mencionado por Moubray (2004), las cuales son:

1. ¿Cuáles son las funciones deseadas y los estándares de desempeño asociados del activo en su contexto operacional presente (funciones)?
2. ¿De qué maneras puede fallar al cumplir sus funciones (fallas funcionales)?
3. ¿Qué causa cada falla funcional (modos de falla)?
4. ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional (efectos de falla)?

Figura 26

Planilla de Hoja de Información RCM

SISTEMA Turbina de Gas 5 MW			Sistema Nº 216-05	Facilitador: N. Smith	Fecha: 7-07-1996	Hoja Nº 1
SUBSISTEMA Sistema de Escape			Subsistema Nº 216-05-011	Auditor: P Jones	Fecha 07-08-1996	De 3
	FUNCION	FALLA FUNCIONAL (Perdida de Funcion)	MODOS DE FALLA (Causa de la Falla)		EFECTO DE LA FALLA (Que sucede cuando falla)	
1	Canalizar todo el as de la turbina de calefacción sin restricción a un punto fijo de 10 m. por encima del techo del hall de la turbina.		1	Monturas silenciadoras corroidas	Montaje del silenciador colapsa y cae al fundo de la torre. La presión trasera causa que la turbina surja violentamente y se apague a altas temperaturas de gas de escape. El tiempo de inactividad para reemplazar el silenciador.	
			1	Parte del silenciador falla por fatiga.	Dependiendo de la naturaleza del bloqueo, la temperatura de escape puede aumentar hasta apagar la turbina. El despojos podria afectar partes de la turbina. El tiempo de inactividad para reparar el silenciador es de 4 semanas.	

Nota. Tomado de (Moubray, 2004)

2.13 DIAGRAMA DE DECISIÓN Y PLANILLA DE HOJA DE DECISIÓN DE RCM

El diagrama de decisión y Plantilla de hoja de decisión de RCM nos ayuda a responder las últimas tres de las siete preguntas que conforman el proceso de RCM, las cuales son:

5. ¿Qué importancia si falla?
6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
7. ¿Qué debe hacerse si no puede encontrarse una tarea proactiva apropiada?

Según Moubray (2004), el diagrama de decisión RCM integra todos los procesos de decisión en una estructura estratégica única, el cual se aplica a cada uno de los modos de falla listados en la Hoja de Información RCM.

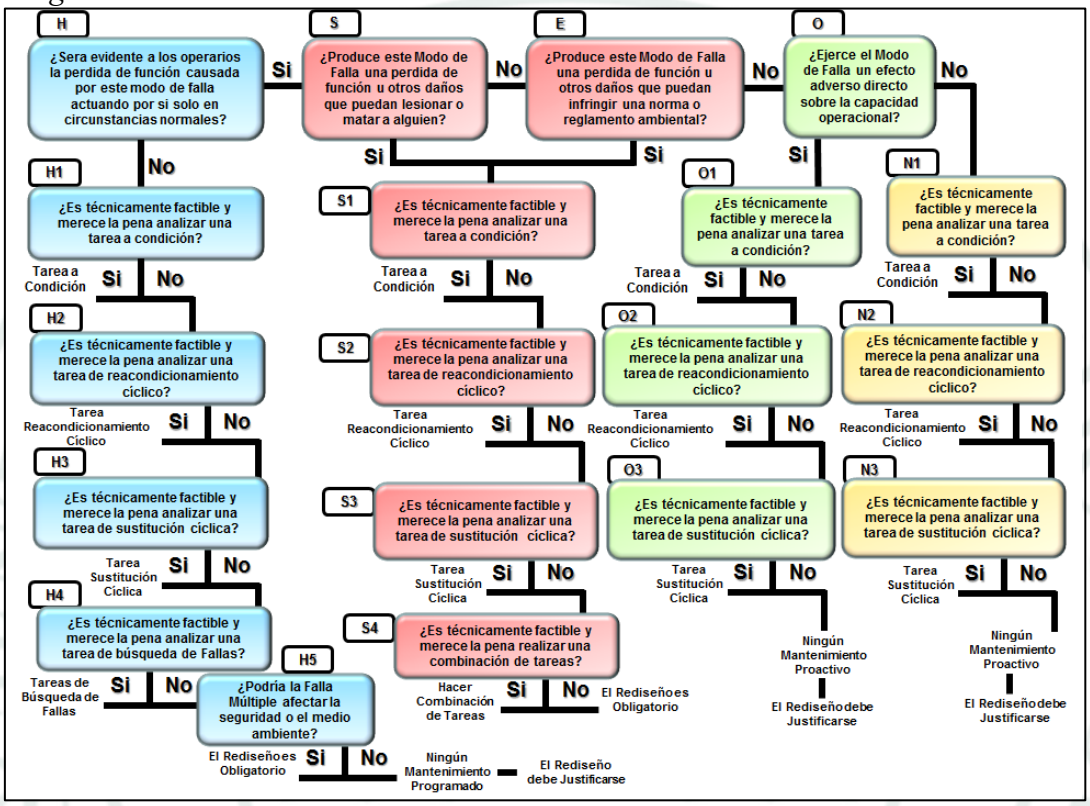
En el diagrama de decisión RCM se puede apreciar que esta dividido en 4 bloques:

1. Consecuencias de falla oculto.
2. Consecuencias para la seguridad o el medio ambiente.
3. Consecuencias operacionales.
4. Consecuencias no operacionales.

El diagrama de decisión RCM, da como mayor prioridad a las consecuencias de fallas ocultas, para luego dar importancia las consecuencias de la seguridad de las personas y consecuentemente a las consecuencias a consecuencias en el medio ambiente, dejando por último a las consecuencias operacionales y no operacionales.

Figura 27

Diagrama de Decisión del Proceso de RCM



Nota. Tomado de (Moubray, 2004)

Según respondamos las preguntas en el diagrama de decisión del proceso RCM, estas se son llenadas en la plantilla de hoja de información de RCM, obtenido así la tarea propuesta para cada modo de falla que evaluemos.

La planilla de decisión de RCM está dividida en 16 columnas, las 03 primeras columnas son de referencia a las preguntas descritas en la plantilla de hoja de información RCM, las cuales están encabezadas por F, FF y MF (Función, Falla Funcional y Modos de Falla respectivamente). Las siguientes columnas son las respuestas a las interrogantes realizadas en diagrama de decisión, según lo Moubray (2004) estas columnas son usadas como siguen:

- Las columnas encabezadas H, S, E, O y N se utilizan para registrar las respuestas a las preguntas referidas a las consecuencias de cada modo de falla.
- Las siguientes tres columnas (encabezadas H1, H2, H3 etc.) registra si una tarea proactiva ha sido seleccionada, y de ser así, el tipo de tarea.

- Si fuera necesario responder a cualquiera de las preguntas de default, se debe utilizar las columnas encabezadas H4 y H5, o S4 para registrar las respuestas.
- Las últimas tres columnas registran la tarea que ha sido seleccionada, la frecuencia con que se realizara esto y quien ha sido seleccionado para hacerlo, de ser el caso se utiliza para registrar los casos donde se requiere el rediseño, o en que se ha decidido que el modo de falla no necesita mantenimiento programado.

Figura 28

Planilla de Hoja de Decisión RCM

Planilla de decisión RCM II	Sistema							N° de sist.	Facilitador:		Fecha	N° de hoja
	Sub- Sistema							N° de sub. sist.	Auditor:		Fecha	De

Referencia De informacion			Consecuencia de la evaluacion				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O1 N2	H3 S3 O3 N3	Accion de Default			TAREA PROPUESTA	Intervalo Inicial	Puede ser realizado por
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4			

Nota. Tomado de (Moubray, 2004)

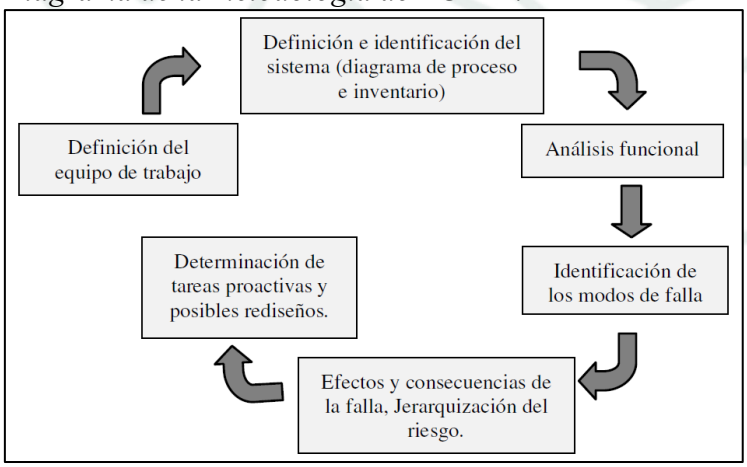
2.14 DESARROLLO DE LA METODOLOGIA RCM

Antes de comenzar el análisis de las necesidades de mantenimiento de los activos en cualquier organización, es fundamental conocer qué tipo de activos físicos existen y decidir cuáles son los que deben someterse al proceso de revisión del RCM. Esto significa que debe realizarse un registro completo de los equipos, en el caso de que no existiera, aunque actualmente la mayoría de las industrias tienen ya esta clase de registro de plantas, que se adecuan a este propósito. (Moubray, 2004)

El desarrollo de la metodología RCM esta generalmente descrito en la siguiente figura:

Figura 29

Diagrama de la metodología de RCM II.

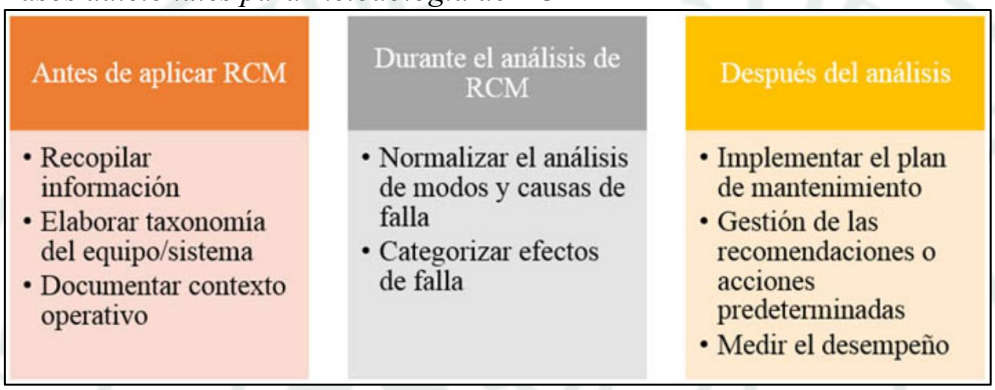


Nota. Tomado de (Barros Chaparro, David Jesús, & Valencia Ochoa, Guillermo, & Vargas Henríquez, Lisandro, 2014)

Adicional al proceso de RCM descrito según los autores Campos López, Tolentino Eslava, Toledo Velázquez, & Tolentino Eslava (2019), se pueden realizar pasos adicionales para incrementar la calidad del análisis y la efectividad del resultado, a pesar de que algunas actividades que se proponen como pasos adicionales al proceso de RCM existen actualmente y son contempladas (de manera intrínseca) para aplicar la metodología, se considera que se les debe dar mayor importancia para lograr el éxito al aplicar la metodología.

Figura 30

Pasos adicionales para metodología de RCM

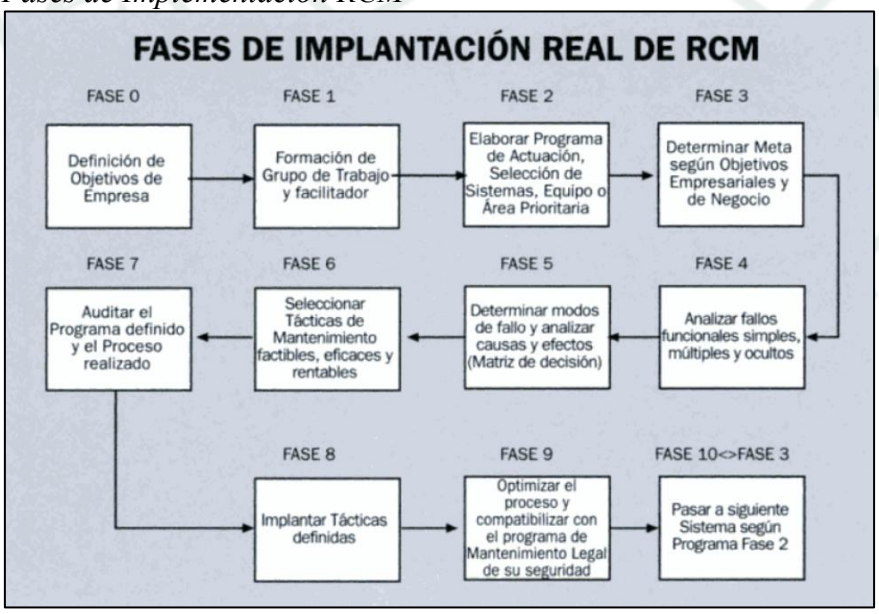


Nota. Tomado de (Campos López, Tolentino Eslava, Toledo Velázquez, & Tolentino Eslava, 2019)

Entre otros autores para poder implementar y responder las preguntas del RCM, según el autor Gonzáles Fernández (2005), el cual un diagrama de bloques el que se describe fases o pasos para la implementación del RCM el cual es el siguiente:

Figura 31

Fases de Implementación RCM



Nota. Tomado de (Gonzáles Fernández, 2005)

2.15 PUENTES GRÚA

"Se caracteriza el equipo de este grupo por poder coger carga en un punto, elevarla y trasladarla a otro punto cualquiera dentro de una zona delimitada" (Torres Marquez, 1969).

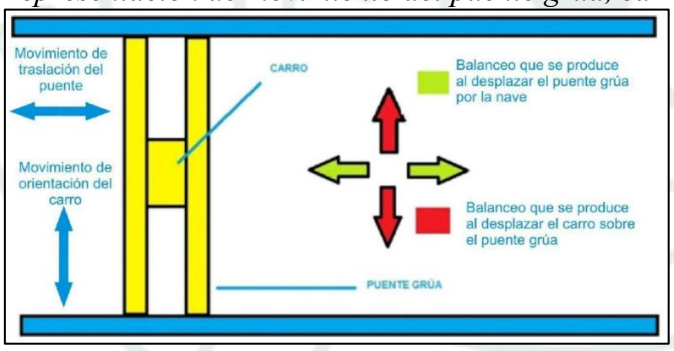
> Un puente grúa es un equipo cuyo uso de manutención sirve para elevar, transportar y depositar cargas en curso de fabricación o proceso de almacenamiento. El puente grúa está constituido con estructura rígida e indeformable, para asegurar el paralelismo de las ruedas que permiten el desplazamiento del mismo. (Azcuénaga Linaza, 2007)

Según el autor Azcuénaga Linaza (2007), un puente grúa puede transportar cargas a cualquier punto del área de trabajo por medio de la combinación de estos cuatro movimientos:

- **Elevación:** Movimiento vertical del gancho, la carga es izada o bajada por medio del motor que con el cable sujeta al gancho.
- **Dirección:** Desplazamiento del carro a través de la estructura del puente.
- **Traslación:** Desplazamiento del puente a lo largo del camino de rodadura por medio del moto-reductor que arrastra las ruedas por medio de ejes de transmisión.
- **Giro u Orientación:** Rotación del gancho con respecto a su polea.

Figura 32

Representación de movimiento del puente grúa, carro y balanceo de carga



Nota. Tomado de SGS

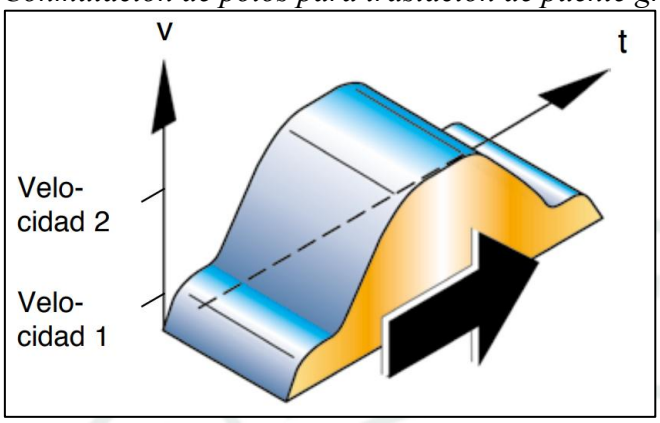
En muchos equipos de izaje, entre ellos los puentes grúas utilizan técnicas de desplazamiento suave y sin escalas para traslación carro entre ellos se tiene:

- *Manejo de conmutación de dos velocidades (dos velocidades)*

Generalmente mediante un motor asíncrono, la velocidad de desplazamiento entre velocidad lenta y normal se realizan mediante conmutación de polos, además con el uso de inducidos y masas de inercia se realiza un arranque suave y usualmente el frenado se realiza con el uso de freno electromagnético.

Figura 33

Conmutación de polos para traslación de puente grúa y carro



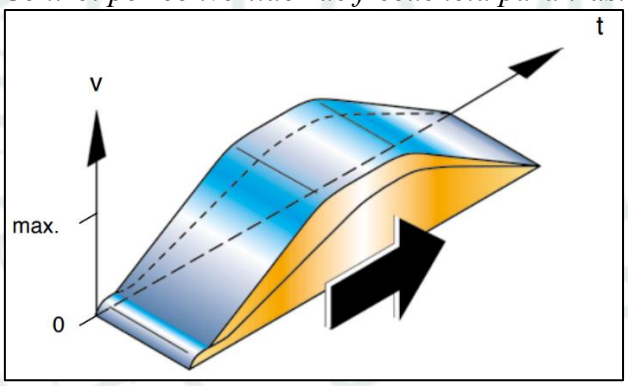
Nota. Tomado de www.abusgruas.es

- *Controlador por convertidor de frecuencia*

Generalmente usado mediante un convertidor indirecto de tensión controlado por microprocesador, pudiendo ajustar rampas constantes en la aceleración y el retardo y usualmente el frenado se realiza con el uso de freno electromagnético.

Figura 34

Control por convertidor de frecuencia para traslación puente grúa y carro



Nota. Tomado de www.abusgruas.es

2.15.1 Tipos de puentes grúas

Tal como describe la según la norma NTP-736 (2006), existen distintos tipos de puente grúa entre ellos:

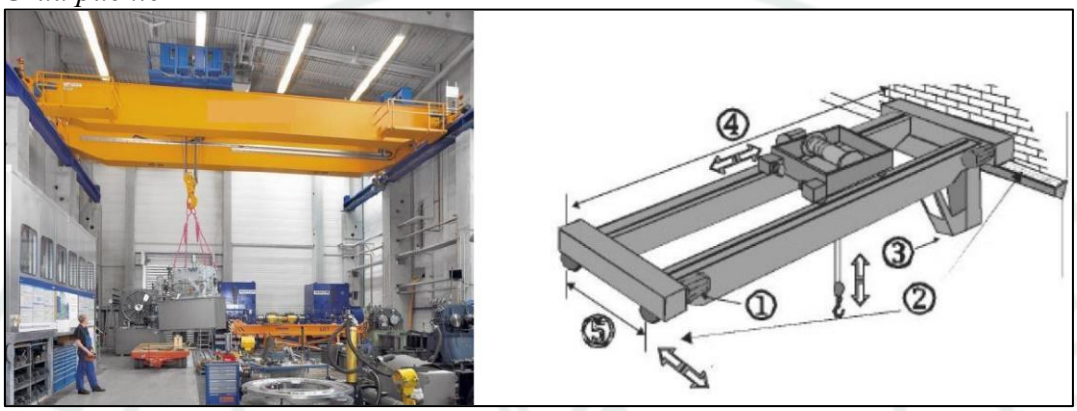
- Grúa puente
- Grúa pórtico
- Grúa semipórtico
- Grúa ménsula
- Grúa brazo giratorio

2.15.1.1 Grúa puente

Según la norma NTP-736 (2006), una grua puente esta constituido a de un elemento portador formado por una o dos vigas móviles, apoyadas o suspendidas, sobre las que se desplaza el carro con los mecanismos elevadores

Figura 35

Grúa puente



Nota. Tomado de (NTP-736, 2006)

Existen dos tipos de grúa puente.

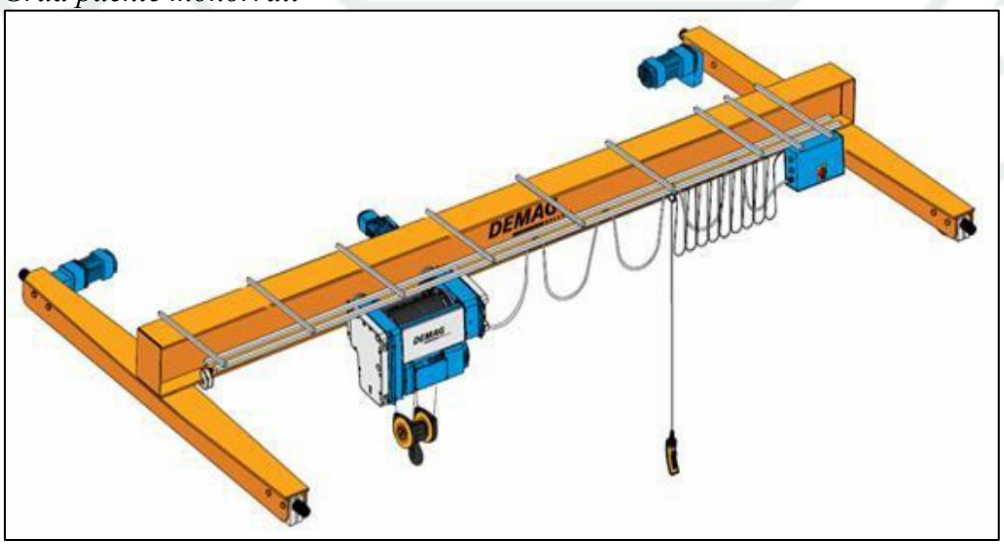
- Grúa puente monorrail.
- Grúa puente birrail.

- **Grúa puente Monorrail**

"Este tipo de puente grúa está constituido por una viga por donde se desplaza el elemento de elevación" (Comesaña Costas, 2010).

Figura 36

Grúa puente monorrail



Nota. Tomado de SGS

Las características técnicas de los polipastos de estos equipos son generalmente según Díaz Cama (2013) son:

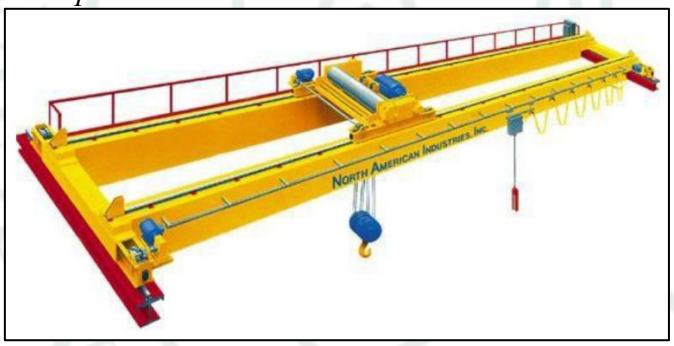
- Polipasto de cable tipo PA con dos velocidades de elevación (con una relación entre ellas de 6:1) y dos de traslación carro (con relación de 4:1).
- Tensiones de alimentación estándares de 380 V CA, 50 Hz y 460 V CA, 60Hz.
- Doble final de carrera de elevación y descenso.
- Freno de regulación regulable con vida útil para un millón de maniobras.
- Tensión de maniobra a 48 V CA.
- Cable de alta resistencia con coeficiente de seguridad mínimo 5.
- Lubricación de por vida en reductores y rodamientos.

- **Grúa Puente Birrail**

"Este tipo de puente grúa está constituido por dos vigas por donde se desplaza el elemento de elevación" (Comesaña Costas, 2010).

Figura 37

Grúa puente birrail



Nota. Tomado de SGS

Las características técnicas de los polipastos de estos equipos son generalmente según Díaz Cama (2013) son:

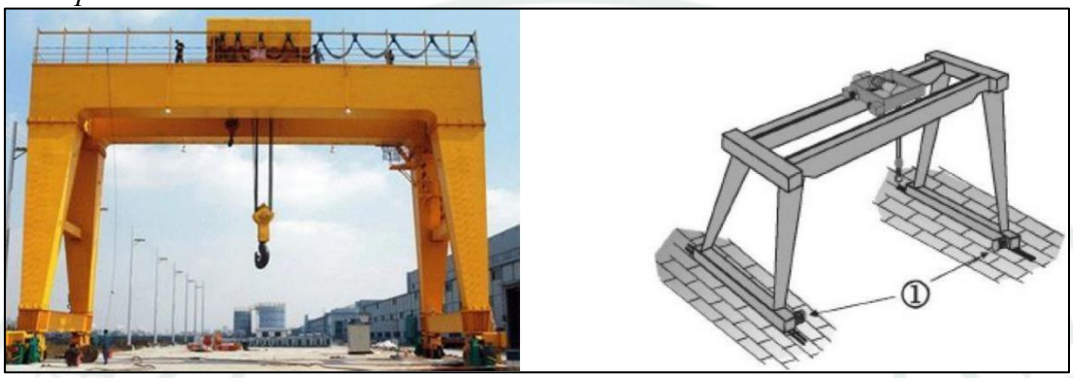
- Carros birrailes equipados con testeros articulados.
- Traslación del carro con dos motroreductores con variador de frecuencia para arranque y paradas suaves.
- Motorreductor silencioso y con engrase de por vida.
- Freno de elevación regulable con vida útil para un millón de maniobras.
- Cable de alta resistencia con factor de seguridad mínimo 5.
- Motorreductores de ataque directo al centro de rueda y tambor.
- Pérdida mínima de altura.

2.15.1.2 Grúa pórtico

Según la norma NTP-736 (2006), "la grúa cuyo elemento portador se apoya sobre un camino de rodadura por medio de patas de apoyo, los raíles de desplazamiento están en un plano horizontal muy inferior al del carro que normalmente apoyados en el suelo".

Figura 38

Grúa pórtico



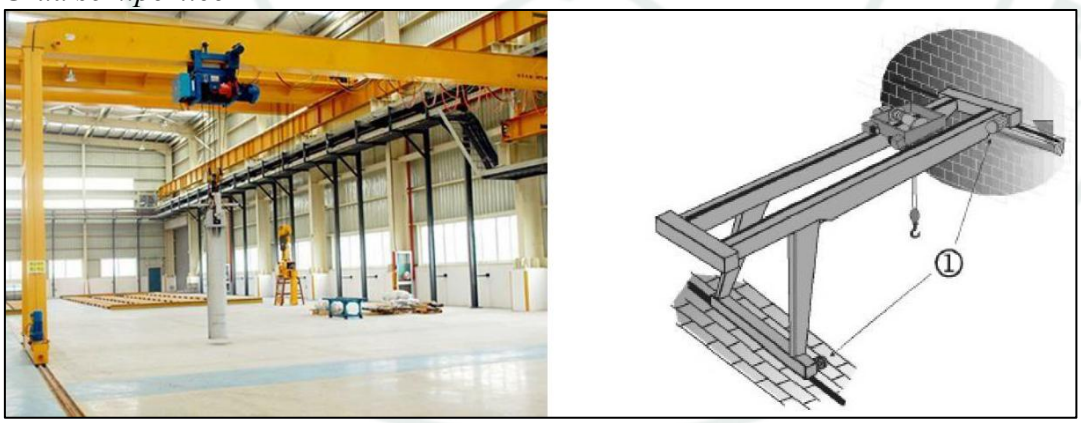
Nota. Tomado de (NTP-736, 2006)

2.15.1.3 Grúa semipórtico

Grúa cuyo elemento portador se apoya sobre un camino de rodadura, directamente en un lado y por medio de patas de apoyo en el otro. Se diferencia de la grúa puente y de la grúa pórtico en que uno de los raíles de desplazamiento está aproximadamente en el mismo plano horizontal que el carro, y el otro raíl de desplazamiento está en otro plano horizontal muy inferior al del carro el cual normalmente está apoyado en el suelo. (NTP-736, 2006)

Figura 39

Grúa semipórtico



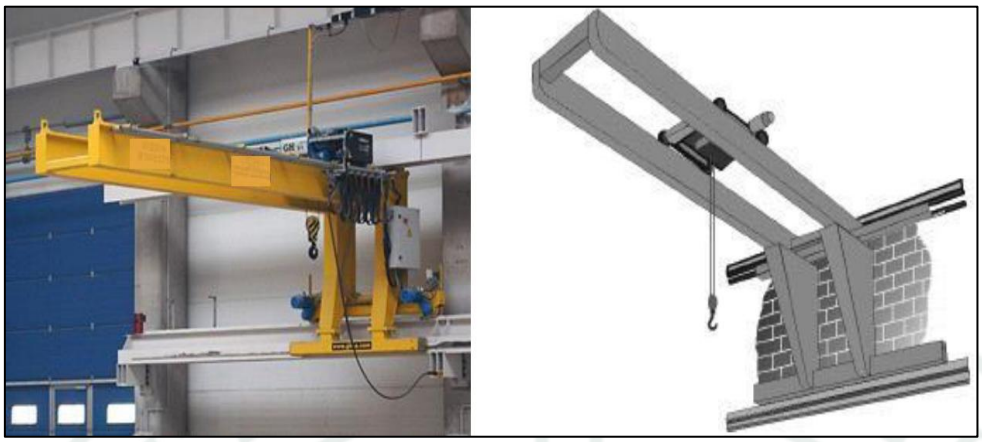
Nota. Tomado de (NTP-736, 2006)

2.15.1.4 Grúa ménsula

Grúa fijada a un muro, o susceptible de desplazarse a lo largo de un camino de rodadura aéreo fijado a un muro o a una estructura de obra. Se diferencia de la grúa puente en que los raíles de desplazamiento están en un mismo plano vertical. (NTP-736, 2006)

Figura 40

Grúa ménsula



Nota. Tomado de (NTP-736, 2006)

2.15.1.5 Grúa de brazo giratorio

"Grúa capaz de girar sobre una columna fijada por su base a la fundación, o fijada a una columna giratoria sobre un soporte empotrado" (NTP-736, 2006).

Figura 41

Grúa de brazo giratorio



Nota. Tomado de (NTP-736, 2006)

2.15.2 Parámetros técnicos de un puente grúa

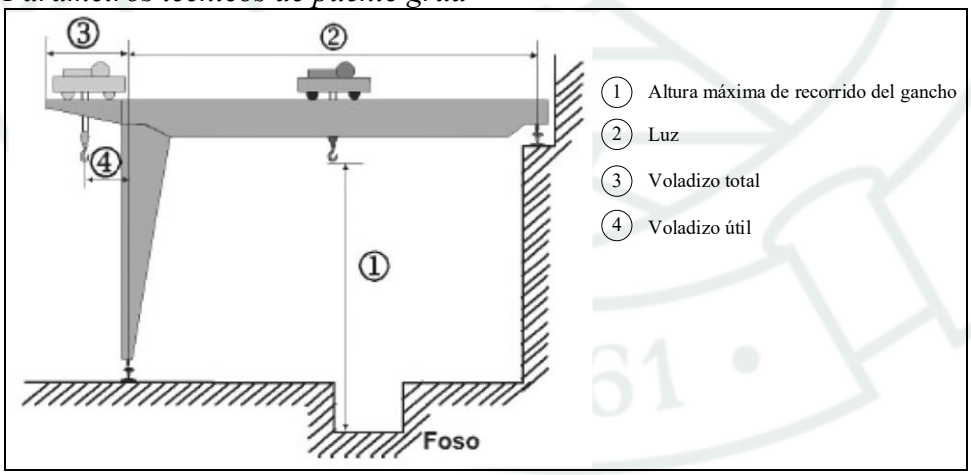
Según la norma de NTP-736 (2006) se consideran:

- *Altura máxima de recorrido del gancho,* es la distancia vertical entre el nivel más bajo del suelo (incluido el foso, si existe) y el gancho de carga, cuando éste se encuentra en la posición más elevada de trabajo.
- *Luz,* es la distancia horizontal entre los ejes de los carriles de la vía de rodadura.
- *Distancia entre los ejes de las ruedas testeras,* es la distancia medida paralelamente al eje longitudinal de desplazamiento.

- *Voladizo horizontal,* distancia máxima horizontal entre el eje del camino de rodadura más próximo al voladizo y el extremo de la estructura emplazada sobre el voladizo.
- *Voladizo útil,* distancia máxima horizontal entre el eje del camino de rodadura más próximo al voladizo y el eje del elemento de prensión emplazado sobre el voladizo.
- *Brazo útil,* distancia horizontal entre el eje vertical de la parte giratoria o eje de rodadura y el eje vertical del elemento de prensión.
- *Brazo toral,* distancia horizontal entre el eje vertical de la parte giratoria o eje de rodadura y el eje vertical del extremo de la estructura.
- *Carga nominal o máxima,* valor de la carga fijado por el fabricante e indicado en la placa de características (incluye los accesorios de elevación y aprehensión originales).
- *Carga útil,* carga bajo el aparejo o accesorios si los hay.
- *Placa de características,* fija en cada grúa indica: el fabricante, año de fabricación, número, carga nominal y útil en función de los alcances, si le es aplicable. Si la grúa dispone de varios mecanismos de elevación, se indicarán las características de cada uno.

Figura 42

Parámetros técnicos de puente grúa



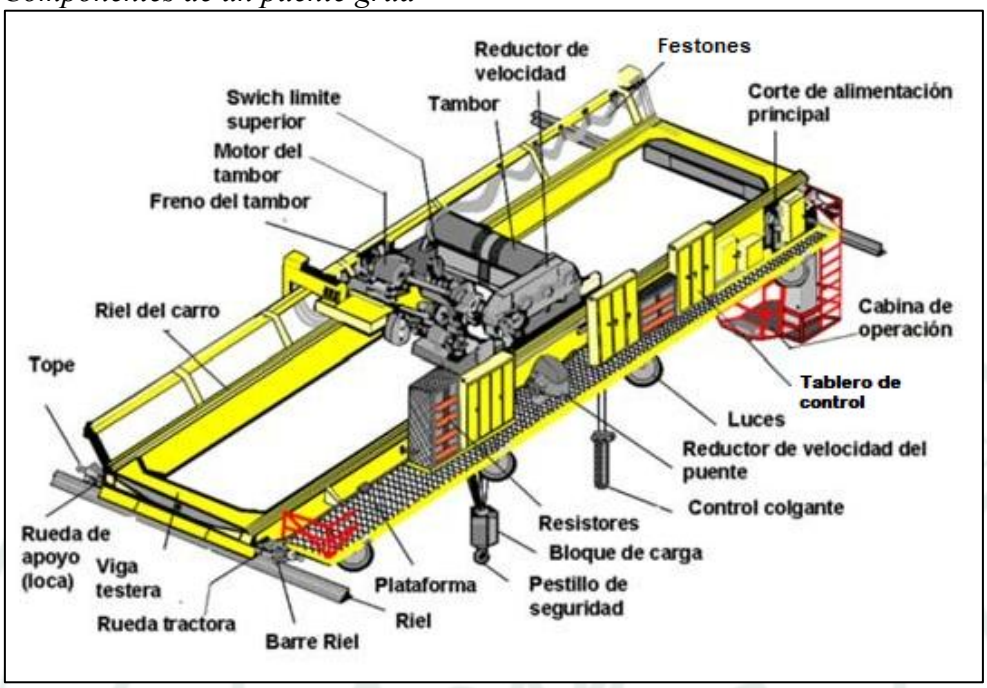
Nota. Tomado de (NTP-736, 2006)

2.15.3 Componentes principales de un puente grúa

Los puentes grúas tienen diferentes componentes entre los principales se muestran en la siguiente figura:

Figura 43

Componentes de un puente grúa



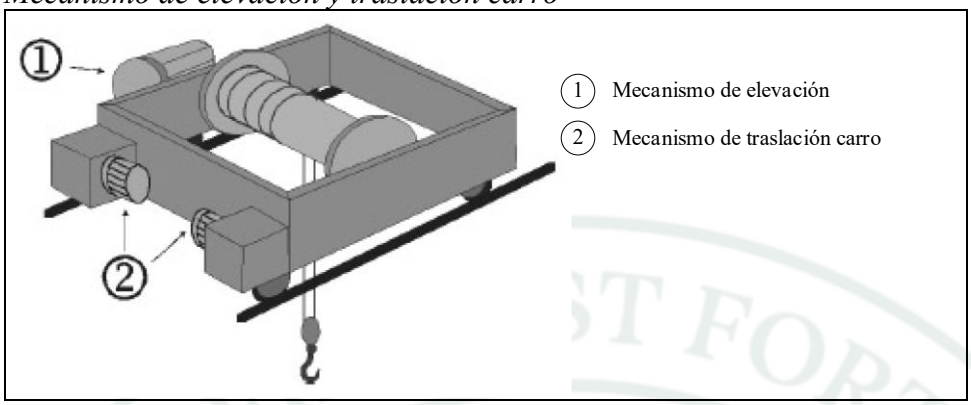
Nota. Tomado de (COPIME, 2018)

Los componentes de puentes grúas según las normas NTP-736 (2006) son:

- *Mecanismo de elevación:* Conjunto de motores y aparejos (sistema de poleas y cables destinados a variar fuerzas y velocidades) que se aplican en el movimiento vertical de la carga.
- *Mecanismo de translación del carro:* Conjunto de motores que se aplican en el movimiento longitudinal del carro (sistema mecánico con los mecanismos de elevación).
- *Mecanismo de translación del puente:* Conjunto de motores que incluye los testeros como estructuras portantes que incorporan este mecanismo para el movimiento longitudinal de la grúa.
- *Camino de rodadura:* Elemento estructural por el que se desplaza longitudinalmente la grúa.
- *Mecanismo de giro:* Conjunto mecánico que realiza el desplazamiento angular del brazo o bien de la posición de los ganchos de un carro.
- *Botonera:* Dispositivo eléctrico o electrónico unido físicamente mediante una manguera de cables eléctricos a la grúa, para el manejo de la misma desde el exterior de la cabina.
- *Telemando:* Dispositivo electrónico inalámbrico (sin unión física a la grúa), para el manejo de la grúa.
- *Cabina:* Habitáculo destinado, si existe, a la conducción de la grúa y que alberga los dispositivos fijos de mando y al operador o gruista.
- *Accesorios o útiles de prensión:* elementos auxiliares cuya función es la de sujetar la carga, tales como: pinzas, pulpos, electroimanes, ventosas, cucharas, etc.

Figura 44

Mecanismo de elevación y traslación carro



Nota. Tomado de (NTP-736, 2006)

2.15.4 Clasificación de servicio

La clasificación del servicio es usada sobre todo cuando se instala y/o diseña el equipo según el uso y/o el requerimiento, no tener en cuenta esto podría no contar con un equipo para el cual el diseño no este contemplado (Vida útil baja, fallas imprevistas por el entorno de trabajo, entre otros). Si se sobredimensiona a una mayor clasificación de clase el equipo sería muy costoso.

Según la norma CMAA (2002) se menciona que:

> La clasificación del servicio de grúas está basada en el espectro de carga que refleja las condiciones reales de servicio de manera tan cercana como sea posible. El espectro de la carga es un medio efectivo, que es distribuido uniformemente sobre una escala de probabilidades y es aplicada al equipo a una frecuencia especificada. La selección del componente de tamaño adecuado para la grúa para efectuar una función dada está determinada por las magnitudes variables de la carga y los ciclos de carga dados, los que pueden ser expresados en el factor de carga media efectiva.
>
> - CLASE A (SERVICIO DETENIDO O INFRECUENTE)
>
> Esta clase de servicio cubre las grúas que pueden ser usadas en instalaciones tales como centrales eléctricas, servicios públicos, salas de turbinas, salas de motores y estaciones transformadoras, donde se requiere de una manipulación precisa del equipo a bajas velocidades con largos períodos de ocio entre los levantes. Las cargas a capacidad pueden ser manipuladas por la instalación inicial del equipo y para el mantenimiento infrecuente.
>
> CLASE B (SERVICIO LIVIANO)
>
> Este servicio cubre las grúas que pueden ser usadas en talleres de reparación, operaciones de montaje liviano, servicio de edificios, bodegaje liviano, etc., donde

los requerimientos de servicio son livianos y la velocidad es lenta. Las cargas pueden variar desde sin carga a cargas nominales totales ocasionales, con dos a cinco levantes por hora, promediando 10 pies por levante.

- CLASE C (SERVICIO MODERADO)

Este servicio cubre las grúas que pueden ser usadas en talleres de tornos o salas de máquinas de molinos de papel, etc., donde los requerimientos de servicio son moderados. En este tipo de servicio la grúa puede manipular cargas que promedien un 50% de la capacidad nominal con 5 a 10 levantes por hora, promediando 15 pies, sin exceder el 50% del levante a capacidad nominal.

- CLASE D (SERVICIO PESADO)

Este servicio cubre las grúas que pueden ser usadas en talleres de máquinas pesadas, fundiciones, plantas de fabricación, bodegas de acero, patios de contenedores, molinos de madera, etc., y operaciones estándares de trabajo con canasta e imán donde se requiere una producción de trabajo pesado. En este tipo de servicio, las cargas que se aproximan al 50% de la capacidad nominal serán manipuladas en forma constante durante el período de trabajo. Altas velocidades son deseables para este tipo de servicio con 10 a 20 levantes por hora, promediando 15 pies, sin exceder el 65% de los levantes a capacidad nominal.

- CLASE E (SERVICIO SEVERO)

Este tipo de servicio requiere de una grúa capaz de manipular cargas que se aproximan a la capacidad nominal a través de toda su vida. Las aplicaciones pueden incluir grúas con imán, canasta o una combinación de imán/canasta, para patios de deshechos, molinos de cemento, molinos de madera, plantas fertilizantes, manipulación de contenedores, etc., con veinte o más levantes por hora a o alrededor de la capacidad nominal.

- CLASE F (SERVICIO SEVERO CONTINUO)

Este tipo de grúa requiere de una grúa capaz de manipular cargas que se aproximan a la capacidad nominal en forma continua bajo severas condiciones de servicio a lo largo de toda su vida. Las aplicaciones pueden incluir grúas de especialidad diseñadas para el cliente, esenciales para efectuar las tareas de trabajo crítico que afectan la instalación de producción completa. Estas grúas pueden proveer la más alta confiabilidad con atención especial para facilitar las características de mantenimiento.

Debe mencionarse que existe otras normas que dan una clasificación de servicio de grúas las cuales con relativa equivalencia es data por la siguiente tabla:

Figura 45

Clases de servicio de grúas

CICLO DE TRABAJO	CLASIFICACIÓN NORMA CMAA	CLASIFICACIÓN NORMA HMI	CLASIFICACIÓN NORMA ISO	CLASIFICACIÓN NORMA FEM	DESCRIPCIÓN DEL SERVICIO	PARTIDAS POR HORAS
SERVICIO NO FRECUENTE O STANDBY	A	H1	M3	1Bm	Estas grúas se pueden manejar la capaidad de carga durante la fase de instalación de las maquinas o bien para fines de mantenimiento con periodos largos o infrecuentes. La grúa para este tipo de servicio no tienen un ciclo de operación definido, pero deben ser confiables a modo de contar con ella en cualquier momento que sea necesario. Este tipo de grúas se usan en plantas generadoras, cuarto de turbinas, estación de transformadores o areás donde sea necesario manejar cargas de mucho valor y con precisión y a muy bajas velocidades y con tiempos muertos largo entre cada levantamiento.	≤150
SERVICIO LIVIANO	B	H2	M4	1Am	En esta clase de grúas el peso de las cargas por manejar puede variar desde cero hasta plena capacidad de forma ocasional. Entre 2 a 5 levantamientos por hora y una altura de levante promedio de tres metros. Este tipo de grúas se usa en talleres de reparación, ensambles, mecánicos, almacenes de baja capacidad o en todas aquellas instalaciones donde el servicio son ligeras y velocidades de operación son bajas.	≤180
SERVICIO MODERADO	C	H3	M5	2m	En este tipo de servicio la grúa deberá poder hacer de 5 a 10 levantamientos por hora, con una carga cuyo valor promedio sea del 50 % del rango de la capacidad real de la grúa y para una altura de levante promedio de cinco metros. El numero real de levantamientos por hora con cargas sea igual a la capacidad real de la grúa, no debera ser mayor del 50 % del numero de levantamientos especificados.	≤240
SERVICIO PESADO	D	H4	M6	3m	En este tipo de servicio se incluyen grúas normalmente oepradas desde la cabina y altas velocidades de operación. El numero de levantamiento por hora permitidos es de 10 a 20, con cargas de un valor aproximado al 50 % del rango de capacidad de la grúa, y una altura promedio de cinco metros. Se usa en instalaciones tales como: Taller de maquinaria pesada, fundiciones, almacenes de acero, aserraderos y para oeraciones normales con electroimán, en donde las necesidades de servicio para producción son pesadas pero en las cuales no existe un ciclo de operación especifico.	≤300
SERVICIO SEVERO	E	H5	M7	4m	En este tipo de servicio debeb especificarse siempre el ciclo de operación completo. El numero de levantamientos por hora es de 20 a mas, con cargas cuyo valor sea igual al de la capacidad de la grúa. Para esta clase de servicio se requieren grúas capaces de manejar cargas cuyo valor sea al próximo al de la capacidad de la grúa durante toda su vida útil. Las aplicaciones de este tipo de grúas incluyen servicio con electroimán, con almeja, servicio de patio de chatarras, molinos de aserraderos, plantas fertilizantes y ciertas áreas de plantas siderurgicas.	≤360
SERVICIO CONTINUO	F		M8	5m	Las grúas comprendidas dentro de esta clase de servicio deben ser capaces de manejar continuamente cargas cuyo valor sea igual al de la capacidad de la grúa, en condiciones de servicio muy severas durante toda su vida útil. Las grúas incluidad dentro de esta clase deben diseñarse y construirse para desarrollar trabajos específicos que normalmente afectan la producción normal de la planta. Estas grúas deben proporcionar la mas alta confiabilidad durante su vida útil y permitir las maximas facilidades para su mantenimiento.	≤400

Nota. Tomado de www.marss-int.cl

CAPITULO III

3. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS ACTUAL

3.1 DIAGNÓSTICO SITUACIONAL DE TALLER FLOTA LIVIANA

El área de talleres en mina actualmente conformado por:

- Taller de palas
- Taller Flota de camiones (Truck Shop)
- Taller de flota auxiliar
- Taller de equipo liviano
- Taller eléctrico de alta tensión

3.2 UBICACIÓN TALLER FLOTA LIVIANA

El taller de flota liviana se encuentra ubicado en la UM Antapaccay, en la provincia de Espinar del departamento de Cusco en el sur del Perú, localizado con las siguientes coordenadas:

- Latitud: 14°56'40.72"S
- Longitud: 71°22'45.03"O
- Altitud: 3996 msnm

La zona es frígida, con temperaturas que por lo general oscilan entre -4 °C. y 19 °C y una humedad relativa media promedio anual de 63%.

Figura 46

Ubicación de taller de flota liviana



Nota. Adaptado de Google Earth

Figura 47

Ubicación de taller de flota liviana en UM Antapaccay



Nota. Adaptado de Google Earth

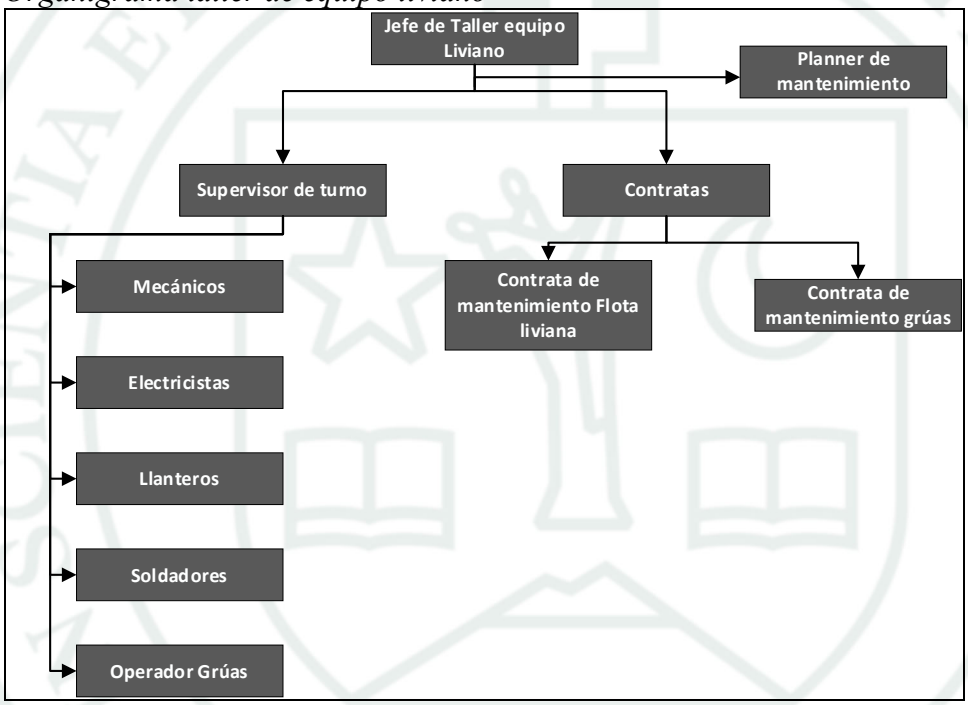
3.3 ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA

El organigrama del taller flota camiones está compuesto por personal de compañía UM Antapaccay así como como personal de contrata de mantenimiento de equipos de flota liviana y de mantenimiento Grúas, este último realizado por personal calificado en trabajo de altura. En cuanto a los operadores de gura son personas de contrata y compañía entrenados, calificados y habilitados para la operación de grúas.

Todo trabajo en altura es considerado como actividad de alto riesgo por la compañía debido a las implicancias en cuanto a seguridad del personal.

Figura 48

Organigrama taller de equipo liviano



Nota. Elaboración propia

3.4 CONTEXTO OPERACIONAL DEL EQUIPO

El equipo de levante puente grúa de 10 toneladas del taller de equipo liviano, ubicado en la zona sur del Perú, específicamente en la UM Antapaccay. Dicho equipo es usado para transportar cargas de hasta de 10 toneladas.

- En el movimiento de elevación se tienen dos velocidades (Velocidad lenta de 1 m/min y velocidad rápida 6 m/min), teniendo un límite inferior de 0.3 m y superior de 15 m a nivel de piso (antes de llegar al límite de corte superior o inferior se tiene un límite de velocidad de rápida a lenta a unos 15 cm del límite de corte), además de tener un límite de máxima seguridad a 10 cm encima del límite superior esto en caso de fallar el límite superior esto para evitar la rotura imprevista del cable. El Arranque

y parada se realiza a velocidad en lenta el cual lo realiza el dispositivo de control de elevación esto para evitar un severo desgaste prematuro en el conjunto de freno de elevación.

- El movimiento de traslación longitudinal de puente grúa (traslación puente) tiene dos velocidades (Velocidad lenta de 5 m/min y velocidad rápida 30 m/min) en un recorrido de 30 m, con una velocidad y aceleración de frenado de 0.25 m/s² configuración tipo rampa configurable por el variador de frecuencia, se tiene además un límite de velocidad de rápida a lenta a unos 15 cm del límite de corte.
- El movimiento de traslación carro (traslación transversal puente) tiene dos velocidades (Velocidad lenta de 5 m/min y velocidad rápida 20 m/min) con una luz de 30 m, con una velocidad y aceleración de frenado de 0.25 m/s² configuración tipo rampa configurable por el variador de frecuencia, se tiene además un límite de velocidad de rápida a lenta a unos 15 cm del límite de corte.

Figura 49

Puente Grúa de 10 toneladas de taller de equipo liviano



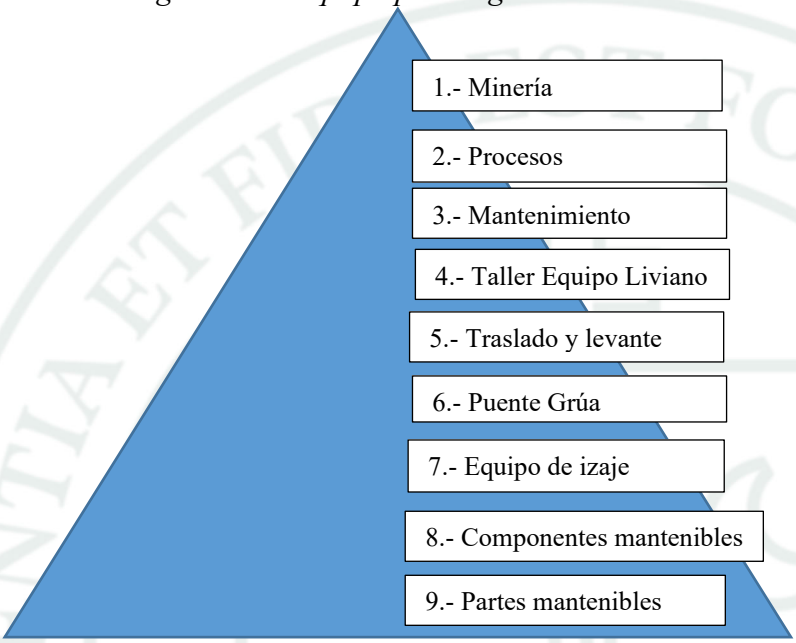
Nota. Elaboración propia

3.5 TAXONOMÍA DEL ACTIVO

Antes de realizar el análisis RCM para el equipo en mención de 10 toneladas, es recomendable realizar la taxonomía del equipo para este caso la norma ISO 14424 es de gran ayudada, por lo cual la taxonomía del equipo se muestra en la siguiente figura.

Figura 50

Taxonomía general de equipo puente grúa de 10 toneladas del taller equipo liviano



Nota. Elaboración propia

3.6 DATOS DEL EQUIPO PUENTE GRÚA

El equipo tiene las siguientes características generales del puente grúa se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1

Principales datos de puente grúa de 10 toneladas de taller equipo liviano

Parámetro	Especificación
TAG	**330-PT-001**
Marca	**KONECRANES**
Clase de Servicio	**M6**
Capacidad	**10 t**
Número de serie de la grúa	**A7881669**
Tipo de polipasto (CXT, SM, LV, SMT)	**CXT**
Nº de serie del polipasto	**HKY79954**
Altura de elevación	**15 m**
Tensión de alimentación	**Trifásica, 480 V AC, 60 Hz**
Tensión de mando	**Monofásica 110 V AC, 60 Hz**
Velocidad de elevación (rápida)	**6 m/min**
Velocidad de elevación (lenta)	**1 m/min**
Velocidad traslación puente (rápida)	**30 m/min**
Velocidad traslación puente (lenta)	**5 m/min**
Velocidad traslación carro (rápida)	**20 m/min**
Velocidad traslación carro (lenta)	**5 m/min**
Diámetro de cable de acero	**15 mm**
Longitud cable acero	**120 m**

Nota. Elaboración propia

CAPITULO IV

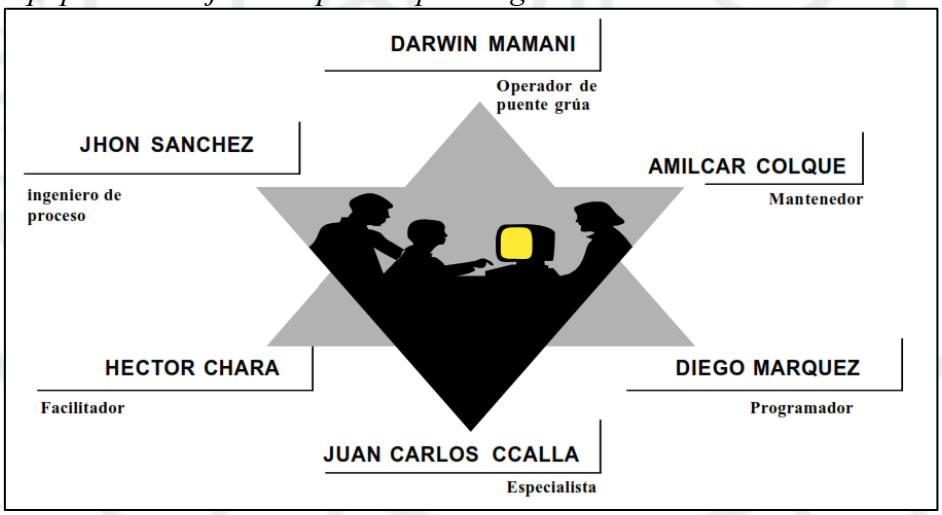
4. DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM)

4.1 FORMACIÓN DEL EQUIPO NATURAL DE TRABAJO

Para la formación del equipo de trabajo de para el diseño de plan de mantenimiento basado en RCM involucro a 6 áreas.

Figura 51

Equipo de trabajo RCM para el puente grúa 10 toneladas



Nota. Elaboración propia

4.2 DEFINICIÓN DEL PROPÓSITO DEL ACTIVO

4.2.1 Propósito del activo

El activo cumple la siguiente función de elevar, transportar y depositar cargas una carga de hasta de 10 toneladas en taller de equipo liviano.

4.2.2 Variables importantes del proceso

- Velocidad de elevación (rápida): 6 m/min (Eje Z)
- Velocidad de elevación (lenta): 1 m/min (Eje Z)
- Velocidad de traslación carro (rápida): 20 m/min (Este–Oeste / Eje Y)
- Velocidad de traslación carro (lenta): 5 m/min (Este–Oeste / Eje Y)
- Velocidad de traslación puente (rápida): 30 m/min (Norte–Sur / Eje X)
- Velocidad de traslación puente (lenta): 5 m/min (Norte–Sur / Eje X)
- Fuente de alimentación Principal: Trifásica, 480 V CA, 60 Hz
- Fuente de alimentación de control: Monofásica 110 V CA, 60 Hz
- Altura de levante: 15 m (Eje Z)
- Recorrido longitudinal: 30 m (Eje X)
- Recorrido transversal (luz): 10 m (Eje Y)

4.3 DIAGRAMA DE BLOQUES Y SUBSISTEMAS PRINCIPALES

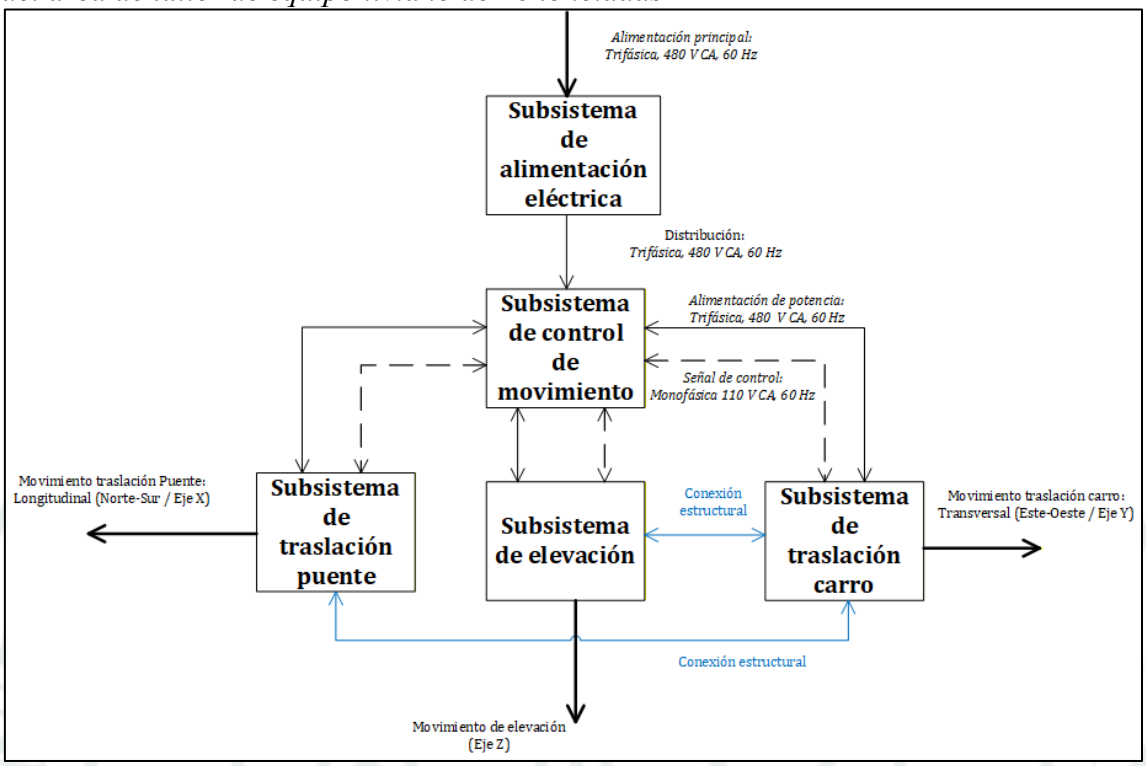
Se planteó para el diagrama de bloques del equipo puente grúa de 10 toneladas del área del taller de equipo liviano, por 5 subsistemas las cuales son:

- Subsistema de alimentación eléctrica
- Subsistema de control de movimiento
- Subsistema de traslación puente.
- Subsistema de traslación carro.
- Subsistema de elevación.

En cada uno de estos Subsistemas se consideran para la estimación para el plan de mantenimiento a nivel de ítems mantenibles.

Figura 52

Diagrama de bloques de entrada-salida y subsistemas principales del equipo puente grúa del área de taller de equipo liviano de 10 toneladas



Nota. Elaboración propia

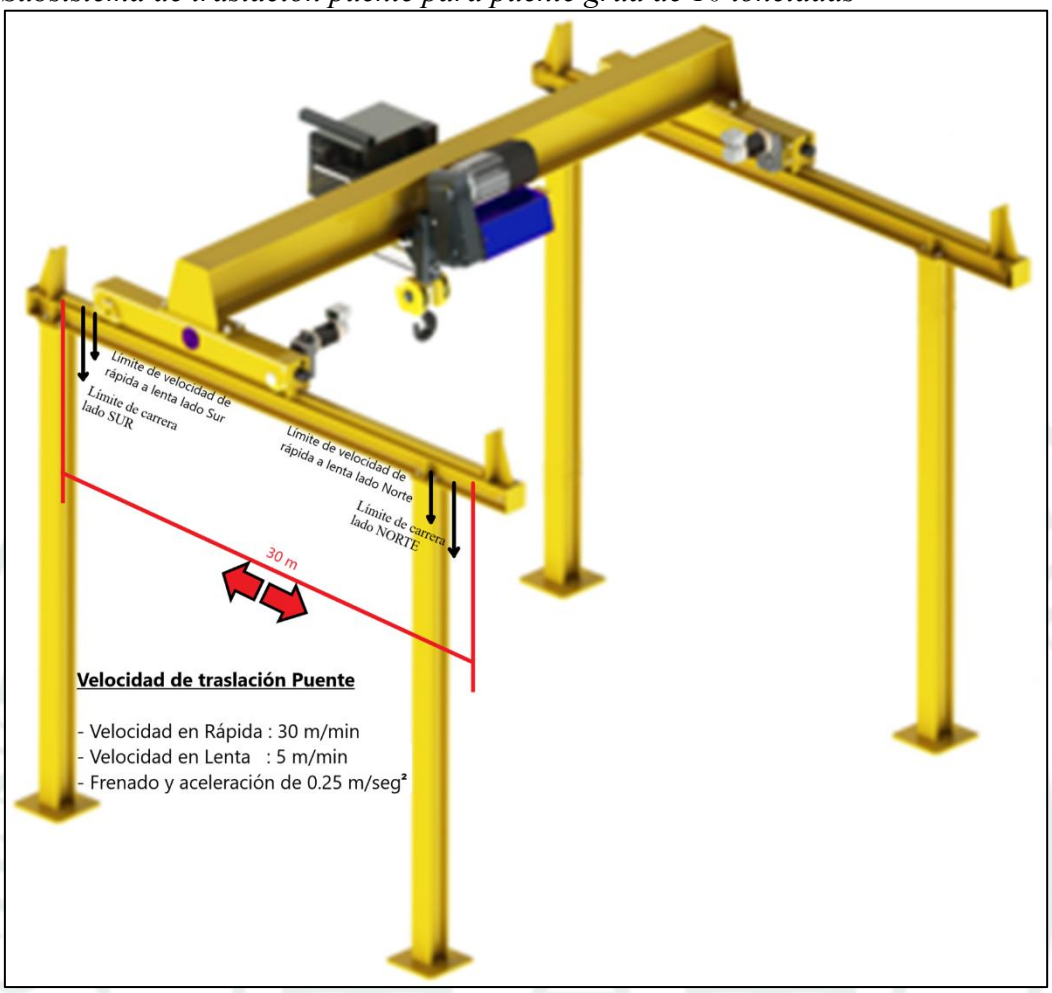
4.3.1 Subsistema de traslación puente

El Subsistema de traslación puentes se consideró la siguiente función:

Desplazar puente grúa en velocidad de rápida a 30 m/min y de velocidad lenta a 5 m/min con una aceleración y frenado de 0.25 m/s² en un recorrido longitudinal de 30 m.

Figura 53

Subsistema de traslación puente para puente grúa de 10 toneladas



Nota. Elaboración propia

Para el sistema de traslación puente se consideró por los siguientes componentes principales.

- Gabinete de traslación puente.
- Contactor de traslación puente.
- Testeros.
- Moto-reductor de testeros.
- Ruedas de carrileras.
- Variador de velocidad o variador de frecuencia.
- Viga carrilera.
- Limite carrera tipo cruceta y actuador de traslación puente.
- Topes y bumpers.

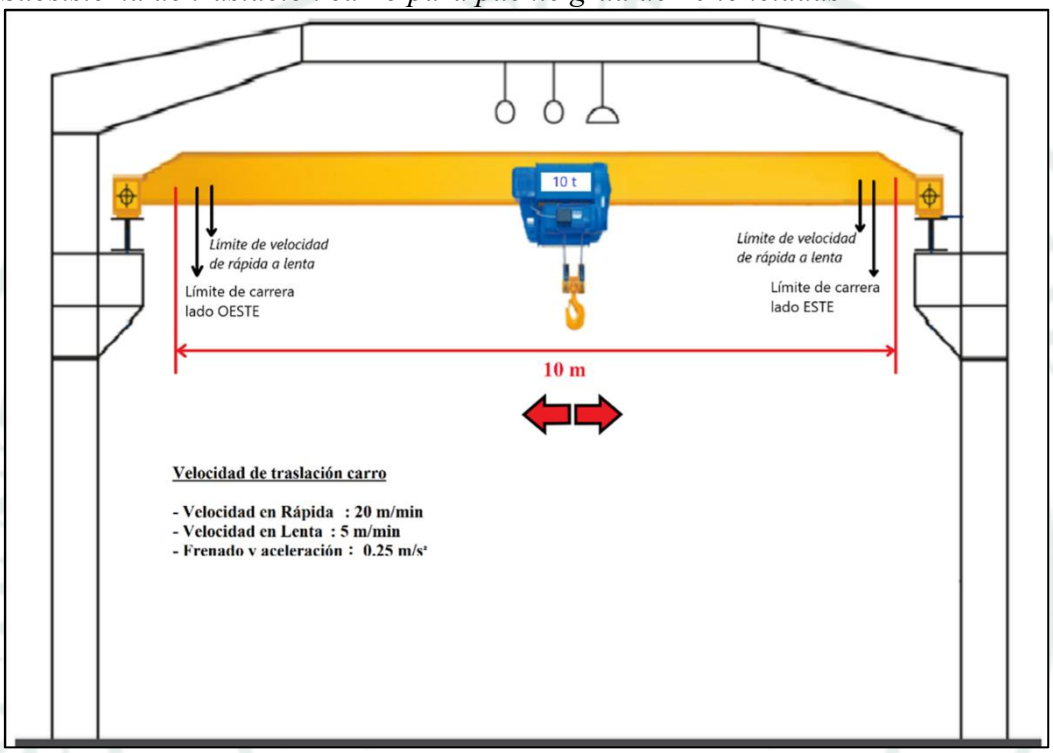
4.3.2 Subsistema de traslación carro

El Subsistema de elevación se consideró la siguiente función:

Desplazar carro en velocidad rápida de 20 m/min y lenta de 5 m/min, a un frenado y aceleración de 0.25 m/s² en un recorrido transversal de 10 m.

Figura 54

Subsistema de traslación carro para puente grúa de 10 toneladas



Nota. Elaboración propia

Para el sistema de traslación carro se consideró por los siguientes componentes principales.

- Gabinete de traslación carro.
- Contactor de traslación carro.
- Moto-reductor.
- Ruedas.
- Variador de velocidad o variador de frecuencia.
- Viga principal.
- Límite de carrera tipo cruceta y actuador de traslación carro.
- Topes y bumpers.

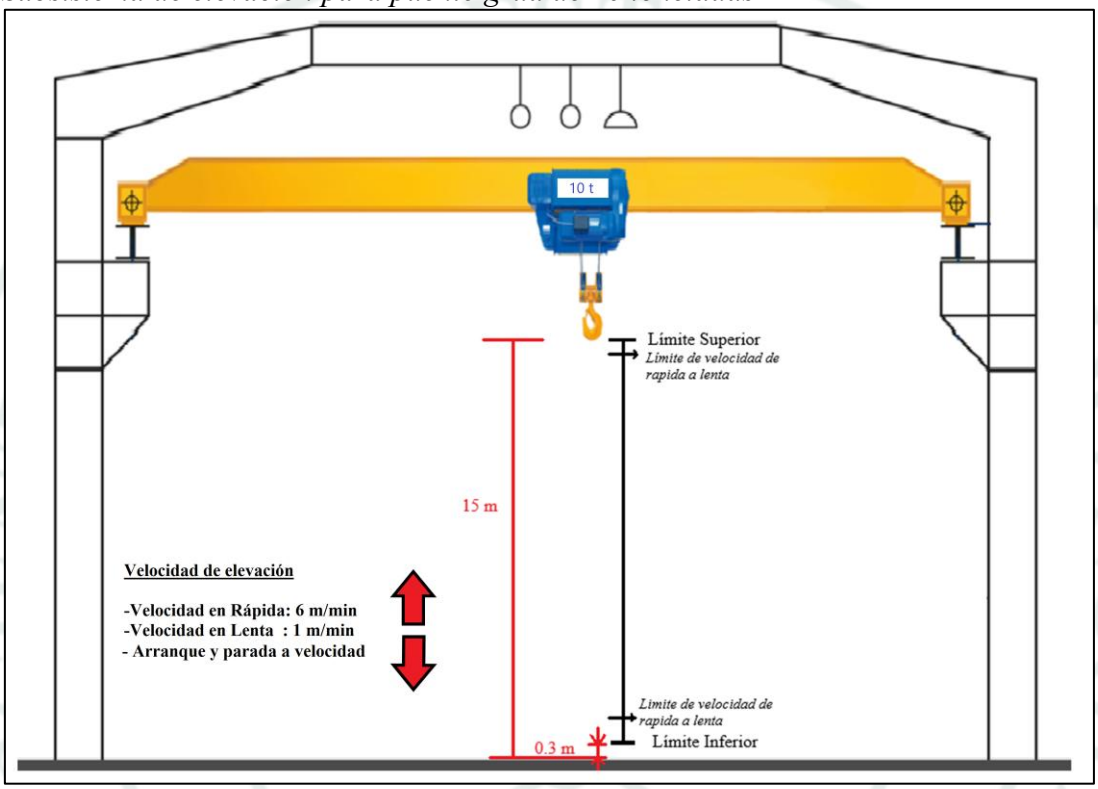
4.3.3 Subsistema de elevación

El Subsistema de elevación se consideró la siguiente función:

Elevar carga de hasta 10 toneladas a una velocidad en rápida de 6 m/min y lenta a 1 m/min, con un límite de altura inferior de 0.3 m y superior de 15 m con arranque y parada en velocidad lenta.

Figura 55

Subsistema de elevación para puente grúa de 10 toneladas



Nota. Elaboración propia

El arranque a velocidad lenta protege al equipo de sobrecalentamiento del motor, debido a que en velocidad rápida en arranque produce una alta corriente, el mecanismo de arranque en velocidad en lenta es en un breve periodo de tiempo, después del cual la velocidad en rápida estará habilitada.

El arranque en velocidad lenta después de una detención del movimiento de elevación sirve para proteger el freno de un desgaste prematuro del freno, el mecanismo de elevación solo arranca en un breve tiempo para antes que cierre el freno.

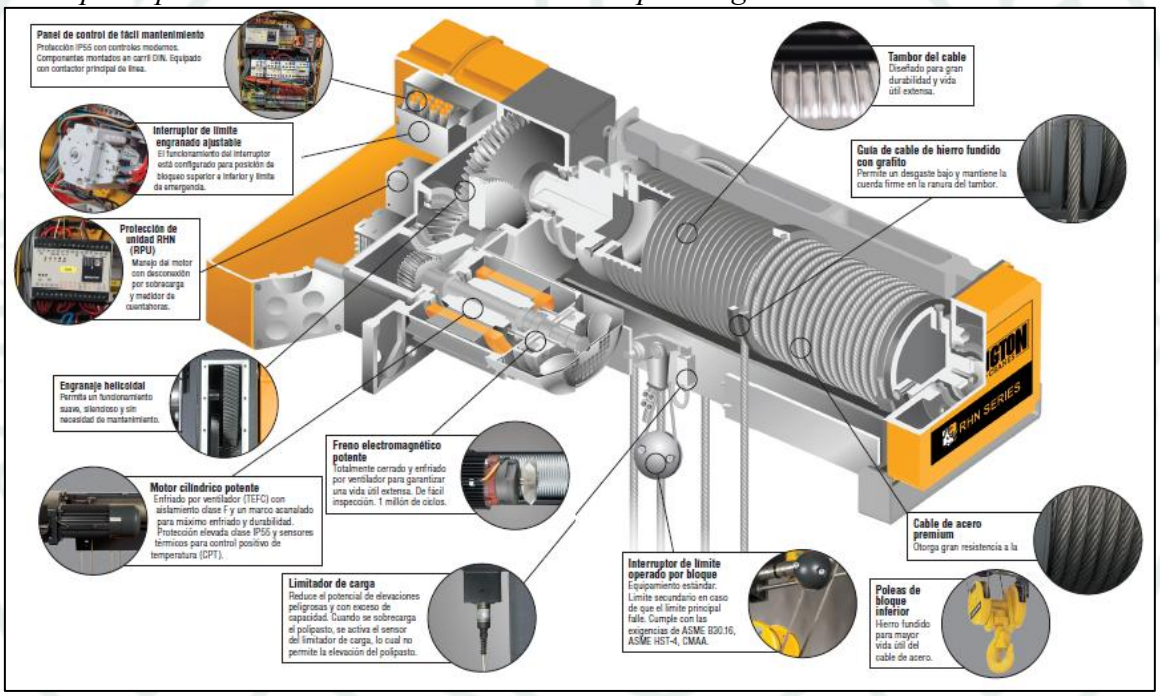
Para entender el funcionamiento del subsistema de elevación se consideró muestra los siguientes componentes principales.

- Gabinete de movimiento de elevación.
- Contactor de movimiento de elevación.
- Control de carga.

- Moto-reductor.
- Tambor y grapas de sujeción.
- Cable.
- Guía cable.
- Barras guiadoras.
- Conjunto poleas.
- Pasteca.
- Límite de elevación tipo rotary.
- Limite máxima elevación.

Figura 56

Principales partes de subsistema de elevación de puente grúa 10 toneladas



Nota. Tomado de Manual de Harringtong

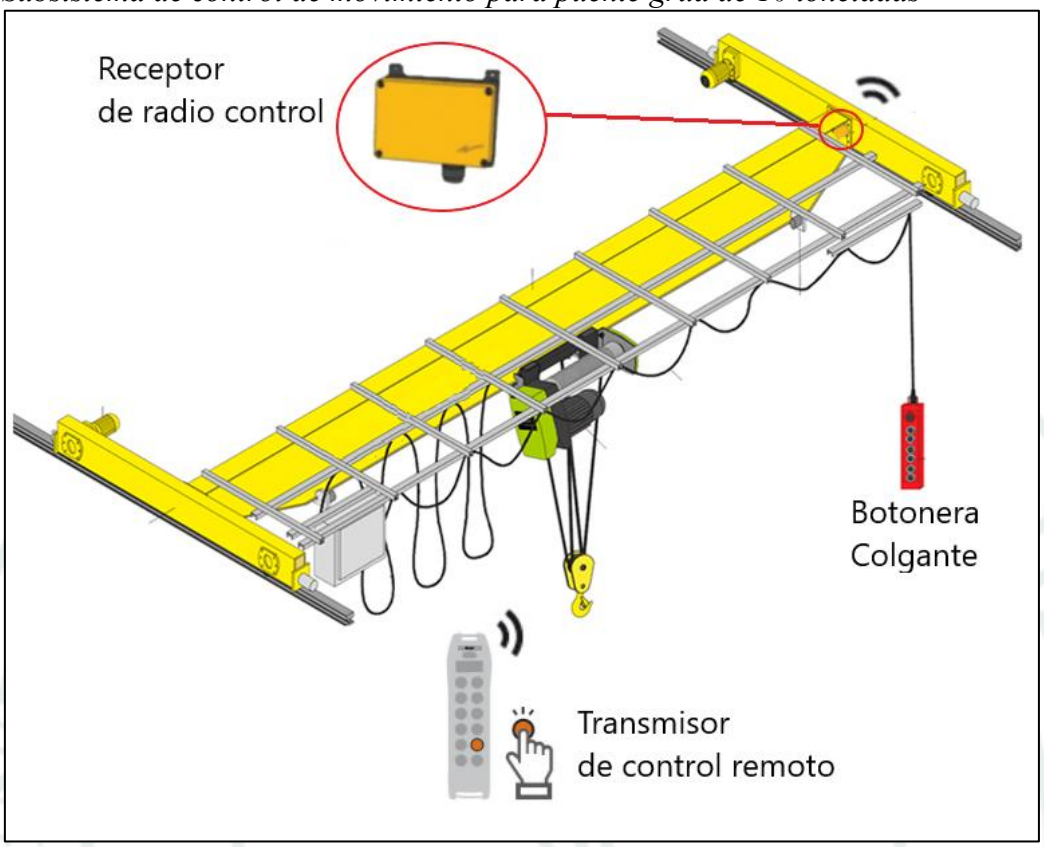
4.3.4 Subsistema de control de movimiento

El Subsistema de elevación se consideró la siguiente función:

Controlar movimientos de elevación, traslación puente y carro según el accionamiento del operador en el rango de trabajo del puente grúa.

Figura 57

Subsistema de control de movimiento para puente grúa de 10 toneladas



Nota. Adaptado de Manual de Harringtong

- Gabinete principal de puente grúa.
- Contactor principal de puente grúa.
- Transformador de 480 V CA a 120 V CA.
- Botonera colgante.
- Radio control emisor/receptor.
- Fusibles de protección.
- Sirena/baliza de estar.
- Sirena/baliza de movimiento de traslación.

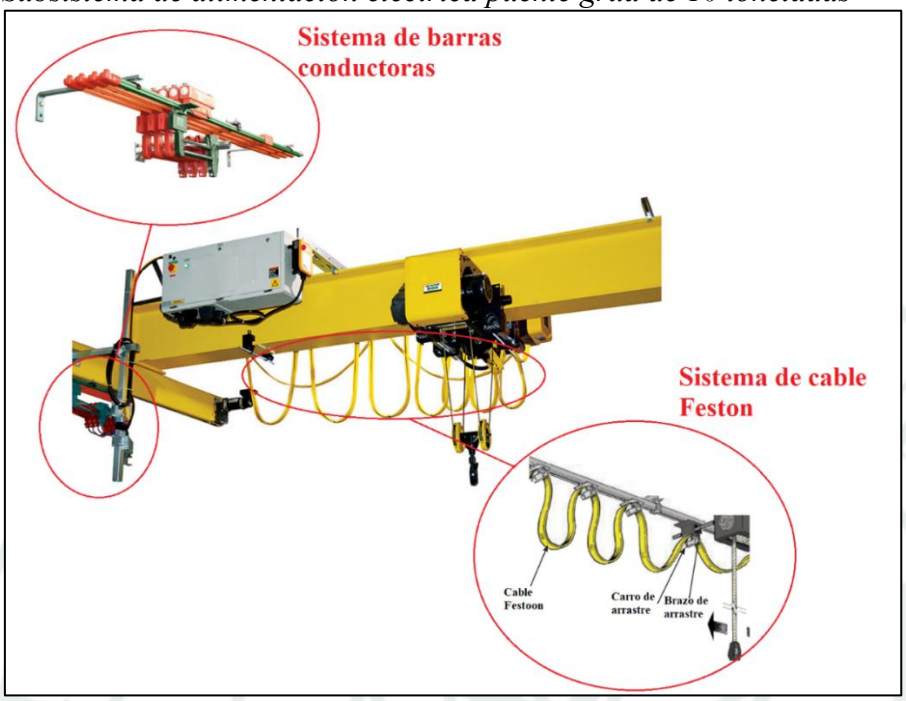
4.3.5 Subsistema de alimentación eléctrica

El Subsistema de elevación se consideró la siguiente función:

Suministrar energía eléctrica deslizante de 480 V CA

Figura 58

Subsistema de alimentación eléctrica puente grúa de 10 toneladas



Nota. Adaptado de Manual de Harringtong

Para el sistema de alimentación se consideró los siguientes componentes principales:

- Interruptor general.
- Barras de alimentación.
- Carros colectores de barras de alimentación.
- Conector rápido entre barras de alimentación y tablero general de puente grúa.
- Sistema festón.

4.4 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLOS (FMEA)

Para poder desarrollar el Análisis de modos de y efectos (FMEA) y así poder responder adecuadamente las primeras 4 primeras del RCM mencionado por Moubray (2004), las cuales son:

1. ¿Cuáles son las funciones deseadas y los estándares de desempeño asociados del activo en su contexto operacional presente (funciones)?

2. ¿De qué maneras puede fallar al cumplir sus funciones (fallas funcionales)?

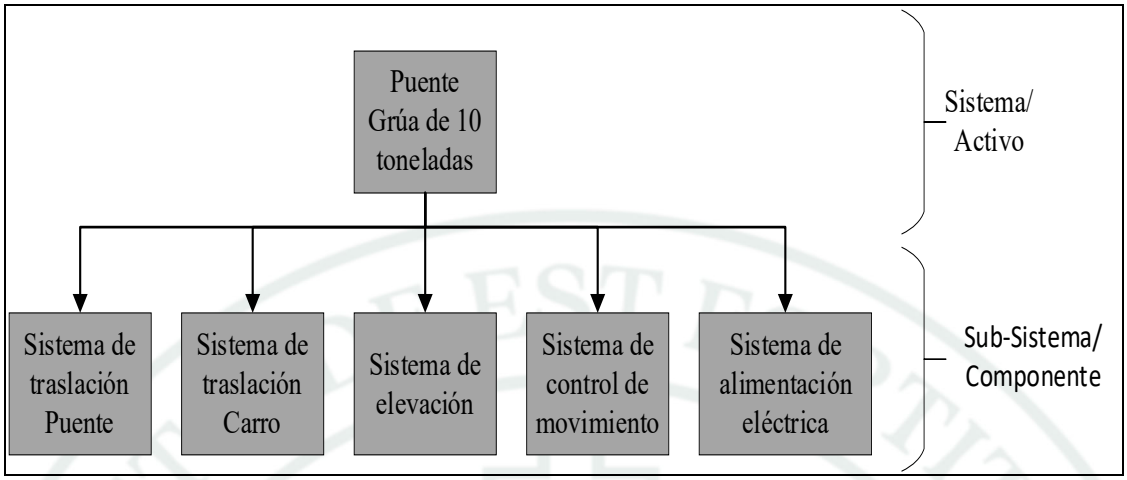
3. ¿Qué causa cada falla funcional (modos de falla)?

4. ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional (efectos de falla)?

Se hace uso de la herramienta de la hoja de información RCM de para los 5 subsistemas considerados para el puente grúa de 10 toneladas.

Figura 59

Subsistemas a analizar con el FMEA



Nota. Elaboración propia

Para nuestro caso tal como se mencionó se ha divido en 5 Sub-Sistemas, en las cuales se realizará el análisis de modos y efectos de fallos (Failure Mode and Effect Analysis - FMEA), en cada uno de estos subsistemas es desarrolladas en las siguientes tablas que se muestran a continuación.

El AMFE para el subsistema traslación puente se muestra en la siguiente figura.

Figura 60

Hoja de información RCM (FMEA) para subsistema traslación puente

HOJA DE INFORMACIÓN PUENTE GRÚA								
Nombre de la Planta: **Taller equipo liviano**	Sistema/Activo: **Puente Grúa de 10 toneladas**			Sistema N°: **01**	Facilitador: **Hector Chara**	Fecha: **21/05/21**	Hoja N° **1**	
	Sub-Sistema/Componente: **Sistema de traslación Puente**			Subsistema N°: **01- 01**	Auditor: **Gonzalo Rivera**	Fecha: **21/06/21**	De **5**	
Función		**Falla Funcional**		**Modo de Falla**		**Efecto de la Falla**		
1	Desplazar puente grúa en velocidad de rápida a 30 m/min y de velocidad lenta a 5 m/min con una aceleración y frenado de 0.25 m/s² en un recorrido longitudinal de 30 m.	A	Incapaz de desplazar puente	1	Fallo de variador de frecuencia por contaminación de polución	Dejar de energizar motores de traslación puente por quemadura de inversor (Salida de IGBTs), Tiempo de parada de maquina 1 semana.		
				2	Motor eléctrico de testero aterrado	Falla de bloqueo de variador de frecuencia por detección de motores aterrados. Tiempo de reparación de 2 semanas.		
				3	Rodamiento de motor-reductor de testero atascado	Atascamiento de reductor traslación puente, inmovilizando movimiento de traslación puente, por bloqueo por aumento de consumo de corriente. Tiempo de parada de máquina para reparar hasta 5 semanas.		
				4	Disparo de control de balanceo de carga por error de	Dejar energizar motores de testero Tiempo de reparación 1 día		
				5	Motor eléctrico de testero quemado	Dejar girar motor reductor, saltando protecciones de guardamotor por sobrecorriente inmovilizando movimiento de traslación puente. Tiempo de para de maquina para reparar hasta 5 semanas.		
				6	Bobina de freno de motor testero pegada	Dejar de girar motor, saltando protecciones de guardamotor por sobrecorriente inmovilizando movimiento de traslación puente. Tiempo de parada de maquina para reparar hasta 3 días.		
				7	Chaveteros de reductores gastados	Dejar de transmitir fuerza mecánica en reductores en uno o ambos motores, pudiendo causado movimiento errático o ningún movimiento en puente grúa. Tiempo para reparar de 2 semanas.		
				8	Ruedas de testero trabada por falta de lubricación	Rodamiento de testero por trabada, pudiendo ocasionar que puente se desalinee. Tiempo de parada de maquina de hasta 3 semanas.		
				9	Conexiones eléctricas sueltas	Dejar de enviar señal eléctrica, falso contacto en conexiones. Tiempo de reparación de 3 días.		
				10	Falla en límite de carrera de translación puente por	Señal errónea en variador de frecuencia. Tiempo de parada de maquina para reparar hasta 5 días.		
		B	Intermitencia en movimiento traslación puente	1	Resistor de frenado de variador de frecuencia quemada	Dejar de energizar por momentos al momento de realizar maniobras de movimiento puente, dependiendo del estado es posible que se quiera apagar todo el equipo para el reseteo de falla. Requiere reinicio del puente grúa, el tiempo de reparación es de 1 día.		
				2	Deterioro de variador de frecuencia	Intermitencia de múltiples fallas, bloqueo por momentos según registro de fallas. Tiempo de parada 3 días.		
				3	Sobrecalentamiento de motores por falta de ventilación	Fallo por bloqueo de variador de frecuencia por detección de sobrecalentamiento en termistores de motores. Tiempo de reparación 1 semanas.		
				4	Falla en termistor de motores de testeros	Dejar de energizar motores de testeros por bloqueo de variador de frecuencia por conexión de termistor mal calibrados. Tiempo de reparación 4 días.		
				5	Geometría incorrecta de recorrido de puente grúa	Intermitencia de traslación puente, desgaste prematuro de ruedas y carriles, falla de componentes estructurales y averías en transmisión.		
		C	Recorrido longitudinal diferente de 30 metros	1	Límite de carrera deteriorada	Envió errática de señal a variador de frecuencia, causando movimiento en un solo sentido, además puede causar choque brusco en los bumpers. Tiempo de parada de 2 días.		
				2	Accionador de límite de carrera deteriorado	No activar límite de carrera, envió de señal errática en variador de frecuencia, movimiento en un solo sentido puede causar choque brusco de en los bumpers. Tiempo de reparación de 2 días.		
				3	Accionador de límite de carrera mal posicionada	Detención brusca por choque con bumpers. Tiempo de reparación de 1 día.		
				4	Bobina de freno electromagnéticas deterioradas	Inexistencia de frenado en el recorrido de traslación puente, choque busco con bumpers por inercia de movimiento puente grúa. Tiempo de reparación de 4 días.		
		D	Movimiento de traslación puente es menor o mayor en rápida de 30 m/min y en rápida de 5 m/min	1	Programación de variador de frecuencia alterada	Dejar de controlar motor adecuadamente. Tiempo de parada de 2 días		
				2	Lubricación inadecuada de ruedas de testeros	Aumento de ligero corriente de consumo en motores, reducción de velocidad en movimiento de puente grúa, podría afectar a atascamiento de rodamientos. tiempo para reparar de 1 semana.		
				3	Deterioro de motor reductor	Aumento de ligero corriente de consumo en motores, reducción de velocidad en movimiento de puente grúa, podría afectar presentar atascamiento de rodamientos de motor reductor. Tiempo para reparar de 1 semana.		
		E	Frenado de desaceleración traslación puente mayor o menor a 0.25 m/s²	1	Programación de variador de frecuencia alterada	Aceleración y/o desaceleración brusca, con probabilidad de producir basculamiento de carga, afectando deterioro en el sistema de carga (guía de cable de acero). Tiempo de parada de hasta 1 semana.		
				2	Ajuste inadecuado en freno de motores de testeros	Recorrido inadecuado en movimiento detención de traslación puente. Tiempo de reparación de 2 días.		
				3	Rodadura de traslación puente contaminada	Reducción de velocidad arranque y parada de traslación puente, ligero aumento de corriente en motores de traslación puente. Tiempo para reparar de 3 días.		
				4	Freno de motor de testeros gastada	Recorrido inadecuado en movimiento detención de traslación puente. Tiempo de reparación de 2 días.		
				5	Plato presor de freno deteriorada	Desgaste prematuro de frenos, inadecuada detención de puente grúa. Tiempo de reparación de 2 días.		

Nota. Elaboración propia

El AMFE para el subsistema traslación carro se muestra en la siguiente figura.

Figura 61

Hoja de información RCM (FMEA) para subsistema traslación carro

HOJA DE INFORMACIÓN PUENTE GRÚA									
Nombre de la Planta: **Taller equipo liviano**		Sistema/Activo: **Puente Grúa de 10 toneladas**			Sistema N°: **01**	Facilitador: **Hector Chara**	Fecha: **21/05/21**	Hoja N° **2**	
		Sub-Sistema/Componente: **Sistema de traslación Carro**			Subsistema N°: **01- 02**	Auditor: **Gonzalo Rivera**	Fecha: **21/06/21**	De **5**	
Función		**Falla Funcional**		**Modo de Falla**		**Efecto de la Falla**			
2	Desplazar carro en velocidad rápida de 20 m/min y lenta de 5 m/min, a un frenado y aceleración de 0.25 m/s² en un recorrido transversal de 10 m.	A	Incapaz de desplazar carro	1	Fallo de variador de frecuencia por contaminación de polución	Dejar de energizar motores de traslación carro por quemadura de inversor (Salida de IGBTs), Tiempo de parada de maquina 1 semana.			
				2	Motor eléctrico de traslación aterrado	Falla de bloqueo de variador de frecuencia por detección de motores aterrados. Tiempo de reparación de 2 semanas.			
				3	Reductor traslación carro atascado	Atascamiento de reductor traslación carro, inmovilizando movimiento de traslación carro, por bloqueo por aumento de consumo de corriente. Tiempo de parada de máquina para reparar hasta 2 semanas.			
				4	Disparo de control de balanceo por error de operación	Bloque por variador de frecuencia, dejar energizar motores de traslación carro. Tiempo de reparación 1 días.			
				5	Motor eléctrico de traslación carro quemado	Dejar girar motor reductor, saltando protecciones de guardamotor por sobrecorriente inmovilizando movimiento de traslación carro. Tiempo de para de maquina para reparar hasta 5 semanas.			
				6	Bobina de freno de motor traslación carro pegado	Dejar de girar motor, saltando protecciones de guardamotor por sobrecorriente inmovilizando movimiento de traslación carro. Tiempo de parada de maquina para reparar hasta 3 días.			
				7	Chaveteros de reductores gastados	Dejar de transmitir fuerza mecánica en reductores en uno o ambos motores de traslación carro, pudiendo causado movimiento errático o ningún movimiento de traslación carro. Tiempo para reparar de 2 semanas.			
				8	Ruedas de motor de traslación carro trabada por falta de lubricación	Rodamiento de motor traslación carro trabada, movimiento queda bloqueado en traslación carro. Tiempo de parada de máquina de hasta 2 semanas.			
				9	Conexiones eléctricas sueltas	Dejar de enviar señal eléctrica, falso contacto en conexiones. Tiempo de reparación de 3 días.			
				10	Falla en límite de carrera de translación carro por deterioro	Señal errónea en variador de frecuencia. Tiempo de parada de maquina para reparar hasta 5 días.			
		B	Intermitencia en movimiento traslación carro	1	Resistor de frenado de variador de frecuencia averiado o roto	Dejar de energizar por momentos al momento de realizar maniobras de movimiento traslación carro, dependiendo del estado es posible que se quiera apagar todo el equipo para el reseteo de falla. Tiempo de parada 2 días.			
				2	Deterioro de variador de frecuencia	Intermitencia de múltiples fallas, bloqueo por momentos según registro de fallas. Tiempo de parada 3 días.			
				3	Sobrecalentamiento de motores por falta de ventilación	Fallo por bloqueo de variador de frecuencia por detección de sobrecalentamiento en termistores de motores. Tiempo de reparación 1 semanas.			
				4	Falla en termistor de motores de testeros	Dejar de energizar motores de testeros por bloqueo de variador de frecuencia por conexión de termistor mal calibrados. Tiempo de reparación 4 días.			
		C	Luz (recorrido traslación carro) diferente de 10 metros	1	Límite de carrera deteriorada	Envió errática de señal a variador de frecuencia, causando movimiento en un solo sentido, además puede causar choque brusco en los bumpers. Tiempo de parada de 3 días.			
				2	Accionador de límite de carrera deteriorado	No activar límite de carrera, envió de señal errática en variador de frecuencia, movimiento en un solo sentido puede causar choque brusco de en los bumpers. Tiempo de reparación de 3 días.			
				3	Accionador de límite de carrera mal posicionada	Detención brusca por choque con bumpers. Tiempo de reparación de 1 día.			
				4	Bobina de freno electromagnéticas deterioradas	Inexistencia de frenado en el recorrido de traslación carro, choque busco con bumpers por inercia de movimiento de carro. Tiempo de reparación de 4 días.			
		D	Movimiento de traslación carro es menor o mayor en rápida de 20 m/min y en rápida de 5 m/min	1	Programación de variador de frecuencia alterada	Dejar de controlar motor adecuadamente. Tiempo de parada de 2 días			
				2	Obstrucción en rodadura de traslación carro	Obstrucción de rodadura de traslación carro por falta de lubricación y/o limpieza. Tiempo de para reparar hasta 3 días.			
				3	Deterioro de motor reductor	Aumento de ligero corriente de consumo en motores, reducción de velocidad en movimiento de puente grúa, podría afectar presentar atascamiento de rodamientos de motor reductor. Tiempo para reparar de 1 semana.			
		E	Frenado de desaceleración traslación carro mayor o menor a 0.25 m/s²	1	Programación de variador de frecuencia alterada	Aceleración y/o desaceleración brusca, con probabilidad de producir basculamiento de carga, afectando deterioro en el sistema de carga (guía de cable de acero). Tiempo de parada de hasta 1 semana.			
				2	Ajuste inadecuado en freno de motores de traslación carro	Recorrido inadecuado en movimiento detención de traslación carro. Tiempo de reparación de 2 días.			
				3	Riel con contaminación	Reducción de velocidad arranque y parada de traslación carro, ligero aumento de corriente en motores de traslación carro. Tiempo para reparar de 3 días.			
				4	Freno de motor de traslación carro	Recorrido inadecuado en movimiento detención de traslación carro. Tiempo de reparación de 2 días.			
				5	Plato presor de freno deteriorada	Desgaste prematuro de frenos, inadecuada detención de movimiento traslación carro. Tiempo de reparación de 2 días.			

Nota. Elaboración propia

El AMFE para el subsistema traslación elevación se muestra en la siguiente figura.

Figura 62

Hoja de información RCM (FMEA) para subsistema elevación

HOJA DE INFORMACIÓN PUENTE GRÚA								
Nombre de la Planta:	Sistema/Activo:		Sistema N°:	Facilitador:	Fecha:	Hoja N°		
Taller equipo liviano	**Puente Grúa de 10 toneladas**		**01**	**Hector Chara**	**21/05/21**	**3**		
	Sub-Sistema/Componente:		Subsistema N°:	Auditor:	Fecha:	De		
	Sistema de elevación		**01- 03**	**Gonzalo Rivera**	**21/06/21**	**5**		
Función		**Falla Funcional**		**Modo de Falla**			**Efecto de la Falla**	
3	Elevar carga de hasta 10 toneladas a una velocidad en rápida de 6 m/min y lenta a 1 m/min, con un límite de altura inferior de 0.3 m y superior de 15 m con arranque y parada en velocidad lenta.	A	Dejar de elevar carga	1	Enrollado de cable de acero en tambor por izaje en diagonal		Dobladura de cable de acero, daños en ranuras de tambor, guía cable de acero estropeada, posible rotura de cable de acero según la operación del equipo. Tiempo de reparación de 3 semanas.	
				2	Rotura de cable de acero por deformación en ranuras de		Desgaste prematuro y deterioro prematuro de cable de acero, con posible rotura y caída de carga. Tiempo de reparación de 1 semana.	
				3	Conexiones eléctricas sueltas		Dejar señal eléctrica, falso contacto en conexiones, bloqueo de movimiento de izaje por dispositivo de control de elevación. Tiempo de reparación de 3 días.	
				4	Hilos rotos en tramos de cable de acero		Rotura de cable de acero por fatiga. Tiempo de reparación de 1 semana.	
				5	Deterioro interno de cable de acero		Roturas internas de hilos de cable acero, fatiga pronuncia no prevista visualmente, posible caída de cable de acero. Tiempo de reparación de 1 semana.	
				6	Dobladura de cable de acero		Daño en tambor de carga, enrollamiento inadecuado en poleas y sistema de carga, dejar de izar carga. Tiempo de reparación de 1 semana.	
				7	Dobladura de cable de acero por contaminación en sistema		Dejar de izar carga, guía cable de acero estropeada, posible rotura de cable de acero. Tiempo de reparación de 1 semana.	
				8	Dobladura de por falta de lubricación en sistema de carga		Dejar de izar carga, guía cable de acero estropeada, desgaste prematuro y posible rotura de cable de acero. Tiempo de reparación de 1 semana.	
				9	Desconexión de la carga por deterioro de pasador de seguridad		Caer carga impresamente según la operación de puente grúa, puede afectar a que se desalinee puente grúa. Tiempo de reparación de 1 semana.	
				10	Deformación de gancho		Rotura de gancho por fatiga de uso, puede caer imprevistamente carga, afectar a que se desalinee puente grúa. Tiempo de reparación de 1 semana.	
				11	Polea de conjunto bloque trabada por falta de lubricación		Enrollamiento de cable de acero en poleas de conjunto bloque, posible rotura de cable según operación de equipo de izaje. Tiempo para reparar de 1 semana.	
				12	Conjunto bloque deteriorado		Rotura de por fatiga de conjunto bloque. Tiempo de reparación de 1 semana.	
				13	Deficiente ajuste de seguro de gancho de carga		Soltura de cable de acero en sistema de carga. Tiempo de reparación 1 semana.	
				14	Soltura de seguro de punto fijo de anclaje		Soltura de cable de acero de, dejar de izar carga. Tiempo de reparación de 1 semana.	
				15	Inadecuando enrollamiento de cable de acero		Soltura de cable de acero, caída de carga según operación. Tiempo de reparación de 1 semana.	
				16	Falla de límite de máxima seguridad		Rotura de cable de acero por desgarre entre tambor de carga y conjunto bloque.	
				17	Motor eléctrico de movimiento izaje quemado		Dejar girar motor reductor, saltando protecciones de guardamotor por sobre corriente inmovilizando movimiento de elevación. Tiempo de para de máquina para reparar hasta 5 semanas.	
				18	Bobina de freno de movimiento izaje pegada		Dejar de girar motor, saltando protecciones de guardamotor por sobrecorriente inmovilizando movimiento de traslación puente. Movimiento queda limitado por traslación carro e izaje. Tiempo de parada de maquina para reparar hasta 3 días.	
				19	Reductor de movimiento izaje trabada		Atascamiento de reductor traslación puente, por obstrucción de engranajes, inmovilizando movimiento de traslación puente. Tiempo de parada de maquina para reparar hasta 5 semanas.	
				20	Contactores gastados		Dejar de energizar motores de elevación, posible bloqueo por de dispositivo de control de elevación por ausencia de fase. Tiempo de reparación de 1 semana.	
				21	Sensor de carga puenteada aperturada		Dejar de elevar carga por bloque de dispositivo de control de elevación. Tiempo de reparación de 3 días.	
				22	Ajuste inadecuado en freno de motores de elevación		Inadecuado sostenimiento de elevación (Carga puede caer o ceder, según el peso). Tiempo de reparación de 2 días.	
				23	Plato presor de freno deteriorada		Desgaste prematuro de frenos, puede ceder carga. Tiempo de reparación de 2 días.	
				24	Sobrecarga de tonelaje por error de operación.		Bloqueo de dispositivo de control de elevación por detección por sobrecarga (mayor al 110% de la carga nominal en un periodo de tiempo), causando daños en tambor y cable de acero. Tiempo de reparación de 4 días.	
		B	No elevar carga de hasta 10 toneladas	1	Calibración inadecuada en dispositivo de control de elevación		Parámetros mal programados en dispositivo de control de elevación, bloqueando por lectura errónea mecanismo de elevación. Tiempo hasta reparar de 2 días.	
				2	Amplificador de sensor de carga deteriorada		Enviar señal inadecuada a dispositivo de control de elevación, registrando y bloqueando el mecanismo de elevación. Tiempo hasta reparar de 4 días.	
				3	Sobrecalentamiento de motores por suciedad excesiva en carcasa.		Bloqueo de dispositivo de control de elevación por sobrecalentamiento de motor de elevación según la calibración de los termistores PTC. Tiempo hasta reparar de hasta 2 días.	
		C	Elevar cargas mayor de 10 toneladas	1	Sensor de carga deteriorada		Levantar mayor carga de la capacidad diseñada, dañando sistema de carga (cable acero y tambor), pudiendo según el tonelaje de hasta deformar el cable. Tiempo de reparación de hasta 4 semanas.	
				2	Inadecuados parámetros de sobrecarga en dispositivo de control de elevación		Levantar cargas mayores a las diseñadas, daño en sistema de carga (cable de acero, tambor y guía cable). Tiempo de reparación de 1 semana.	
				3	Deterioro de rotulación de capacidad máxima en bloque de carga		Levantar por un cierto periodo cargas mayor al diseño, activándose sensor de caga máxima pudiendo deteriorar cable de acero, tambor y guía cable (Probabilidad de tener penalidades según D.S. N° 024-2016-EM). Tiempo de reparación de 1 día.	
				4	Deterioro de rotulación de capacidad máxima en viga puente		Levantar por un cierto periodo cargas mayor al diseño, activándose sensor de caga máxima pudiendo deteriorar cable de acero, tambor y guía cable (Probabilidad de tener penalidades según D.S. N° 024-2016-EM). Tiempo de reparación de 3 día.	
		D	Izaje en un solo movimiento	1	Límite de carrera Rotary deteriorada		Enviar señal errónea a dispositivo de control de elevación. Tiempo de parada de máquina para reparar hasta 3 días.	
				2	Actuador de carrera de elevación deteriorado		No realizar el cambio de señal para el dispositivo de control de elevación. Tiempo de reparación de 3 días.	
		E	Movimiento de elevación es menor o mayor en rápida de 6 m/min y en rápida de 1 m/min	1	Sobretensión/subtensión en alimentación		Aumento ligera velocidad de elevación, así como ligera des calibración de parámetros en dispositivo de control de elevación. Tiempo hasta reparar de 3 días.	
				2	Fallo en final de carrera de alta/baja		No cambiar en límite de carrera de lenta a rápida o viceversa, quedándose en una sola velocidad en el panel de control. Tiempo hasta reparar hasta 5 días.	
		F	Rango de elevación inadecuada (Inferior 0.3 m y superior 15 m)	1	Deterioro de límite de carreta tipo rotary en límite inferior		Gancho puede tocar el suelo, posible enrollamiento de cables en poleas de conjunto bloque. Tiempo de reparación de 2 días.	
				2	Deterioro de límite de carreta tipo rotary en limite Superior		Activación de límite de máxima seguridad, dependiendo del funcionamiento de esta podría desgarrar y causar rotura de cable de acero. Tiempo de reparación de 2 semanas.	
				3	Contactor de motor elevación de bajada deteriorada		Gancho puede tocar el suelo, posible enrollamiento de cables en poleas de conjunto bloque. Tiempo de reparación de 2 días.	
				4	Contactor de motor elevación de subida deteriorada		Activación de límite de seguridad, bloque de equipo de izaje. Tiempo de reparación de 4 días.	

Nota. Elaboración propia

El AMFE para el subsistema de control de movimiento se muestra en la siguiente figura.

Figura 63

Hoja de información RCM (FMEA) subsistema de control de movimiento

HOJA DE INFORMACIÓN PUENTE GRÚA								
Nombre de la Planta: **Taller equipo liviano**		Sistema/Activo: **Puente Grúa de 10 toneladas**			Sistema N°: **01**	Facilitador: **Hector Chara**	Fecha: **21/05/21**	Hoja N° **4**
		Sub-Sistema/Componente: **Sistema de control de movimiento**			Subsistema N°: **01- 04**	Auditor: **Gonzalo Rivera**	Fecha: **21/06/21**	De **5**
Función		**Falla Funcional**		**Modo de Falla**		**Efecto de la Falla**		
4	Controlar movimientos de elevación, traslación puente y carro según el accionamiento del operador en el rango de trabajo del puente grúa	A	Dejar de controlar movimientos accionador por el operador	1	Transformador de control (480 a 120 VAC) deteriorado	Dejar de energizar a circuito de control de mando haciendo que señal de movimientos sea inexistente. Tiempo de parada de hasta 4 días.		
				2	Contacto de batería defectuoso	LED de estado en receptor parpadea en rojo, no se tiene ninguna respuesta de movimiento en puente grúa. Tiempo de reparación de 1 día.		
				3	Batería defectuosa	LED de estado en receptor parpadea en rojo, no se tiene ninguna respuesta de movimiento en puente grúa. Tiempo de reparación de 1 día.		
				4	Receptor de radiocontrol defectuoso	No se tiene señal de feedback entre el radiocontrol y receptor, no se tiene ninguna respuesta de movimiento en puente grúa (se puede suplir temporalmente la falla habilitando pendal-botonera). Tiempo de reparación de 2 días.		
				5	Pendal botonera defectuoso	No tener respaldo en caso de falla de radio control emisor/receptor. Tiempo reparación de 3 días.		
				6	Conexión receptora maquina defectuoso	Relativa o ninguna respuesta de movimiento en puente grúa por radiocontrol o pendal. Tiempo de reparación de 1 día.		
				7	Selector pendal - radio control Emisor/Receptor defectuoso	Ninguna respuesta en movimiento de la grúa. Tiempo de reparación de 1 día.		
				8	Alarma star cortocircuitado	Generar sobre corriente saltando protección eléctrica de circuito de control mando, inmovilizando equipo en todos sus movimientos. Tiempo hasta reparar de 1 días.		
				9	Fusible general abierto	Dejar de energizar a circuito de fuerza y mando inmovilizando todos los movimientos del equipo de izaje y control. Tiempo para reparar hasta 2 días.		
		B	Intermitencia en movimientos accionador por el operador	1	Radiocontrol deteriorado	Falla general o intermitente en todo o ciertos movimientos de puente grúa. Tiempo de reparación de hasta 2 días.		
				2	Instalación inadecuada de alma de acero pendal botonera	No tener respaldo confiable de funcionamiento en caso de falla de radio control Emisor/Receptor. Se genera un falso contacto, debido a que el cable eléctrico soporta la carga del peso de la botonera siendo la respuesta intermitente o nula en movimiento de grúa. Tiempo a reparar de 3 días.		
				3	Botonera pendal deteriorado	No tener respaldo confiable de funcionamiento en caso de falla de radio control Emisor/Receptor. Falla general o intermitente en todo o ciertos movimientos de puente grúa. Tiempo de reparación de hasta 2 días.		
		C	Incertidumbre del operador sobre el control de movimientos	1	Alarma star deteriorado	Incertidumbre de encendido de equipo de izaje por parte del operador, no afecta la operación del equipo puente grúa.		
				2	Alarma sonora deteriorada	Incertidumbre de movimiento de equipo de izaje por parte del operador, afecta la operación del equipo puente grúa (Probabilidad de tener penalidades según D.S. N° 024-2016-EM)		
				3	Baliza deteriorada	Incertidumbre visual de movimiento de equipo de izaje por parte del operador, afecta la operación del equipo puente grúa (Probabilidad de tener penalidades según D.S. N° 024-2016-EM)		
				4	Deterioro rotulación de movimiento en radio control emisor	Incertidumbre de movimiento de equipo de izaje por parte del operador, afecta la operación del equipo puente grúa ((Probabilidad de tener penalidades según D.S. N° 024-2016-EM)		
				5	Deterioro rotulación de movimiento en botonera	Incertidumbre visual de movimiento de equipo de izaje por parte del operador, afecta la operación del equipo puente grúa (Probabilidad de tener penalidades según D.S. N° 024-2016-EM)		
				6	Rotulación de movimientos de viga puente	Incertidumbre visual de movimiento de equipo de izaje por parte del operador, afecta la operación del equipo puente grúa (Probabilidad de tener penalidades según D.S. N° 024-2016-EM)		
				7	Pulsador de parada de emergencia	No poder detener equipo durante un evento imprevisto o fallo de equipo puente grúa. Tiempo de reparación de 3 días.		

Nota. Elaboración propia

El AMFE para el subsistema alimentación eléctrica se muestra en la siguiente figura.

Figura 64

Hoja de información RCM (FMEA) subsistema de alimentación eléctrica

HOJA DE INFORMACIÓN PUENTE GRÚA								
Nombre de la Planta: **Taller equipo liviano**		Sistema/Activo: **Puente Grúa de 10 toneladas**			Sistema N°: **01**	Facilitador: **Hector Chara**	Fecha: **21/05/21**	Hoja N° **5**
		Sub-Sistema/Componente: **Sistema de alimentación eléctrica**			Subsistema N°: **01- 05**	Auditor: **Gonzalo Rivera**	Fecha: **21/06/21**	De **5**
Función		**Falla Funcional**		**Modo de Falla**		**Efecto de la Falla**		
5	Suministrar energía eléctrica deslizante de 480 V CA	A	Dejar de suministrar energía eléctrica	1	Contactor general de puente grúa desgastada	Dejar de energizar a circuito de fuerza y mando inmovilizando todos los movimientos del equipo de izaje y control. Tiempo para reparar hasta 3 días.		
				2	Desgaste de Zapato de conjunto colector	Dejar de energizar a circuito de fuerza y mando inmovilizando todos los movimientos del equipo de izaje y control. Tiempo para reparar hasta 5 días.		
				3	Juntas Quemadas	Conexión defectuosa en sistema de barras conductoras de alimentación, dejar energizar puente grúa, equipo queda inoperativo en todos los movimientos, carga puede quedar suspendida. Tiempo de parada de 5 días.		
				4	Barra conductora gastada	Dejar energizar puente grúa, equipo queda inoperativo en todos los movimientos, carga puede quedar suspendida. Tiempo de parada de 2 semanas.		
				5	Conjunto colector deteriorado	Dejar energizar puente grúa, equipo queda inoperativo en todos los movimientos, carga puede quedar suspendida. Tiempo de parada de 5 días.		
				6	Brazo de arrastre desalineada	Brazo de arrastre puede trabarse en carriel C produciendo rotura y cortocircuito de cables festón de alimentación, dejar de energizar puente grúa queda inoperativo todos los movimientos. Tiempo de reparación de 3 semanas.		
				7	Canaleta Riel C desalineada	Brazo de arrastre puede trabarse en ciertos tramos, produciendo dobladura de brazo en arrastre, pudiendo producir desgarre, rotura y cortocircuito de alimentación de cable festón. Tiempo de reparación de 3 semanas.		
				8	Lubricación deficiente de carro porta cables	Rodamientos de pueden atascarse en ciertos tramos, paulatino deterioro de brazo arrastre con posible rotura de la misma, produciendo desgarre y rotura de cable festón. Tiempo de reparación de 2 semanas.		
				9	Carrera efectiva de cable festón inadecuado	Dobladura de brazo de arrastre en tramos finales de recorrido de carro, podría doblar paulatinamente brazo de arrastre, para consecuentemente desgarrar cable festón. Tiempo de reparación de 1 semana.		
				10	Ajuste inadecuado en empalme de carril de riel C	Aperturas en empalme de carril C podría dañar carros porta cables, trabándose carros porta cables, doblando brazo de arrastre, desgarrando cable festón. Tiempo de reparación de 1 semana.		
		B	Suministrar energía eléctrica intermitentemente o en ciertos tramos	1	Contaminación en barra conductora	Conexión a tierra no deseada, dejar intermitentemente a puente grúa. Tiempo para reparar de 3 días.		
				2	Cubierta de barras conductoras descompuesta	Ingreso de contaminación en barras conductoras, intermitencia de movimientos de puente grúa. Tiempo de reparación de 1 semana.		
				3	Zapatos de conjunto colector picados (quemados)	Falso contacto en alguna de las fases, bloque de sistemas de variador de frecuencia y supervisor de control de elevación. Tiempo de reparación de 4 días.		
				4	Desalineación de barras conductoras	Intermitencia de alimentación en ciertos tramos. Tiempo para reparar de 5 días.		
				5	Insuficiente presión de conjunto colector	Quemadura o picados en barra conductora, desgaste inadecuado en elementos de contacto. Tiempo de reparación de 5 días.		
				6	Acumulación de corrientes no deseadas	Intermitencia en ciertos momentos por corrientes parasitas, podría acumular corrientes eléctricas nocivas para el personal de mantenimiento. Tiempo de reparación 2 días.		
				7	Ondulación inadecuada de cable festón por deterioro	Posible fatiga de interna de conducción de cable festón, en ciertos momentos puede no conducir energía a equipo puente grúa. Tiempo de reparación de 1 semana.		

Nota. Elaboración propia

4.5 DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

Para responder las últimas tres de las siete preguntas que conforman el proceso de RCM mencionado por Moubray (2004), las cuales son:

5. ¿Qué importancia si falla?
6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
7. ¿Qué debe hacerse si no puede encontrarse una tarea proactiva apropiada?

Se uso el diagrama de decisión del proceso de RCM, el cual esta plasmado en las hojas de decisión RCM.

Las cuales son desarrolladas en las siguientes figuras.

La hoja de decisión RCM para el subsistema traslación puente se muestra en la siguiente figura.

Figura 65

Hoja de decisión RCM para subsistema traslación puente

HOJA DE DECISIÓN PUENTE GRÚA

Nombre de la Planta:	Sistema/Activo:	Sistema N°:	Facilitador:	Fecha:	Hoja N°
Taller equipo liviano	**Puente Grúa de 10 toneladas**	**01**	**Hector Chara**	**21/05/21**	**1**
	Sub-Sistema/Componente:	Subsistema N°:	Auditor:	Fecha:	De
	Sistema de traslación Puente	**01- 01**	**Gonzalo Rivera**	**21/06/21**	**5**

REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	TAREAS Y ACCIONES "A FALTA DE"			Tarea propuesta	Frecuencia Inicial	A Realizar Por:
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	S						Limpieza de cubículo de variador de frecuencia	Trimestral	Eléctrico
		2	S	N	N	S	S						Megado de motores	Mensual	Eléctrico
		3	S	N	N	S	S						Verificar si Motor-reductor presenta ruido	Mensual	Eléctrico
		4	S	N	N	S	N	N	N				No hay tareas que eviten este modo de falla, depende del entrenamiento del operador	En Operación	Operador
		5	S	N	N	S	S						Medición de amperaje de corriente o verificación de parámetros de registros de fallas en variador de frecuencia	Mensualmente	Eléctrico
		6	S	N	N	S	S						Lubricación de kit de freno de motores.	Trimestral	Mecánico
		7	S	N	N	S	S						Verificar chavetas, reemplazar de ser necesarios	Trimestral	Mecánico
		8	S	N	N	S	N	N	S				Lubricación de rodadura de testero	Trimestral	Mecánico
		9	S	N	N	S	S						Verificar estado de aprietes de conexiones eléctricas, de ser necesario la utilizar limpia contactos	Trimestral	Eléctrico
		10	S	N	N	S	N	N	S				Inspección límite de carrera, de ser necesario realizar cambio.	Trimestral	Eléctrico
	B	1	S	N	N	N	S						Medición de resistencia de resistor de frenado, verificación de registro de falla en variador de frecuencia.	Mensual	Eléctrico
		2	S	N	N	S	S						Verificación de historial de eventos de fallas en variador de frecuencia según eventos programar cambio.	Trimestral	Eléctrico
		3	S	N	N	S	S						Verificar estado de ventiladores de motores, de ser necesario reemplazarlos	Trimestral	Eléctrico
		4	N				N	N	N	S			Inspección de funcionamiento sensor de temperatura o verificación de eventos de fallas en variador de frecuencia	Mensual	Eléctrico
		5	N				S						Realizar un examen exhaustivo de la geometría en grúa (Medición de la alineación de los testeros y las ruedas, Verificación de la perpendicularidad de la grúa y sus componentes, Análisis de la inclinación de la viga de la grúa)	Cada 5 Años	Técnico especializado
	C	1	S	N	N	S	S						Inspeccionar estado de e límite de carrera de traslación puente, reemplazar de ser necesario	Trimestral	Mecánico
		2	S	N	N	S	S						Verificar estado de actuador de límite de carrera, de ser necesario reemplazar	Trimestral	Mecánico
		3	S	N	N	N	N	N	N	S			Verificar correcto funcionamiento de recorrido de traslación puente y en caso de defectos reportarlos al área de mantenimiento	Semanal	Operador
		4	S	N	N	N	S						Verificar distancia normal de detención o inspeccionar resistencia de bobina de freno	Mensual	Eléctrico
	D	1	S	N	N	S	S						Verificar parámetros de programación de motores en variador de frecuencia, de ser necesario realizar ajustes	Trimestral	Eléctrico
		2	S	N	N	S	N	S					Lubricación de ruedas de testero	Mensual	Mecánico
		3	S	N	N	S	S						Verificar si motor reductor presenta ruido	Semestral	Mecánico
	E	1	N				N	N	N	S			Verificar rampa de aceleración según parámetros de motor, de ser necesario realizar ajustes	Trimestral	Eléctrico
		2	S	N	N	N	S						Regular air gap (torque de freno) o resorte de retorno	Trimestral	Eléctrico
		3	S	N	N	N	N	N	S				Limpieza o inspección de rodadura de puente	Trimestral	Mecánico
		4	S	N	N	N	S						Verificar espesor de freno según tabla del fabricante y reemplazarlos si es necesario.	Trimestral	Mecánico
		5	S	N	N	N	S						Inspeccionar estado de plato de freno y reemplazar de ser necesario.	Trimestral	Mecánico

Nota. Elaboración propia

La hoja de decisión RCM para el subsistema traslación carro se muestra en la siguiente figura.

Figura 66

Hoja de decisión RCM para subsistema traslación carro

HOJA DE DECISIÓN PUENTE GRÚA																
Nombre de la Planta: **Taller equipo liviano**			Sistema/Activo: **Puente Grúa de 10 toneladas**							Sistema N°: **01**	Facilitador: **Hector Chara**			Fecha: **21/05/21**	Hoja N° **2**	
			Sub-Sistema/Componente: **Sistema de traslación Carro**							Subsistema N°: **01- 02**	Auditor: **Gonzalo Rivera**			Fecha: **21/06/21**	De **5**	
REFERENCIA DE INFORMACIÓN			**EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS**				**H1** / **S1** / **O1**	**H2** / **S2** / **O2**	**H3** / **S3** / **O3**	**TAREAS Y ACCIONES "A FALTA DE"**			**Tarea propuesta**	**Tipo de Tarea**	**Frecuencia Inicial**	**A Realizar Por:**
F	**FF**	**MF**	**H**	**S**	**E**	**O**	**N1**	**N2**	**N3**	**H4**	**H5**	**S4**				
2	A	1	S	N	N	S	S						Limpieza de cubículo de variador de frecuencia	Tarea a condición	Trimestral	Eléctrico
		2	S	N	N	S	S						Megado de motores	Tarea a condición	Mensual	Eléctrico
		3	S	N	N	S	S						Verificar si Motor-reductor presenta ruido	Tarea a condición	Mensual	Eléctrico
		4	S	N	N	S	N	N	N				No hay tareas que eviten este modo de falla, depende del entrenamiento del operador	En Operación	En Operación	Operador
		5	S	N	N	S	S						Medición de amperaje de corriente o verificación de parámetros de registros de fallas en variador de frecuencia	Mensualmente	Mensualmente	Eléctrico
		6	S	N	N	S	S						Lubricación de kit de freno de motores.		Trimestral	Mecánico
		7	S	N	N	S	S						Verificar chavetas, reemplazar de ser necesarios		Trimestral	Mecánico
		8	S	N	N	S	N	N	S				Lubricación de rodadura de testero		Trimestral	Mecánico
		9	S	N	N	S	S						Verificar estado de aprietes de conexiones eléctricas, de ser necesario la utilizar limpia contactos		Trimestral	Eléctrico
		10	S	N	N	S	N	N	S				Inspección límite de carrera, de ser necesario realizar cambio.		Trimestral	Eléctrico
	B	1	S	N	N	N	S						Medición de resistencia de resistor de frenado, verificación de registro de falla en variador de frecuencia.		Mensual	Eléctrico
		2	S	N	N	S	S						Verificación de historial de eventos de fallas en variador de frecuencia según eventos programar cambio.		Trimestral	Eléctrico
		3	S	N	N	S	S						Verificar estado de ventiladores de motores, de ser necesario reemplazarlos		Trimestral	Eléctrico
		4	N				N	N	N	S			Inspección de funcionamiento sensor de temperatura o verificación de eventos de fallas en variador de frecuencia		Mensual	Eléctrico
	C	1	S	N	N	S	S						Inspeccionar estado de e límite de carrera de traslación carro, reemplazar de ser necesario		Trimestral	Mecánico
		2	S	N	N	S	S						Verificar estado de actuador de límite de carrera, de ser necesario reemplazar		Trimestral	Mecánico
		3	S	N	N	N	N	N	N	S			Verificar correcto funcionamiento de recorrido de traslación carro y en caso de defectos reportarlos al área de mantenimiento		Semanal	Operador
		4	S	N	N	N	S						Verificar distancia normal de detención o inspeccionar resistencia de bobina de freno		Mensual	Eléctrico
	D	1	S	N	N	S	S						Verificar parámetros de programación de motores en variador de frecuencia, de ser necesario realizar ajustes		Trimestral	Eléctrico
		2	S	N	N	S	N	S					Lubricación de ruedas de testero		Mensual	Mecánico
		3	S	N	N	S	S						Verificar si motor reductor presenta ruido		Semestral	Mecánico
	E	1	N				N	N	N	S			Verificar rampa de aceleración según parámetros de motor, de ser necesario realizar ajustes		Trimestral	Eléctrico
		2	S	N	N	N	S						Regular air gap (torque de freno) o resorte de retorno		Trimestral	Eléctrico
		3	S	N	N	N	S						Verificar funcionamiento de limpia rieles, de ser necesario ajustar		Trimestral	Mecánico
		4	S	N	N	N	S						Verificar espesor de freno según tabla del fabricante y reemplazarlos si es necesario.		Trimestral	Mecánico
		5	S	N	N	N	S						Inspeccionar estado de plato de freno y reemplazar de ser necesario.		Trimestral	Mecánico

Nota. Elaboración propia

La hoja de decisión RCM para el subsistema de elevación puente se muestra en la siguiente figura.

Figura 67

Hoja de decisión RCM para subsistema elevación

HOJA DE DECISIÓN PUENTE GRÚA																	
Nombre de la Planta: Taller equipo liviano			Sistema/Activo: Puente Grúa de 10 toneladas							Sistema N°: 01		Facilitador: Hector Chara		Fecha: 21/05/21		Hoja N° 3	
			Sub-Sistema/Componente: Sistema de elevación							Subsistema N°: 01- 03		Auditor: Gonzalo Rivera		Fecha: 21/06/21		De 5	
REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1 / S1 / O1	H2 / S2 / O2	H3 / S3 / O3	TAREAS Y ACCIONES "A FALTA DE"			Tarea propuesta	Frecuencia Inicial	A Realizar Por:		
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4					
3	A	1	S	S			N	N	N			N	Rediseño de procedimiento de operación de equipo puente grúa (verificar operación en Horizontal) y Instalacion sistema anti-carga diagonal				
		2	S	S			S						Inspeccionar ranuras de tambor de carga presenta marcas de cable, de ser necesario realizar el reemplazo de tambor de carga	Mensual	Mecánico		
		3	S	N	N	S	S						Verificar estado de aprietes de conexiones eléctricas, de ser necesario la utilizar limpia contactos	Trimestral	Eléctrico		
		4	S	S			S						Verificar estado externo de hilos de cable de acero, según el D.S. N° 024-2016-EM o la ASME b30.9	Mensual	Mecánico		
		5	N				S						Evaluacion electromagnetica de cable de acero (Análisis las condiciones de los alambres internos y filamentos y el centro o núcleo del cable de acero, no visibles)	Semestral	Técnico especializado		
		6	S	S			S						Revisar estado de cable de acero o daños por deformación, en caso de defectos reportar al área de mantenimiento	Semanal	Operador		
		7	S	S			S						Limpieza de sistema de carga (cable acero, guía cable y tambor)	Trimestral	Mecánico		
		8	S	S			S						Lubricación de sistema de carga (cable acero, guía cable y tambor)	Trimestral	Mecánico		
		9	S	S			S						Inspeccionar estado de pasador de seguridad, en caso de defectos reportar al área de mantenimiento	Diario	Operador		
		10	S	S			S						Tomar de medidas de tres puntos equidistantes de ganchos según la normativa Peruana del D.S. N° 024-2016-EM o medidas proporcionadas por tablas del fabricante.	Diario	Operador		
		11	S	S			N	S					Lubricar conjunto bloque	Mensual	Operador		
		12	S	S			S						Inspección de conjunto bloque, en caso de defectos reportar al área de mantenimiento, según D.S. N° 024-2016-EM no deben ser pintados, ni calentados, ni soldados	Mensual	Operador		
		13	S	S			S						Revisar estado de seguro de gancho, de ser necesario realizar correcciones	Mensual	Mecánico		
		14	S	S			S						Revisar seguro de punto fijo, de ser necesario realizar correcciones.	Mensual	Mecánico		
		15	S	S			S						Verificar correcto enrollamiento de cable de acero en sistema de carga (según el D.S. N° 024-2016 debe tener 3 vueltas en el tambor), de ser necesario realizar correcciones.	Mensual	Mecánico		
		16	N				N	N	N	S			Verificar funcionamiento de limitador de máxima seguridad, de ser necesario reemplazar	Mensual	Mecánico		
		17	S	N	N	S	S						Medición de amperaje de corriente o verificación de parámetros de registros de fallas en variador de frecuencia	Mensualmente	Eléctrico		
		18	S	N	N	S	S						Lubricación de kit de freno de motores.	Trimestral	Mecánico		
		19	S	N	N	S	S						Verificar si Motor-reductor presenta ruido	Mensual	Eléctrico		
		20	S	N	N	S	S						Inspeccionar si contactores de elevación presentan ruido	Mensual	Eléctrico		
		21	S	N	N	S	N	N	N				No hay tarea que eviten este modo de falla				
		22	S	S			S						Regular air gap (torque de freno) o resorte de retorno	Trimestral	Eléctrico		
		23	S	S			S						Inspeccionar estado de plato de freno y reemplazar de ser necesario.	Trimestral	Mecánico		
		24	S	N	N	S	N	N	N				Mejorar procedimiento de operación de equipo puente grúa en elevación de carga				
	B	1	S	N	N	S	S						Calibración con carga patrón conocida de 5 a 15% de la carga nominal, el cual debe coincidir con la visualización de dispositivo de control de elevación	Semestral	Eléctrico		
		2	S	N	N	S	N	N	N	S			Verificar de funcionamiento de amplificador de carga, de ser el caso reemplazarlos	Semestral	Eléctrico		
		3	S	N	N	S	S						Inspección de ventilación de motor de elevación, de ser necesario realizar correcciones	Trimestral	Eléctrico		
	C	1	N				N	N	N	S			Verificar funcionamiento de sensor de carga o Verificar que no este puenteada	Trimestral	Eléctrico		
		2	N				S						Calibración de carga según norma ASME b30.2 (realizar en conjunto con la certificación del equipo)	Anual	Eléctrico		
		3	S	N	N	S	S						Verificar estado de rotulación de máxima capacidad en bloque de carga	Trimestral	Operador		
		4	S	N	N	S	S						Verificar estado de rotulación de máxima capacidad en viga puente	Anual	Operador		
	D	1	S	N	N	S	S						Verificar límite de carrera presenta desgaste, de ser necesario reemplazar	Trimestral	Eléctrico		
		2	S	N	N	S	S						Verificar actuador de carrera presenta desgaste, de ser necesario reemplazar	Trimestral	Eléctrico		
	E	1	S	N	N	N	S						Medición tensión de alimentación a plena carga de equipo de izaje	Semestral	Eléctrico		
		2	S	N	N	S	N	N	N				No hay tarea que eviten este modo de falla				
	F	1	N				N	N	N	S			Verificar correcta detención en límite inferior	Semanal	Operador		
		2	N				N	N	N	S			Verificar correcta detención en límite Superior	Semanal	Operador		
		3	S	N	N	S	S						Inspección de ruidos en contactor de baja, de ser necesario realizar cambio	Trimestral	Eléctrico		
		4	S	S			S						Inspección de ruidos en contactor de subida, de ser necesario realizar cambio	Trimestral	Eléctrico		

Nota. Elaboración propia

La hoja de decisión RCM para el subsistema de control de movimiento se muestra en la siguiente figura.

Figura 68

Hoja de decisión RCM subsistema de control de movimiento

HOJA DE DECISIÓN PUENTE GRÚA																
Nombre de la Planta: **Taller equipo liviano**			Sistema/Activo: **Puente Grúa de 10 toneladas**										Sistema N°: **01**	Facilitador: **Hector Chara**	Fecha: **21/05/21**	Hoja N° **4**
			Sub-Sistema/Componente: **Sistema de control de movimiento**										Subsistema N°: **01- 04**	Auditor: **Gonzalo Rivera**	Fecha: **21/06/21**	De **5**
REFERENCIA DE INFORMACIÓN			**EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS**				**H1** **S1** **O1**	**H2** **S2** **O2**	**H3** **S3** **O3**	**TAREAS Y ACCIONES "A FALTA DE"**			**Tarea propuesta**	**Frecuencia Inicial**	**A Realizar Por:**	
F	**FF**	**MF**	**H**	**S**	**E**	**O**	**N1**	**N2**	**N3**	**H4**	**H5**	**S4**				
		1	S	N	N	S	S						Medicion de asilamiento	Anual	Eléctrico	
		2	S	N	N	S	N	S					Limpieza de contactos de baterías, de ser necesario utilizar limpia contactos	Anual	Eléctrico	
		3	S	N	N	S	N	N	S				Limpieza de contactos de baterías, de ser necesario utilizar limpia contactos	Mensual	Eléctrico	
		4	S	N	N	S	N	N	N				Ningun mantenimiento programado, habilitar pendal/botonera en caso de falla			
	A	5	N				N	N	N	S			Habilitar pendal-Botonera en vez de radio de control y verificar funcionamiento completa del pendal-botonera, volver a habilitar radio control emisor/receptor	Trimestral	Eléctrico	
		6	S	N	N	S	N	N	N				Ningun mantenimiento programado, habilitar pendal/botonera en caso de falla			
		7	S	N	N	S	S						Inspeccionar selector pendal/receptor	Semestral	Eléctrico	
		8	S	N	N	S	N	N	N				No hay tareas que eviten este modo de falla			
		9	S	N	N	S	N	N	N				No hay tareas que eviten este modo de falla			
4		1	S	N	N	S	S						Verificar estado general de deterioro (pulsadores, selectores), de presentar defectos reportar al área de mantenimiento	Mensual	Operador	
	B	2	N				N	N	N	S			Inspeccionar correcto de funcionamiento alma de acero de pendal-botonera (El peso del cable y pendal debe ser soportada por el alma de acero).	Semestral	Eléctrico	
		3	N				S						Verificar estado general de Botonera-pendal.	Semestral	Eléctrico	
		1	S	N	N	N	N	N	N				Ningún mantenimiento programado			
		2	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado			
		3	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado			
	C	4	S	N	N	S	S						Verificar estado de rotulación de movimiento en radio control emisor	Operador	Trimestral	
		5	S	N	N	S	S						Verificar estado de rotulación de movimiento en botonera	Operador	Semestral	
		6	S	N	N	S	S						Verificar estado de rotulación en viga puente	Operador	Semestral	
		7	N				N	N	N	S			Verificar funcionamiento de pulsador de parada de emergencia en radio control o pendal	Operador	Mensual	

Nota. Elaboración propia

La hoja de decisión RCM para el subsistema alimentación eléctrica se muestra en la siguiente figura.

Figura 69

Hoja de decisión RCM subsistema de alimentación eléctrica

HOJA DE DECISIÓN PUENTE GRÚA																
Nombre de la Planta: **Taller equipo liviano**			Sistema/Activo: **Puente Grúa de 10 toneladas**										Sistema N°: **01**	Facilitador: **Hector Chara**	Fecha: **21/05/21**	Hoja N° **5**
			Sub-Sistema/Componente: **Sistema de alimentación eléctrica**										Subsistema N°: **01- 05**	Auditor: **Gonzalo Rivera**	Fecha: **21/06/21**	De **5**
REFERENCIA DE INFORMACIÓN			**EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS**				**H1** **S1** **O1**	**H2** **S2** **O2**	**H3** **S3** **O3**	**TAREAS Y ACCIONES "A FALTA DE"**			**Tarea propuesta**		**Frecuencia Inicial**	**A Realizar Por:**
F	**FF**	**MF**	**H**	**S**	**E**	**O**	**N1**	**N2**	**N3**	**H4**	**H5**	**S4**				
5	A	1	S	N	N	S	S						Inspeccionar si contactor general presenta ruido, de ser el caso reemplazarlos		Semestral	Eléctrico
		2	S	N	N	S	S						Verificar que zapatas tengan la dimensión adecuada, de ser el caso reemplazarlos		Semestral	Eléctrico
		3	S	N	N	S	S						Verificar juntas no estén sueltas, de ser necesario ajustar		Trimestral	Eléctrico
		4	S	N	N	S	S						Verificar todo el recorrido de barras conductoras no presentan desgaste		Semestral	Eléctrico
		5	S	N	N	S	S						Verificar estado de conjunto colecto no esté oxidado o deteriorado		Semestral	Eléctrico
		6	S	N	N	S	S						Verificar alineación vertical y horizontal de brazo de arrastre		Trimestral	Mécanico
		7	S	N	N	S	S						Verificar alineación vertical, horizontal y longitudinal de canaleta riel C		Trimestral	Mécanico
		8	S	N	N	S	N	N	S				Lubricación de carros portables festón		Trimestral	Mécanico
		9	S	N	N	S	S						Verificar recorrido de cable festona velocidad lenta y rápida		Mensual	Operador
		10	S	N	N	S	S						Verificar empalme de riel C no tengan apertura pronunciadas o no estén desajustadas		Trimestral	Mécanico
	B	1	S	N	N	S	N	S					Limpieza de barras conductoras		Anual	Eléctrico
		2	S	N	N	S	S						Verificar visualmente que cubiertas no presenten daño, de ser necesario reemplazarlos		Trimestral	Eléctrico
		3	S	N	N	S	S						Verificar estado o desgaste de zapatas		Semestral	Eléctrico
		4	S	N	N	S	S						Verificar la alineación horizontal/vertical de barras conductoras, de ser necesario corregirlas		Semestral	Eléctrico
		5	S	N	N	S	S						Verificar la presión de conjunto colector sobre barras conductoras sea adecuado en todas las fases		Semestral	Eléctrico
		6	N				N	N	N	S			Verificar conexiones de puesta a tierra, realizar ajuste de ser necesario		Semestral	Eléctrico
		7	S	N	N	S	S						Verificar estado cable festón no presenten desgaste o deterioro		Semestral	Eléctrico

Nota. Elaboración propia

CAPITULO V

5. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

Según el análisis el sistema puente grúa de 10 toneladas del taller de equipo liviano el cual se dividió en 5 subsistemas:

- Subsistema de traslación puente.
- Subsistema de traslación carro.
- Sistema de elevación.
- Subsistema de control de movimiento.
- Subsistema de alimentación eléctrica.

A cada uno de estos subsistemas se aplicó la metodología del RCM definiéndose así la *función, la falla funcional, modo de falla y efecto de falla* (primeras preguntas respondidas mediante la *hoja de información RCM*) y las *consecuencias de cada modo de falla, que se puede hacer para hacer prevenir cada falla y qué hacer si la prevención falla* (ultimas 3 preguntas respondidas mediante el *diagrama de decisión y hoja de decisión RCM*), todos estos resultados resumidos en las siguientes tablas.

Tabla 2

Resumen de resultado de análisis de modos y consecuencias de fallas para el puente grúa

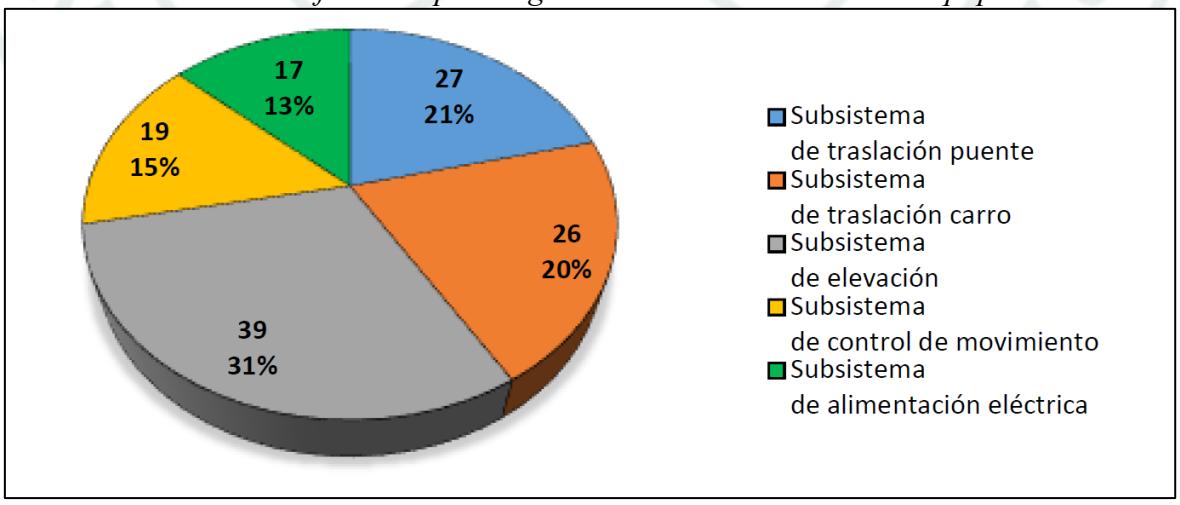
Bloque de consecuencias	Subsistema					TOTAL
	Subsistema de traslación puente	Subsistema de traslación carro	Subsistema de elevación	Subsistema de control de movimiento	Subsistema de alimentación eléctrica	
Consecuencias del Fallo Oculto	3	2	6	4	1	16
Consecuencias para la Seguridad o el Medio Ambiente	0	0	16	0	0	16
Consecuencias Operacionales	17	17	16	14	16	80
Consecuencias No Operacionales	7	7	1	1	0	16
Total	27	26	39	19	17	128

Nota. Elaboración propia

Según esta tabla mostrada se encontró en total 128 modos de fallas, el que mayor número de modos de fallas se tiene en el *subsistema de elevación* (39 modos de fallas, con una representación del 31%), seguido del *subsistema translación puente* (27 modos de fallas, con una representación del 21%), *subsistema traslación carro* (26 de modos de fallas, con una representación del 20%), *subsistema control de movimiento* (19 de modos de falla, con una representación 15%), finalmente del *subsistema de alimentación eléctrica* (17 modos de falla, con una representación de 13%). El subsistema de traslación puente y subsistema de traslación carro son en relativa similitud en cuanto modos de fallas, pero con mucha relativa diferencia en los efectos de las cada una de las fallas y consecuencias.

Figura 70

Resultados de modos de fallas de puente grúa de 10 toneladas de taller equipo



Nota. Elaboración propia

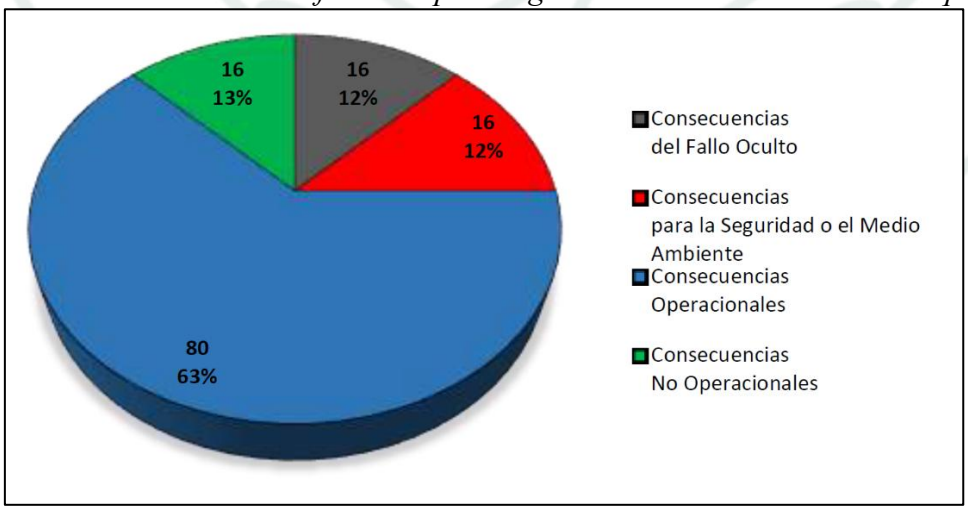
Para el caso de las consecuencias de las fallas de la tabla mostrada también se obtuvo los siguientes resultados:

- *Consecuencias del fallo oculto:* En total se tienen 16 modos de fallas el cual representa el 12% del total.
    - El mayor número de fallas están el sistema de elevación (6 modos de fallas).
- *Consecuencias para la seguridad o el medio ambiente:* En total se tienen 16 modos de fallas el cual representa el 12% del total, el cual esta solo está solo en el sistema de izaje.
- *Consecuencias Operacionales:* En total se tienen 80 modos de fallas el cual representa el 63% del total.
    - Se observa que se tiene una relativa uniformidad en los 5 subsistemas del puente grúa, con 17 modos de fallas para el subsistema de traslación puente, 17 para el subsistema de traslación carro, 16 para el subsistema de alimentación eléctrica, 14 para el subsistema de control de movimiento.
- *Consecuencias no Operacionales:* En total se tienen 16 modos de fallas el cual presenta el 12 %.del total.
    - Se observa que para cada uno de los subsistemas de traslación puente y carro se tienen 7 modos de fallas, para los subsistemas de elevación y control de movimiento se tienen 01 modo de falla.

La distribución de las consecuencias de las fallas obtenidas del diagrama de decisión RCM, según el resumen de la tabla mostrada anteriormente se muestran en la siguiente figura:

Figura 71

Resultados de modos de fallas de puente grúa de 10 toneladas de taller equipo liviano



Nota. Elaboración propia

Para cada uno de los 128 modos de fallas en los 5 subsistemas, se obtuvo el siguiente resumen de análisis en las tareas de mantenimiento:

Tabla 3

Resumen de resultado de análisis de tareas de mantenimiento de puente grúa

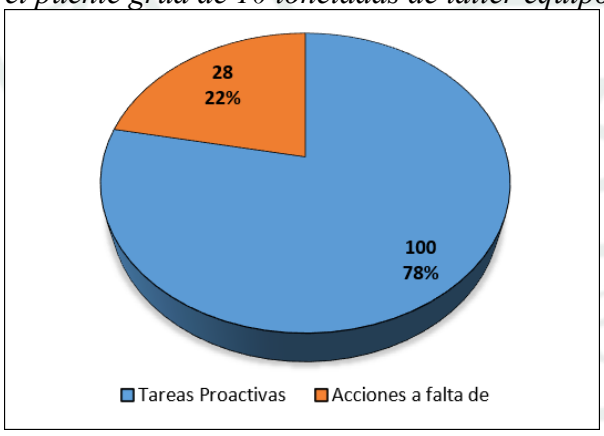
Categoría	Estrategia	Traslación del puente	Traslación del carro	Elevación	Control de movimiento	Alimentación eléctrica	Total
Tareas proactivas	Mantenimiento a condición	19	19	29	7	14	88
	Reacondicionamiento cíclico	1	1	1	1	1	5
	Sustitución cíclica	3	2	0	1	1	7
	Subtotal						*100*
Acciones de omisión	Búsqueda de falla	3	3	5	3	1	15
	Rediseño	0	0	1	0	0	1
	Mantenimiento a rotura	1	1	3	7	0	12
	Subtotal						*28*
Total		27	26	39	19	17	128

Nota. Elaboración propia

Las tareas proactivas se tienen 100 tareas de mantenimiento, representando un 78% del total y para las tareas de acciones a falta de se tienen 28 tareas de mantenimiento, representando un 22% del total, esto se muestra como se muestra en la siguiente figura:

Figura 72

Resultados de estrategias de mantenimiento de tareas proactivas y acciones a falta depara el puente grúa de 10 toneladas de taller equipo liviano



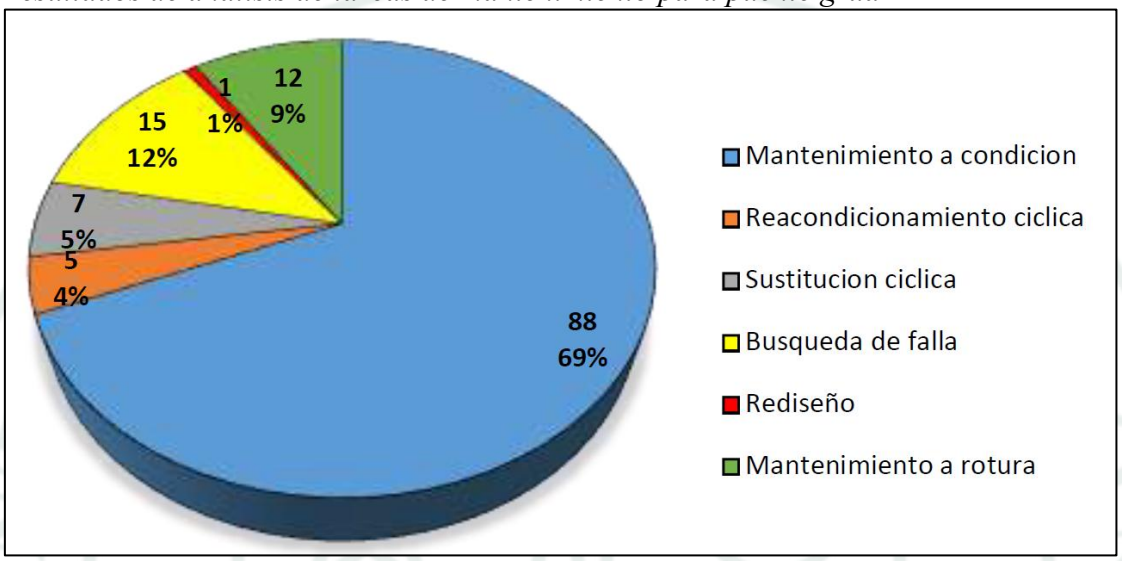
Nota. Elaboración propia

Desglosando las tareas de mantenimiento se tiene que se encontró que las tareas de *mantenimiento de condición* se cuenta con 88 actividades representando el 69% del total, en cuanto a tareas de *reacondicionamiento cíclica* con 5 actividades representando el 4% del

total, *sustitución cíclica* con 7 actividades representando el 5% del total, *búsqueda de falla* con 15 actividades representando el 12% del total, rediseño con 01 actividad representando casi el 1% del total y *mantenimiento a la rotura* con 12 actividades representando el 9% del total. Todo esto se muestra en la siguiente figura:

Figura 73

Resultados de análisis de tareas de mantenimiento para puente grúa



Nota. Elaboración propia

En cuanto a la tarea del rediseño está situada únicamente en el sistema de elevación el cual es un modo de falla que afecta a la seguridad y la cual no se encontró una actividad que reduzca a un nivel tolerable la consecuencia de dicha falla.

5.2 ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD DE EQUIPO

De acuerdo con la información obtenida sobre los eventos de falla en el equipo puente grúa de 10 toneladas del taller de equipo liviano sobre eventos de fallas se obtuvo para comparación de dos periodos:

- Periodo Julio 2020 - Diciembre 2020 (Antes del RCM)
- Periodo Enero 2021 – Junio 2021 (Después del RCM)

Según los datos obtenidos se tiene:

Tabla 4

Fallas y tiempo de parada del puente grúa, julio–diciembre de 2020

N.º	Fecha	Descripción de la falla	Tipo de falla	Tiempo de falla (h)
1	3/7/2020	Doblez de cable de acero por inadecuada lubricación del sistema de carga	Correctivo	96
2	21/7/2020	Falla por IGBT en variador de frecuencia de traslación del puente	Correctivo	72
3	18/8/2020	Falla en límit switch del movimiento de traslación del carro	Correctivo	12
4	7/9/2020	Falla en límite de carrera rotary del sistema de elevación	Correctivo	24
5	23/9/2020	Retención de carga inadecuada (desgaste de freno de polipasto)	Correctivo	96
6	14/10/2020	Deterioro de batería del radio control emisor	Correctivo	8
7	6/11/2020	Falla en límit switch del movimiento de traslación del puente	Correctivo	36
8	26/11/2020	Conexiones eléctricas sueltas en polipasto	Correctivo	48
9	15/12/2020	Balanceo de carga en el sistema de traslación del puente	Correctivo	24
10	26/12/2020	Enrollamiento de cable de acero	Correctivo	48

Nota. Elaboración propia

Para el periodo con la aplicación de la metodología RCM se obtuvo la siguiente tabla:

Tabla 5

Fallas y tiempo de parada del puente grúa, enero–junio de 2021

N.º	Fecha	Descripción de la falla	Tipo de falla	Tiempo de falla (h)
1	1/1/2021	Desgaste en colector de alimentación	Correctivo	48
2	25/1/2021	Obstrucción de testero	Correctivo	36
3	17/2/2021	Radio control receptor deteriorado	Correctivo	8
4	21/3/2021	Energía intermitente en puente grúa	Correctivo	48
5	3/6/2021	Sensor de carga descalibrado	Correctivo	12
6	29/6/2021	Falla en límit switch	Correctivo	36

Nota. Elaboración propia

Se obtuvo el tiempo total de reparaciones del equipo puente grúa, en dos periodos:

- Fallas correctivas Julio 2020 – Diciembre 2020, antes de aplicar el mantenimiento basado en el RCM.
- Fallas correctivas Enero 2021 – Junio 2021, después de aplicar el mantenimiento basado en el RCM.

El tiempo total de operación se refiere al tiempo en que el equipo puente grúa para el cual se considera:

- El equipo trabaja 12 horas diario, por un periodo de 6 meses se obtuvo en total de 2160 horas.

Hallando el número total de fallas por equipo en el periodo se obtuvo:

Tabla 6
Comparación de la frecuencia de fallas y del tiempo de reparación del puente grúa entre los periodos evaluados

Falla	Periodo	
	Jul 2020 – Dic 2020	Ene 2021 – Jun 2021
1	96	48
2	72	36
3	12	8
4	24	48
5	96	12
6	8	36
7	36	—
8	48	—
9	24	—
10	48	—
Tiempo total de reparación (TTR, h)	464	188
Total de frecuencia de fallas	10	6
Tiempo total de operación (h)	2160	2160

Nota. — = sin falla registrada en el periodo. Elaboración propia.

Según estas consideraciones se encontró la disponibilidad operativa del equipo para cada periodo según la siguiente formula:

$$D_{(t)} = \frac{Tiempo\ programado - Tiempo\ de\ demoras}{Tiempo\ programdo} = \frac{MTBF}{MTBF - MTTR}$$

- Para el cálculo de tiempo medio entre fallas (MTBF), se obtuvo siguiente formula:

$$MTBF = \frac{Tiempo\ total\ Disponible - Tiempo\ de\ avería}{Número\ de\ fallas} = \frac{Tiempo\ total\ de\ operación}{Número\ de\ fallas}$$

Obteniéndose la siguiente tabla:

Tabla 7

Análisis tiempo medio entre falla (MTBF) del equipo puente grúa

Periodo	Tiempo total de operación (h)	Frecuencia de fallas	MTBF (h)
Jul 2020 – Dic 2020	2160	10	216.00
Ene 2021 – Jun 2021	2160	6	360.00

Nota. Elaboración propia

- Para el cálculo de tiempo medio para reparar (MTTR), se obtuvo siguiente formula:

$$MTTR = \frac{Tiempo\ total\ de\ mantenimiento}{Número\ de\ fallas} = \frac{Tiempo\ total\ de\ reparación}{Número\ de\ fallas}$$

Obteniéndose la siguiente tabla:

Tabla 8

Análisis tiempo medio para reparar (MTTR) del equipo puente grúa

Periodo	Tiempo total de reparaciones (TTR, h)	Frecuencia de fallas	MTTR (h)
Jul 2020 – Dic 2020	464	10	46.40
Ene 2021 – Jun 2021	188	6	31.33

Nota. Elaboración propia

De acuerdo con estas tablas se obtuvo la siguiente tabla de disponibilidad:

Tabla 9

Análisis disponibilidad del equipo puente grúa

Periodo	MTBF (h)	MTTR (h)	Disponibilidad (%)
Jul 2020 – Dic 2020	216.00	46.40	82.32
Ene 2021 – Jun 2021	360.00	31.33	91.99

Nota. Elaboración propia

Según el análisis de la disponibilidad del equipo con la aplicación de la metodología RCM la disponibilidad incremento en un 9.68%.

Para el cálculo de la confiabilidad se asumió una distribución exponencial (tasa de falla constante), donde $\lambda = 1/\text{MTBF}$ y $R(t) = e^{-t/\text{MTBF}}$, siendo t las horas de operación.

Tabla 10

Confiabilidad del puente grúa en los dos periodos

Indicador	Jul 2020 – Dic 2020	Ene 2021 – Jun 2021
MTBF (h)	216.00	360.00
λ (fallas/h)	4.63×10^{-3}	2.78×10^{-3}
R(24 h) (%)	89.48	93.55
R(72 h) (%)	71.65	81.87
R(168 h) (%)	45.94	62.71

Nota. Elaboración propia.

Con la aplicación de la metodología RCM, la confiabilidad del puente grúa aumentó: el MTBF creció 66.7 % y la tasa de falla se redujo 40 %. En consecuencia, la confiabilidad para 24 h de operación aumentó 4.5 % y para 168 h, 36.5 % (Tabla 10).

CONCLUSIONES

1. Se ha determinado el contexto operativo del equipo puente grúa de 10 toneladas, del cual se obtuvieron 5 subsistemas, definiendo las funciones y estándares de cada uno de ellos.
2. El subsistema de elevación es el más crítico y de mayor importancia debido a que este subsistema tiene el mayor número de modos de fallas con consecuencias a la seguridad o media ambiente (16 modos de fallas).
3. En cuanto a los modos de falas de consecuencias de fallo oculto se encontraron 16 modos de fallas, siendo en su mayoría en el subsistema de elevación (06 modos de fallos).
4. En total se encontraron 128 modos de fallas del puente grúa, que en su mayoría son del sistema de elevación (39 modos de fallas, representando el 31 %del total).
5. Se elaboro la métrica de disponibilidad de equipo en dos periodos antes del RCM (Julio 2020 -Diciembre 2020) y después del RMC (Enero 2021 – Junio 2021), evidencia un incremento de la disponibilidad del equipo de un 9.68%.
6. Con la aplicación de la metodología RCM, la confiabilidad del puente grúa aumentó: el MTBF creció 66.7 % y la tasa de falla se redujo 40 %. En consecuencia, la confiabilidad para 24 h de operación aumentó 4.5 % y para 168 h, 36.5 %

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que el diseño del plan de mantenimiento se ejecutado por personal capacitado en equipos de izaje.
2. Se recomienda que todo personal involucrado en la operación del equipo (Personal de operación y mantenimiento) tenga conocimiento del plan de mantenimiento, así como la ejecución de las actividades de mantenimiento.
3. Dar una mayor relevancia a los modos con consecuencias de fallos ocultos (16 modos de fallos) debido a potenciales fallas no previstas, así como a las fallas con consecuencia a la seguridad (16 modos de fallas), estos deben ser muy estrictos en el cumplimiento de la actividad.
4. En la ejecución de actividades de mantenimiento, se debe dar prioridad a sistema de elevación esta se considera critica por tener el mayor numero de fallas (39 modo de fallas), además de que este sistema compromete la seguridad operativa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFNOR. (1994). *Norma AFNOR NF X 60-010.* Paris: ARNOR.

Aguilar Otero, J., Torres Arcique, R., & Magaña Jiménez, D. (2010). *Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad.* México: Tecnología, Ciencia, Educación. doi:ISSN: 0186-6036.

Amendola, L. (2005). *Balanced Scorecard Maintenance.* Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.

Augusto Tavares, L. (1999). *Administración Moderna de Mantenimiento.* Novo Polo Publicacoes.

Augusto Tavares, L., Esmeraldo Da Silva, J., Antonio Calixto, M., & Poydo, P. R. (2013). *Mantenimiento Centrado en el Negocio.* Guanajuato, Mexico: Noria Latin America.

Azcuénaga Linaza, L. M. (2007). *Manejo de cargas. Riesgos y medidas preventivas.* Madrid, España: FC Editorial.

Barreda Beltrán, S. (2015). *Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (r.c.m.) en la edar de nules-vilavella.* UNIVERSITAT JAUME I, Castelló.

Bloom, N. (2006). *Reliability Centered Maintenance. Implementation made.* New York: McGraw-Hill Inc.

Campos López, O., Tolentino Eslava, G., Toledo Velázquez, M., & Tolentino Eslava, R. (2019). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. doi:ISSN: 1665-0654

CMAA. (2002). *Estándares y Pautas Para Servicios Profesionales Efectuados a Grúas Rodante y Puentes Grúas y Equipo de Levante Asociado CMAA - Especificación N° 78.*

Comesaña Costas, P. (2010). *Montaje e instalación de grúas: Procedimientos básicos para montar, maniobrar e instalar mecanismos de elevación y traslación.* España: Ideaspropias Editorial.

Díaz Cama, M. Á. (2013). *MF0637_1: Manipulación de Cargas con Puestes-Grúa y Polipastos.* Málaga, España: Interconsulting Bureau S.L.

Duffuaa, S., Raouf, A., & Campbell, J. (2000). *Sistemas de mantenimiento: planeación y control.* Limusa.

García Garrido, S. (2010). *Organización y gestión integral de mantenimiento.* Madrid: Ediciones Diaz de santos.

Gonzáles Fernández, F. J. (2005). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado.* FC editorial.

J. Woodhouse. (1996). *Course of Reliability Centered Maintenance (RCM) - Section two: Failure Modes and Effects Analysis.* England: The Woodhouse Partnership.

Jones, R. B. (1995). *Risk-Based Management: A Reliability-Centered Approach 1st Edición.* Texas: Gulf Publishing Company.

Mora Gutiérrez, A. (2009). *Mantenimiento-planeación, ejecución y control.* Bogotá: Alfaomega Grupo Editor.

Mora Gutiérrez, A. (2012). *Mantenimiento Industrial Efectivo.* Colombia: Coldi.

Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.* Asheville, North Carolina USA: Aladon LLC.

Navarro, J. (2004). *TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.* Editorial Calpe Institute of Technology.

NTP-736. (2006). *Grúas tipo puente (I): generalidades.* Instituto nacional de seguridad y salud en el trabajo.

Parra Márquez, C. A., & Crespo Márquez, A. (2012). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la Gestión de Activos.* España: INGEMAN.

SAE JA1011. (1999). *Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (SAE JA1011:1999).* Pennsylvania, United States: Society of Automotive Engineers.

SAE JA1012. (2002). *Una Guía para la Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC).* Pennsylvania, United States: Society of Automotive.

Silva Ardila, P., & Orrego Barrera, J. (2014). *Confiabilidad en la Práctica.* Barranquilla, Colombia.

SMITH, A. (1993). *Reability Centred Maintenace.* New York: McGraw Hill.

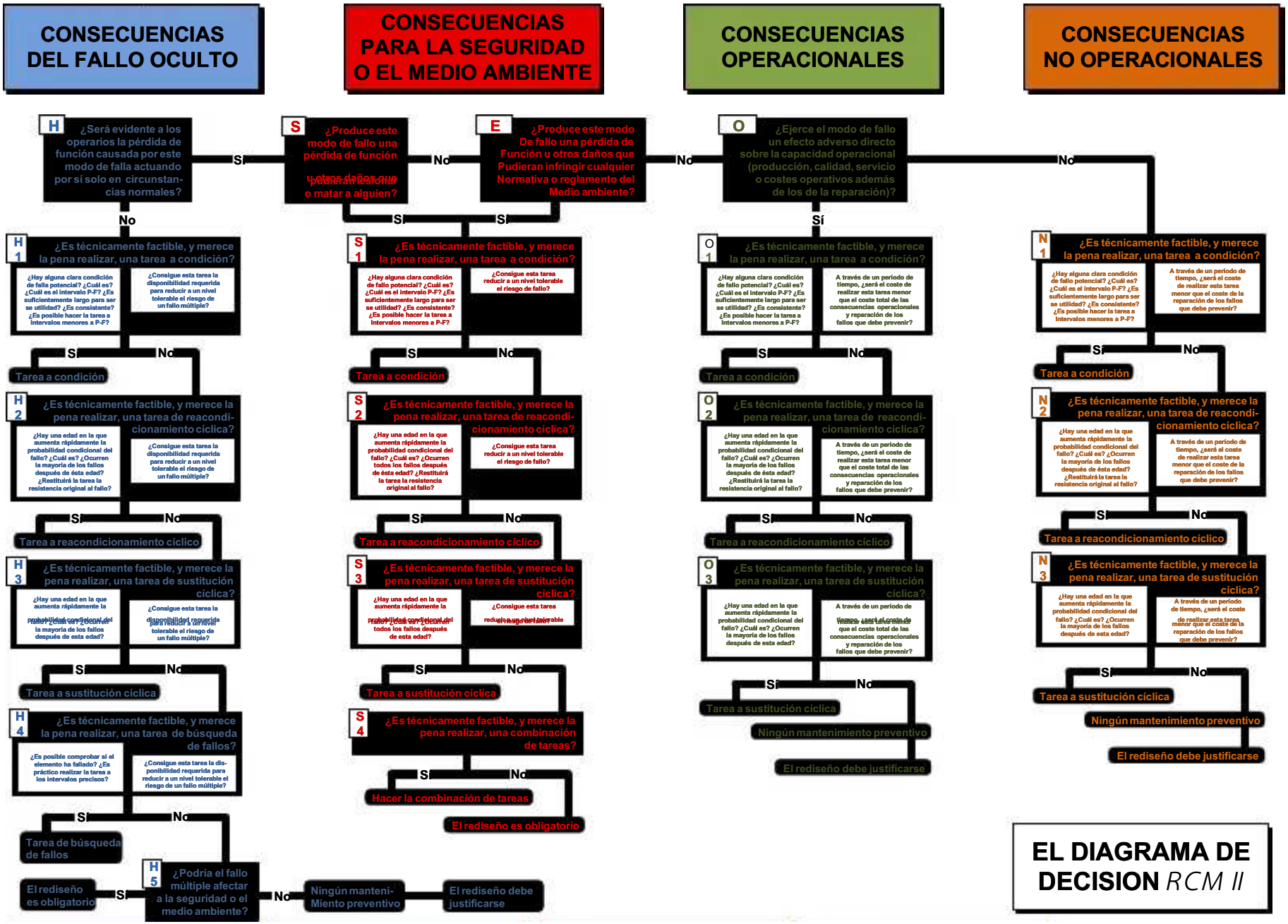
Smith, A., & Hinchcliffe, G. (2004). *RCM--Gateway to world class maintenance.* Elsevier.

Torres Marquez, L. (1969). *El equipo de transporte de materiales y sus fabricante.* Madrid: Gráficas Roma - Emilio Ferrari.

UNE-EN 13306. (2011). Maintenance terminology.

ANEXOS

ANEXO A.
DIAGRAMA DE DECISIÓN RCM


CONSECUENCIAS DEL FALLO OCULTO
CONSECUENCIAS PARA LA SEGURIDAD O EL MEDIO AMBIENTE
CONSECUENCIAS OPERACIONALES
CONSECUENCIAS NO OPERACIONALES
H ¿Será evidente a los operarios la pérdida de función causada por este modo de falla actuando por sí solo en circunstancias normales?
Si
S ¿Produce este modo de fallo una pérdida de función
¿Produce este modo de fallo una pérdida de función u otros daños que podrían lesionar o matar a alguien?
No
E ¿Produce este modo De fallo una pérdida de Función u otros daños que Pudieran infringir cualquier Normativa o reglamento del Medio ambiente?
No
O ¿Ejerce el modo de fallo un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional (producción, calidad, servicio o costes operativos además de los de la reparación)?
No
No
Sí
Sí
Sí
H1 ¿Es técnicamente factible, y merece la pena realizar, una tarea a condición?
¿Hay alguna clara condición de fallo potencial? ¿Cuál es? ¿Cuál es el intervalo P-F? ¿Es suficientemente largo para ser se utilidad? ¿Es consistente? ¿Es posible hacer la tarea a Intervalos menores a P-F?
¿Consigue esta tarea la disponibilidad requerida para reducir a un nivel tolerable el riesgo de un fallo múltiple?
Si
No
Tarea a condición
H2 ¿Es técnicamente factible, y merece la pena realizar, una tarea de reacondicionamiento cíclica?
¿Hay una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional del fallo? ¿Cuál es? ¿Ocurren la mayoría de los fallos después de ésta edad? ¿Restituirá la tarea la resistencia original al fallo?
¿Consigue esta tarea la disponibilidad requerida para reducir a un nivel tolerable el riesgo de un fallo múltiple?
Si
No
Tarea a reacondicionamiento cíclico
H3 ¿Es técnicamente factible, y merece la pena realizar, una tarea de sustitución cíclica?
¿Hay una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional del fallo? ¿Cuál es? ¿Ocurren la mayoría de los fallos después de esta edad?
¿Consigue esta tarea la disponibilidad requerida para reducir a un nivel tolerable el riesgo de un fallo múltiple?
Si
No
Tarea a sustitución cíclica
H4 ¿Es técnicamente factible, y merece la pena realizar, una tarea de búsqueda de fallos?
¿Es posible comprobar si el elemento ha fallado? ¿Es práctico realizar la tarea a los intervalos precisos?
¿Consigue esta tarea la disponibilidad requerida para reducir a un nivel tolerable el riesgo de un fallo múltiple?
Si
No
Tarea de búsqueda de fallos
H5 ¿Podría el fallo múltiple afectar a la seguridad o el medio ambiente?
Si
No
El rediseño es obligatorio
Ningún mantenimiento preventivo
El rediseño debe justificarse
S1 ¿Es técnicamente factible, y merece la pena realizar, una tarea a condición?
¿Hay alguna clara condición de fallo potencial? ¿Cuál es? ¿Cuál es el intervalo P-F? ¿Es suficientemente largo para ser se utilidad? ¿Es consistente? ¿Es posible hacer la tarea a Intervalos menores a P-F?
¿Consigue esta tarea reducir a un nivel tolerable el riesgo de fallo?
Si
No
Tarea a condición
S2 ¿Es técnicamente factible, y merece la pena realizar, una tarea de reacondicionamiento cíclica?
¿Hay una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional del fallo? ¿Cuál es? ¿Ocurren todos los fallos después de ésta edad? ¿Restituirá la tarea la resistencia original al fallo?
¿Consigue esta tarea reducir a un nivel tolerable el riesgo de fallo?
Si
No
Tarea a reacondicionamiento cíclico
S3 ¿Es técnicamente factible, y merece la pena realizar, una tarea de sustitución cíclica?
¿Hay una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional del fallo? ¿Cuál es? ¿Ocurren todos los fallos después de esta edad?
¿Consigue esta tarea reducir a un nivel tolerable el riesgo de fallo?
Si
No
Tarea a sustitución cíclica
S4 ¿Es técnicamente factible, y merece la pena realizar, una combinación de tareas?
Si
No
Hacer la combinación de tareas
El rediseño es obligatorio
O1 ¿Es técnicamente factible, y merece la pena realizar, una tarea a condición?
¿Hay alguna clara condición de fallo potencial? ¿Cuál es? ¿Cuál es el intervalo P-F? ¿Es suficientemente largo para ser se utilidad? ¿Es consistente? ¿Es posible hacer la tarea a Intervalos menores a P-F?
A través de un período de tiempo, ¿será el coste de realizar esta tarea menor que el coste total de las consecuencias operacionales y reparación de los fallos que debe prevenir?
Si
No
Tarea a condición
O2 ¿Es técnicamente factible, y merece la pena realizar, una tarea de reacondicionamiento cíclica?
¿Hay una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional del fallo? ¿Cuál es? ¿Ocurren la mayoría de los fallos después de ésta edad? ¿Restituirá la tarea la resistencia original al fallo?
A través de un período de tiempo, ¿será el coste de realizar esta tarea menor que el coste total de las consecuencias operacionales y reparación de los fallos que debe prevenir?
Si
No
Tarea a reacondicionamiento cíclico
O3 ¿Es técnicamente factible, y merece la pena realizar, una tarea de sustitución cíclica?
¿Hay una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional del fallo? ¿Cuál es? ¿Ocurren la mayoría de los fallos después de esta edad?
A través de un período de tiempo, ¿será el coste de realizar esta tarea menor que el coste total de las consecuencias operacionales y reparación de los fallos que debe prevenir?
Si
No
Tarea a sustitución cíclica
Ningún mantenimiento preventivo
El rediseño debe justificarse
N1 ¿Es técnicamente factible, y merece la pena realizar, una tarea a condición?
¿Hay alguna clara condición de fallo potencial? ¿Cuál es? ¿Cuál es el intervalo P-F? ¿Es suficientemente largo para ser se utilidad? ¿Es consistente? ¿Es posible hacer la tarea a Intervalos menores a P-F?
A través de un período de tiempo, ¿será el coste de realizar esta tarea menor que el coste de la reparación de los fallos que debe prevenir?
Si
No
Tarea a condición
N2 ¿Es técnicamente factible, y merece la pena realizar, una tarea de reacondicionamiento cíclica?
¿Hay una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional del fallo? ¿Cuál es? ¿Ocurren la mayoría de los fallos después de ésta edad? ¿Restituirá la tarea la resistencia original al fallo?
A través de un período de tiempo, ¿será el coste de realizar esta tarea menor que el coste de la reparación de los fallos que debe prevenir?
Si
No
Tarea a reacondicionamiento cíclico
N3 ¿Es técnicamente factible, y merece la pena realizar, una tarea de sustitución cíclica?
¿Hay una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional del fallo? ¿Cuál es? ¿Ocurren la mayoría de los fallos después de esta edad?
A través de un período de tiempo, ¿será el coste de realizar esta tarea menor que el coste de la reparación de los fallos que debe prevenir?
Si
No
Tarea a sustitución cíclica
Ningún mantenimiento preventivo
El rediseño debe justificarse
EL DIAGRAMA DE DECISION RCM II

ANEXO B.

DECRETO SUPREMO Nº 024-2016-EM
CAPÍTULO III

SISTEMA DE IZAJE

ARTÍCULO 371

CAPÍTULO III
SISTEMA DE IZAJE

ART. 371.- El izaje es un sistema utilizado para levantar, bajar, empujar o tirar una carga por medio de equipos tales como elevadores eléctricos, de aire o hidráulicos, grúas móviles, puentes - grúa, winches y tecles.

Los componentes accesorios, en el proceso de izaje, son aquellos utilizados para conectar la máquina elevadora a la carga, tales como cadenas, eslingas de fibra, estrobos, ganchos, grilletes, anillos y poleas.

Para el uso de equipos y accesorios de izaje se debe tener en consideración lo siguiente:

a) La construcción, operación y mantenimiento de todos los equipos y accesorios de izaje deben efectuarse de acuerdo a las normas técnicas establecidas por los fabricantes. Cada equipo de izaje y accesorios debe tener claramente indicada la capacidad máxima y una tabla de ángulos de izaje debe ser pegada en un lugar adecuado, fácilmente visible para el operador.
b) Usar la cuerda guía amarrada a la carga.
c) La inspección de equipos y componentes accesorios es esencial para asegurar que el sistema de izaje se encuentra en buenas condiciones de operación y funcionamiento.
d) El supervisor responsable del área de trabajo autoriza el uso del equipo de izaje sólo al trabajador calificado y autorizado.
e) El titular de actividad minera será responsable del mantenimiento, así como de las inspecciones periódicas que deben ser efectuadas por trabajadores capacitados, a fin de mantenerlos en condiciones seguras de trabajo, colocando en lugar visible la constancia de dichas inspecciones.
f) Cualquier trabajo con movimientos de carga en altura debe señalizarse en los niveles inferiores con avisos o barreras advirtiendo la probabilidad de caída de objetos. Toda grúa móvil

debe estar dotada de un dispositivo de sonido que alarme respecto de su desplazamiento o giro.

g) Durante las operaciones de izaje sólo debe usarse señales manuales estándares. Durante el proceso de ascenso, el trabajador responsable de las señales debe identificarlas y coordinar su uso. La única excepción a la regla es una señal de detección de emergencia que puede ser ejecutada por otro trabajador.

h) La carga debe estar amarrada por un cordel o cuerda guía que evite su balanceo, en toda circunstancia. El equipo de izaje debe ser usado para el propósito diseñado. No debe exceder la capacidad de carga. Debe brindarse acceso seguro a las grúas aéreas.

i) En el caso de grúas-puente, en la superficie inferior del puente debe indicarse los movimientos de traslación, subir - bajar, en correspondencia a lo marcado en la botonera de control y comando. Los equipos de izaje motorizados deben estar provistos de interruptores - límites de seguridad, tanto para la acción de traslado como soporte del peso máximo. En todo equipo de izaje accionado eléctricamente se debe asegurar: i) que el conductor no será atrapado por efecto de la acción de izaje y ii) que debe poseer todas las protecciones del caso, incluyendo la conexión a tierra.

j) Los equipos de izaje y sus accesorios deben tener números identificativos claramente pintados o estampados, además de su hoja de registro. El equipo accesorio debe mantenerse limpio y almacenado en lugares adecuados, de manera tal que no esté en contacto con el suelo.

k) En los ganchos se debe marcar tres (3) puntos equidistantes a fin de medir la deformación producto de su uso, la cual jamás deberá exceder el quince por ciento (15%) de las longitudes originales. Todos los ganchos deben estar equipados con un pasador de seguridad para prevenir una desconexión de la carga. Los ganchos de levante no deben pintarse a fin de detectar fisuras, no deben soldarse, afilarse, calentarse ni repararse.

l) El número de hilos rotos en el tramo de dos (2) metros del cable donde haya roturas que exceda al diez por ciento (10%) de la cantidad total de hilos, deberá ser retirado.
m) En el caso de tambores de enrollado de cables, se debe asegurar que, con el gancho depositado a nivel del suelo, permanezcan en el tambor por lo menos tres (3) vueltas de cables.

ANEXO C.

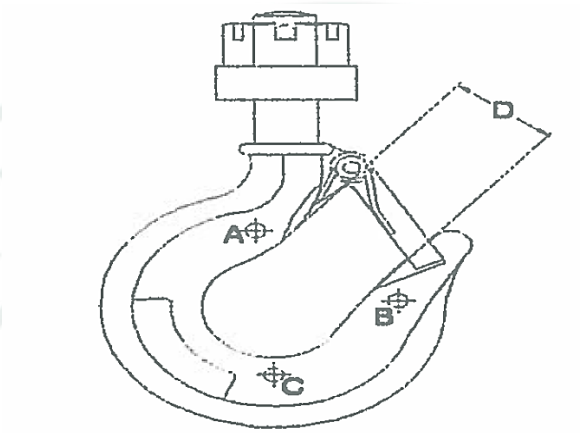
CARTILLA DE INSPECCIÓN DE GANCHO SEGÚN DECRETO SUPREMO Nº 024-2016-EM SISTEMA DE IZAJE ARTÍCULO 371

GERENCIA DE MANTENIMIENTO MINA
FICHA TECNICA DE MANTENIMIENTO
GRUA PUENTE/MONORRIEL/PORTICOS/JIB CRANE

INSPECCIÓN DE GANCHO

CARTILLA DE INSPECCION DE GANCHO

CODIGO DE EQUIPO: _____ UBICACIÓN: _____
CODIGO ELIPSE: _____ FECHA: _____
EJECUTADO POR: _____ GUARDIA: _____



	PUNTOS DE CONTROL					
	GANCHO PRINCIPAL	BUENO	MALO	GANCHO AUXILIAR	BUENO	MALO
	(mm)	< 15%	>15%	(mm)	< 15%	>15%
A-B						
C-A						
C-B						
D						

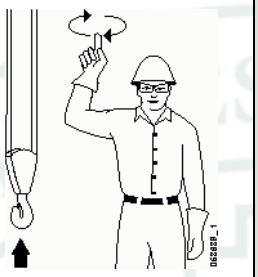
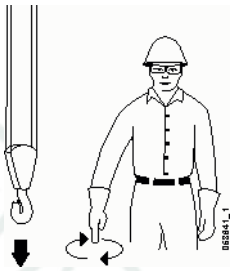
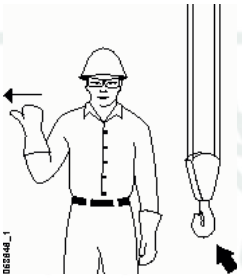
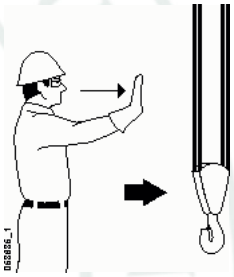
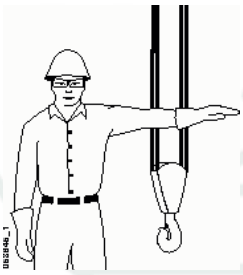
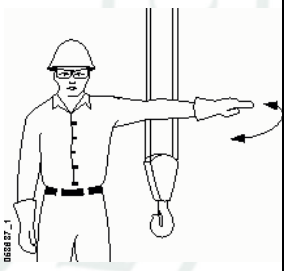
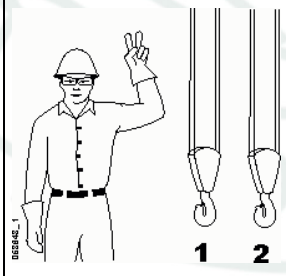
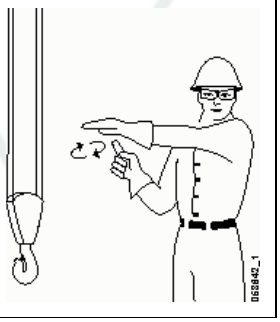
Condición Actual General:
Recomendaciones y/o Observaciones:

DECRETO SUPREMO Nº 024-2016-EM
SISTEMA DE IZAJE
ARTICULO 371

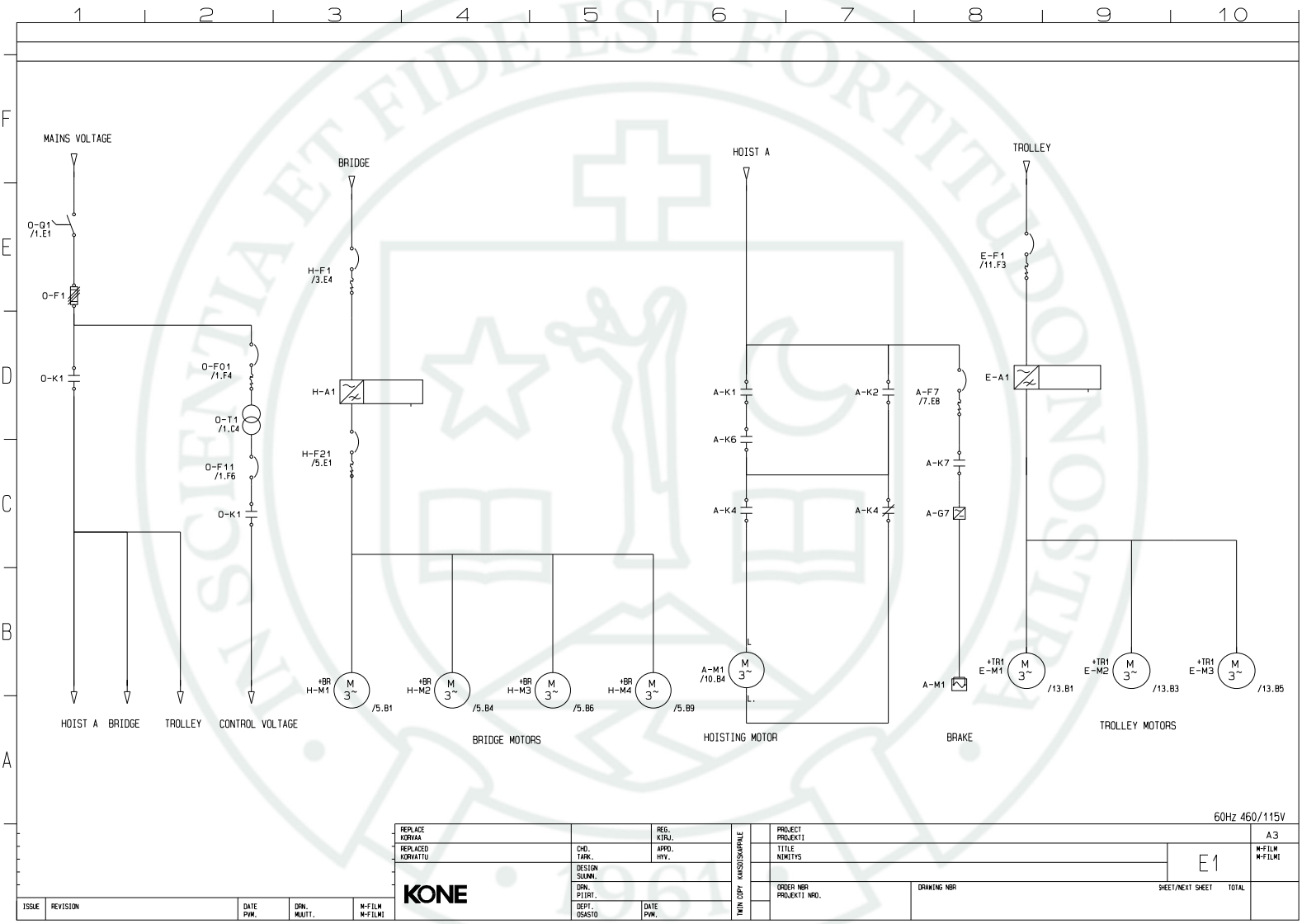
En los ganchos se debe marcar tres (3) puntos equidistantes a fin de medir la deformación producto de su uso, la cual jamás deberá exceder el quince por ciento (15%) de las longitudes originales. Todos los ganchos deben estar equipados con un pasador de seguridad para prevenir una desconexión de la carga. Los ganchos de levante no deben pintarse a fin de detectar fisuras, no deben soldarse, afilarse, calentarse ni repararse.

Tec. Responsable de la inspección	Empresa Contratista	Supervisor Dueño de Equipo (Usuario)	Superintendente

ANEXO D.
SEÑALES MANUALES ANSI

•	Descripción	Señal manual ANSI		Descripción	Señal manual ANSI
	Polipasto Con el antebrazo de forma vertical y el dedo índice hacia arriba, mover la mano realizando un pequeño círculo horizontal.			Bajar Con el brazo extendido hacia abajo y el dedo índice hacia abajo, mover la mano realizando un pequeño círculo horizontal.	
	Desplazamiento del carro Con la palma de la mano hacia arriba, dedos cerrados, pulgar en dirección del movimiento, sacudir la mano horizontalmente.			Desplazamiento del puente Con el brazo extendido hacia delante, mano abierta y levemente alzada, realizar un movimiento de empuje en dirección del desplazamiento.	
	Parada Con el brazo extendido, palma de la mano hacia abajo y posición rígida.			Parada de emergencia Con el brazo extendido, palma de la mano hacia abajo, mover rápidamente la mano hacia la derecha y la izquierda.	
	Carros múltiples Alzar un dedo para el bloque “1” y dos, para el “2”. Siguen señales regulares.			Mover lentamente Utilizar una mano para dar señales de movimiento y dejar la otra inmóvil respecto a la primera. (Elevar lentamente tal como se muestra en el ejemplo.)	

ANEXO E.
PLANO ELÉCTRICO



60Hz 460/115V

ISSUE	REVISION	DATE PVM.	DRN. MUUT.	M-FILM M-FILMI

KONE

REPLACE KORVAA		REG. KIRJ.	
REPLACED KORVATTU	CHD. TARK.	APPD. HYV.	
	DESIGN SUUNN.		
	DRN. PIIRT.		
	DEPT. OSASTO	DATE PVM.	

TMTN. COPY KÄYTÖSKAPPALE

PROJECT PROJEKTI			A3
TITLE NIMITYS		E1	M-FILM M-FILMI
ORDER NBR PROJEKTI NRO.	DRAWING NBR	SHEET/NEXT SHEET	TOTAL

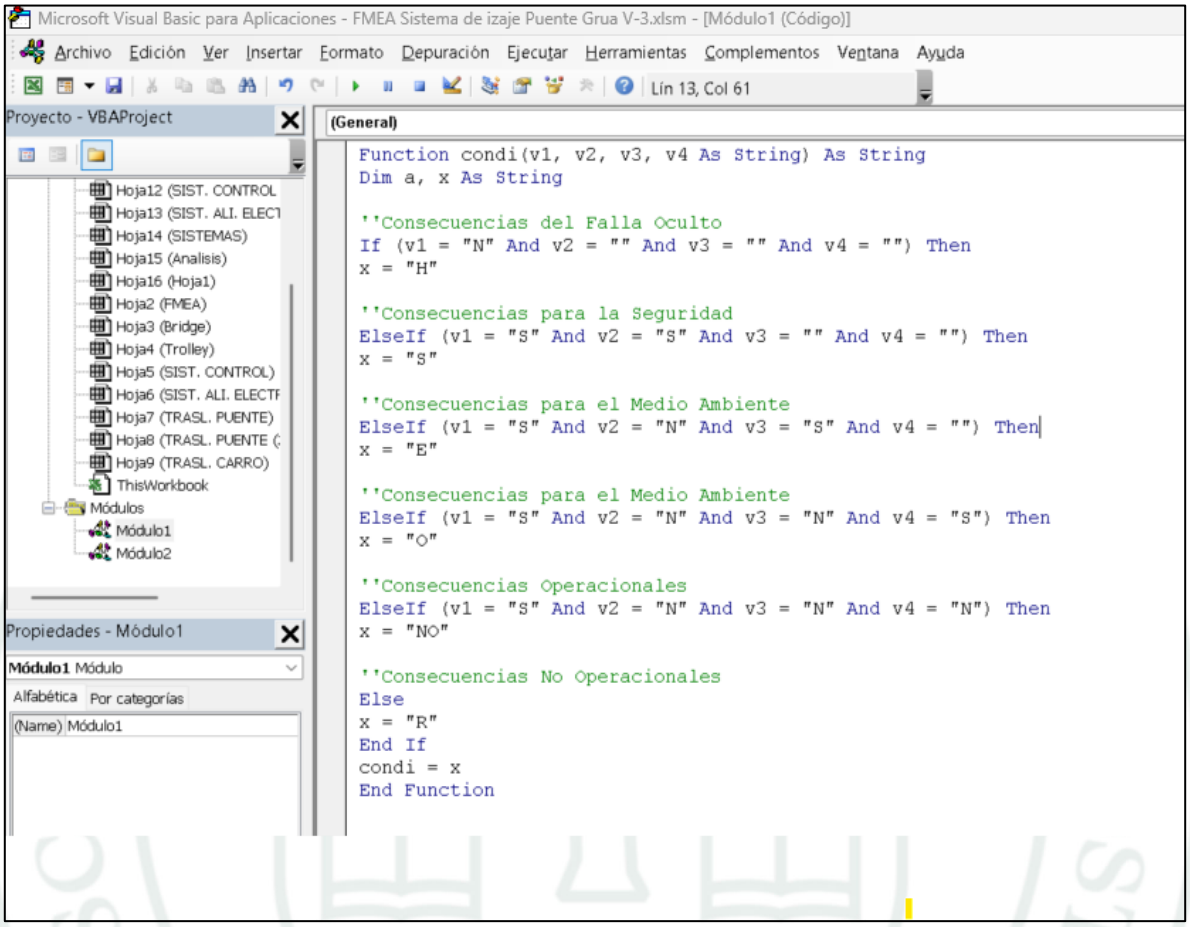
ANEXO F.

CONTABILIZACIÓN DE FALLAS DE EVALUACIÓN DE LA HOJA DE DECISIÓN RCM

&

CONTABILIZACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO

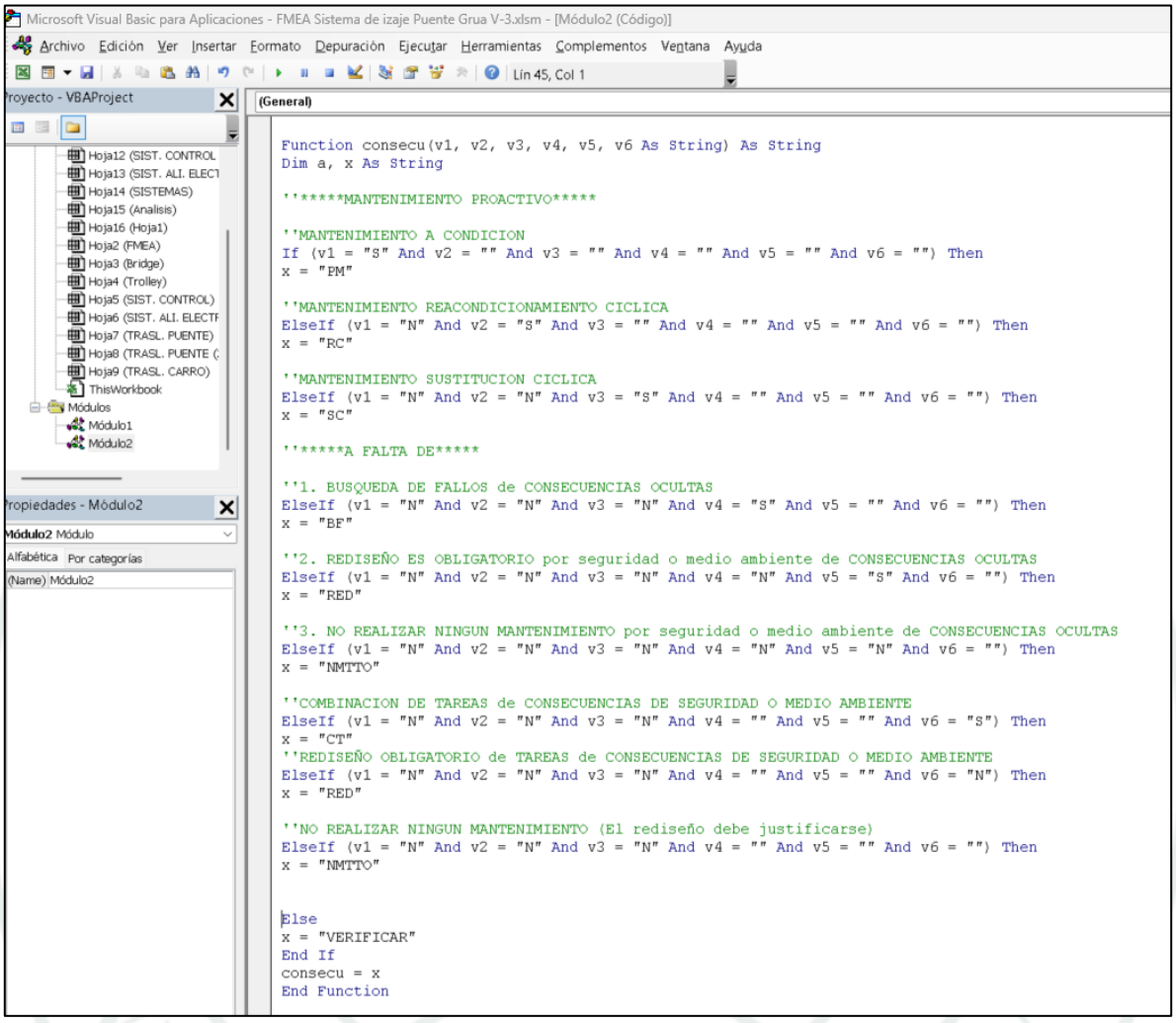
CÓDIGO DE MACROS DE EXCEL VBA- PARA CONTABILIZAR CONSECUENCIAS DE EVALUACIÓN DE LA "HOJA DE DECISIÓN RCM"



Donde:

Consecuencias del Falla Oculto	**H**
Consecuencias para la Seguridad	**S**
Consecuencias para el Medio Ambiente	**E**
Consecuencias Operacionales	**O**
Consecuencias No Operacionales	**NO**

CODIGO DE MODULO DE MACROS DE EXCEL VBA- PARA CONTABILIZAR ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO



Donde:

Mantenimiento a condición	**PM**
Reacondicionamiento cíclica	**RC**
Sustitución cíclica	**SC**
Búsqueda de falla	**BF**
Rediseño	**RED**
Mantenimiento a rotura	**NMTTO**

HOJA DE DECISIÓN PUENTE GRÚA

Nombre de la Planta:	Sistema/Activo:	Sistema N°:	Facilitador:	Fecha:	Hoja N°
Taller equipo liviano	**Puente Grúa de 10 toneladas**	**01**	**Hector Chara**	**21/05/21**	**1**
	Sub-Sistema/Componente:	Subsistema N°:	Auditor:	Fecha:	De
	Sistema de traslación Puente	**01- 01**	**Gonzalo Rivera**	**21/06/21**	**5**

REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	TAREAS Y ACCIONES "A FALTA DE"			Tarea propuesta	Frecuencia Inicial	A Realizar Por:	CONTABILIZAR CONSECUENCIAS	CONTABILIZAR CONSECUENCIAS
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4					
1	A	1	S	N	N	S	S						Limpieza de cubículo de variador de frecuencia	Trimestral	Eléctrico	O	PM
		2	S	N	N	S	S						Megado de motores	Mensual	Eléctrico	O	PM
		3	S	N	N	S	S						Verificar si Motor-reductor presenta ruido	Mensual	Eléctrico	O	PM
		4	S	N	N	S	N	N	N				No hay tareas que eviten este modo de falla, depende del entrenamiento del operador	En Operación	Operador	O	NMTTO
		5	S	N	N	S	S						Medición de amperaje de corriente o verificación de parámetros de registros de fallas en variador de frecuencia	Mensualmente	Eléctrico	O	PM
		6	S	N	N	S	S						Lubricación de kit de freno de motores.	Trimestral	Mecánico	O	PM
		7	S	N	N	S	S						Verificar chavetas, reemplazar de ser necesarios	Trimestral	Mecánico	O	PM
		8	S	N	N	S	N	N	S				Lubricación de rodadura de testero	Trimestral	Mecánico	O	SC
		9	S	N	N	S	S						Verificar estado de aprietes de conexiones eléctricas, de ser necesario la utilizar limpia	Trimestral	Eléctrico	O	PM
		10	S	N	N	S	N	N	S				Inspección límite de carrera, de ser necesario realizar cambio.	Trimestral	Eléctrico	O	SC
	B	1	S	N	N	N	S						Medición de resistencia de resistor de frenado, verificación de registro de falla en variador de frecuencia.	Mensual	Eléctrico	NO	PM
		2	S	N	N	S	S						Verificación de historial de eventos de fallas en variador de frecuencia según eventos programar	Trimestral	Eléctrico	O	PM
		3	S	N	N	S	S						Verificar estado de ventiladores de motores, de ser necesario reemplazarlos	Trimestral	Eléctrico	O	PM
		4	N				N	N	N	S			Inspección de funcionamiento sensor de temperatura o verificación de eventos de fallas en variador de frecuencia	Mensual	Eléctrico	H	BF
		5	N				S						Realizar un examen exhaustivo de la geometría en grúa (Medición de la alineación de los testeros y las ruedas, Verificación de la	Cada 5 Años	Técnico especializado	H	PM
	C	1	S	N	N	S	S						Inspeccionar estado de e límite de carrera de traslación puente, reemplazar de ser necesario	Trimestral	Mecánico	O	PM
		2	S	N	N	S	S						Verificar estado de actuador de límite de carrera, de ser necesario reemplazar	Trimestral	Mecánico	O	PM
		3	S	N	N	N	N	N	N	S			Verificar correcto funcionamiento de recorrido de traslación puente y en caso de defectos	Semanal	Operador	NO	BF
		4	S	N	N	N	S						Verificar distancia normal de detención o inspeccionar resistencia de bobina de freno	Mensual	Eléctrico	NO	PM
	D	1	S	N	N	S	S						Verificar parámetros de programación de motores en variador de frecuencia, de ser necesario	Trimestral	Eléctrico	O	PM
		2	S	N	N	S	N	S					Lubricación de ruedas de testero	Mensual	Mecánico	O	RC
		3	S	N	N	S	S						Verificar si motor reductor presenta ruido	Semestral	Mecánico	O	PM
	E	1	N				N	N	N	S			Verificar rampa de aceleración según parámetros de motor, de ser necesario realizar ajustes	Trimestral	Eléctrico	H	BF
		2	S	N	N	N	S						Regular air gap (torque de freno) o resorte de retorno	Trimestral	Eléctrico	NO	PM
		3	S	N	N	N	N	N	S				Limpieza o inspección de rodadura de puente	Trimestral	Mecánico	NO	SC
		4	S	N	N	N	S						Verificar espesor de freno según tabla del fabricante y reemplazarlos si es necesario.	Trimestral	Mecánico	NO	PM
		5	S	N	N	N	S						Inspeccionar estado de plato de freno y reemplazar de ser necesario.	Trimestral	Mecánico	NO	PM

Consecuencias del Falla Oculto	**3**	**19**	**Mantenimiento a condición**
Consecuencias para la Seguridad	**0**	**1**	**Reacondicionamiento cíclica**
Consecuencias para el Medio Ambiente	**0**	**3**	**Sustitución cíclica**
Consecuencias Operacionales	**17**	**3**	**Búsqueda de falla**
Consecuencias No Operacionales	**7**	**0**	**Rediseño**
TOTAL	**27**	**1**	**Mantenimiento a rotura**
		27	**TOTAL**

HOJA DE DECISIÓN PUENTE GRÚA

Nombre de la Planta:	Sistema/Activo:	Sistema N°:	Facilitador:	Fecha:	Hoja N°
Taller equipo liviano	**Puente Grúa de 10 toneladas**	**01**	**Hector Chara**	**21/05/21**	**2**
	Sub-Sistema/Componente:	Subsistema N°:	Auditor:	Fecha:	De
	Sistema de traslación Carro	**01- 02**	**Gonzalo Rivera**	**21/06/21**	**5**

REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1 / S1 / O1	H2 / S2 / O2	H3 / S3 / O3	TAREAS Y ACCIONES "A FALTA DE"			Tarea propuesta	Frecuencia Inicial	A Realizar Por:	CONTABILIZAR CONSECUENCIAS	CONTABILIZAR ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4					
2	A	1	S	N	N	S	S						Limpieza de cubículo de variador de frecuencia	Trimestral	Eléctrico	O	PM
		2	S	N	N	S	S						Megado de motores	Mensual	Eléctrico	O	PM
		3	S	N	N	S	S						Verificar si Motor-reductor presenta ruido	Mensual	Eléctrico	O	PM
		4	S	N	N	S	N	N	N				No hay tareas que eviten este modo de falla, depende del entrenamiento del operador	En Operación	Operador	O	NMTTO
		5	S	N	N	S	S						Medición de amperaje de corriente o verificación de parámetros de registros de fallas en variador de frecuencia	Mensualmente	Eléctrico	O	PM
		6	S	N	N	S	S						Lubricación de kit de freno de motores.	Trimestral	Mecánico	O	PM
		7	S	N	N	S	S						Verificar chavetas, reemplazar de ser necesarios	Trimestral	Mecánico	O	PM
		8	S	N	N	S	N	N	S				Lubricación de rodadura de testero	Trimestral	Mecánico	O	SC
		9	S	N	N	S	S						Verificar estado de aprietes de conexiones eléctricas, de ser necesario la utilizar limpia	Trimestral	Eléctrico	O	PM
		10	S	N	N	S	N	N	S				Inspección límite de carrera, de ser necesario realizar cambio.	Trimestral	Eléctrico	O	SC
	B	1	S	N	N	N	S						Medición de resistencia de resistor de frenado, verificación de registro de falla en variador de frecuencia.	Mensual	Eléctrico	NO	PM
		2	S	N	N	S	S						Verificación de historial de eventos de fallas en variador de frecuencia según eventos programar	Trimestral	Eléctrico	O	PM
		3	S	N	N	S	S						Verificar estado de ventiladores de motores, de ser necesario reemplazarlos	Trimestral	Eléctrico	O	PM
		4	N				N	N	N	S			Inspección de funcionamiento sensor de temperatura o verificación de eventos de fallas en variador de frecuencia	Mensual	Eléctrico	H	BF
	C	1	S	N	N	S	S						Inspeccionar estado de e límite de carrera de traslación carro, reemplazar de ser necesario	Trimestral	Mecánico	O	PM
		2	S	N	N	S	S						Verificar estado de actuador de límite de carrera, de ser necesario reemplazar	Trimestral	Mecánico	O	PM
		3	S	N	N	N	N	N	N	S			Verificar correcto funcionamiento de recorrido de traslación carro y en caso de defectos reportarlos	Semanal	Operador	NO	BF
		4	S	N	N	N	S						Verificar distancia normal de detención o inspeccionar resistencia de bobina de freno	Mensual	Eléctrico	NO	PM
	D	1	S	N	N	S	S						Verificar parámetros de programación de motores en variador de frecuencia, de ser necesario	Trimestral	Eléctrico	O	PM
		2	S	N	N	S	N	S					Lubricación de ruedas de testero	Mensual	Mecánico	O	RC
		3	S	N	N	S	S						Verificar si motor reductor presenta ruido	Semestral	Mecánico	O	PM
	E	1	N				N	N	N	S			Verificar rampa de aceleración según parámetros de motor, de ser necesario realizar ajustes	Trimestral	Eléctrico	H	BF
		2	S	N	N	N	S						Regular air gap (torque de freno) o resorte de retorno	Trimestral	Eléctrico	NO	PM
		3	S	N	N	N	S						Verificar funcionamiento de limpia rieles, de ser necesario ajustar	Trimestral	Mecánico	NO	PM
		4	S	N	N	N	S						Verificar espesor de freno según tabla del fabricante y reemplazarlos si es necesario.	Trimestral	Mecánico	NO	PM
		5	S	N	N	N	S						Inspeccionar estado de plato de freno y reemplazar de ser necesario.	Trimestral	Mecánico	NO	PM

Consecuencias del Falla Oculto	**2**	**19**	**Mantenimiento a condición**
Consecuencias para la Seguridad	**0**	**1**	**Reacondicionamiento cíclica**
Consecuencias para el Medio Ambiente	**0**	**2**	**Sustitución cíclica**
Consecuencias Operacionales	**17**	**3**	**Búsqueda de falla**
Consecuencias No Operacionales	**7**	**0**	**Rediseño**
TOTAL	**26**	**1**	**Mantenimiento a rotura**
		26	**TOTAL**

HOJA DE DECISIÓN PUENTE GRÚA

Nombre de la Planta:	Sistema/Activo:	Sistema N°:	Facilitador:	Fecha:	Hoja N°
Taller equipo liviano	**Puente Grúa de 10 toneladas**	**01**	**Hector Chara**	**21/05/21**	**3**
Sub-Sistema/Componente:		Subsistema N°:	Auditor:	Fecha:	De
Sistema de elevación		**01- 03**	**Gonzalo Rivera**	**21/06/21**	**5**

REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	TAREAS Y ACCIONES "A FALTA DE"			Tarea propuesta	Frecuencia Inicial	A Realizar Por:	CONTABILIZAR CONSECUENCIAS	CONTABILIZAR ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO
							S1	S2	S3								
							O1	O2	O3								
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4					
3	A	1	S	S			N	N	N			N	Rediseño de procedimiento de operación de equipo puente grúa (verificar operación en Horizontal) y Instalación sistema anti-carga			S	RED
		2	S	S			S						Inspeccionar ranuras de tambor de carga presenta marcas de cable, de ser necesario realizar el	Mensual	Mecánico	S	PM
		3	S	N	N	S	S						Verificar estado de aprietes de conexiones eléctricas, de ser necesario la utilizar limpia contactos	Trimestral	Eléctrico	O	PM
		4	S	S			S						Verificar estado externo de hilos de cable de acero, según el D.S. N° 024-2016-EM o la ASME	Mensual	Mecánico	S	PM
		5	N				S						Evaluación electromagnética de cable de acero (Análisis las condiciones de los alambres internos y filamentos y el centro o núcleo del cable de	Semestral	Técnico especializado	H	PM
		6	S	S			S						Revisar estado de cable de acero o daños por deformación, en caso de defectos reportar al área de mantenimiento	Semanal	Operador	S	PM
		7	S	S			S						Limpieza de sistema de carga (cable acero, guía cable y tambor)	Trimestral	Mecánico	S	PM
		8	S	S			S						Lubricación de sistema de carga (cable acero, guía cable y tambor)	Trimestral	Mecánico	S	PM
		9	S	S			S						Inspeccionar estado de pasador de seguridad, en caso de defectos reportar al área de mantenimiento	Diario	Operador	S	PM
		10	S	S			S						Tomar de medidas de tres puntos equidistantes de ganchos según la normativa Peruana del D.S. N° 024-2016-EM o medidas proporcionadas por	Diario	Operador	S	PM
		11	S	S			N	S					Lubricar conjunto bloque	Mensual	Operador	S	RC
		12	S	S			S						Inspección de conjunto bloque, en caso de defectos reportar al área de mantenimiento, según	Mensual	Operador	S	PM
		13	S	S			S						Revisar estado de seguro de gancho, de ser necesario realizar correcciones	Mensual	Mecánico	S	PM
		14	S	S			S						Revisar seguro de punto fijo, de ser necesario realizar correcciones.	Mensual	Mecánico	S	PM
		15	S	S			S						Verificar correcto enrollamiento de cable de acero en sistema de carga (según el D.S. N° 024-2016	Mensual	Mecánico	S	PM
		16	N				N	N	N	S			Verificar funcionamiento de limitador de máxima seguridad, de ser necesario reemplazar	Mensual	Mecánico	H	BF
		17	S	N	N	S	S						Medición de amperaje de corriente o verificación de parámetros de registros de fallas en variador de frecuencia	Mensualmente	Eléctrico	O	PM
		18	S	N	N	S	S						Lubricación de kit de freno de motores.	Trimestral	Mecánico	O	PM
		19	S	N	N	S	S						Verificar si Motor-reductor presenta ruido	Mensual	Eléctrico	O	PM
		20	S	N	N	S	S						Inspeccionar si contactores de elevación presentan ruido	Mensual	Eléctrico	O	PM
		21	S	N	N	S	N	N	N				No hay tarea que eviten este modo de falla			O	NMTTO
		22	S	S			S						Regular air gap (torque de freno) o resorte de retorno	Trimestral	Eléctrico	S	PM
		23	S	S			S						Inspeccionar estado de plato de freno y reemplazar de ser necesario.	Trimestral	Mecánico	S	PM
		24	S	N	N	S	N	N	N				Mejorar procedimiento de operación de equipo puente grúa en elevación de carga			O	NMTTO
	B	1	S	N	N	S	S						Calibración con carga patrón conocida de 5 a 15% de la carga nominal, el cual debe coincidir con la visualización de dispositivo de control de elevación	Semestral	Eléctrico	O	PM
		2	S	N	N	S	N	N	N	S			Verificar de funcionamiento de amplificador de carga, de ser el caso reemplazarlos	Semestral	Eléctrico	O	BF
		3	S	N	N	S	S						Inspección de ventilación de motor de elevación, de ser necesario realizar correcciones	Trimestral	Eléctrico	O	PM
	C	1	N				N	N	N	S			Verificar funcionamiento de sensor de carga o Verificar que no este puenteada	Trimestral	Eléctrico	H	BF
		2	N				S						Calibración de carga según norma ASME b30.2 (realizar en conjunto con la certificación del equipo)	Anual	Eléctrico	H	PM
		3	S	N	N	S	S						Verificar estado de rotulación de máxima capacidad en bloque de carga	Trimestral	Operador	O	PM
		4	S	N	N	S	S						Verificar estado de rotulación de máxima capacidad en viga puente	Anual	Operador	O	PM
	D	1	S	N	N	S	S						Verificar límite de carrera presenta desgaste, de ser necesario reemplazar	Trimestral	Eléctrico	O	PM
		2	S	N	N	S	S						Verificar actuador de carrera presenta desgaste, de ser necesario reemplazar	Trimestral	Eléctrico	O	PM
	E	1	S	N	N	N	S						Medición tensión de alimentación a plena carga de equipo de izaje	Semestral	Eléctrico	NO	PM
		2	S	N	N	S	N	N	N				No hay tarea que eviten este modo de falla			O	NMTTO
	F	1	N				N	N	N	S			Verificar correcta detención en límite inferior	Semanal	Operador	H	BF
		2	N				N	N	N	S			Verificar correcta detención en límite Superior	Semanal	Operador	H	BF
		3	S	N	N	S	S						Inspección de ruidos en contactor de baja, de ser necesario realizar cambio	Trimestral	Eléctrico	O	PM
		4	S	S			S						Inspección de ruidos en contactor de subida, de ser necesario realizar cambio	Trimestral	Eléctrico	S	PM

Consecuencias del Falla Oculto	6	29	Mantenimiento a condición
Consecuencias para la Seguridad	16	1	Reacondicionamiento cíclica
Consecuencias para el Medio Ambiente	0	0	Sustitución cíclica
Consecuencias Operacionales	16	5	Búsqueda de falla
Consecuencias No Operacionales	1	1	Rediseño
TOTAL	39	3	Mantenimiento a rotura
		39	TOTAL

HOJA DE DECISIÓN PUENTE GRÚA

Nombre de la Planta:	Sistema/Activo:	Sistema N°:	Facilitador:	Fecha:	Hoja N°
Taller equipo liviano	**Puente Grúa de 10 toneladas**	**01**	**Hector Chara**	**21/05/21**	**4**
	Sub-Sistema/Componente:	Subsistema N°:	Auditor:	Fecha:	De
	Sistema de control de movimiento	**01- 04**	**Gonzalo Rivera**	**21/06/21**	**5**

REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	TAREAS Y ACCIONES "A FALTA DE"			Tarea propuesta	Frecuencia Inicial	A Realizar Por:	CONTABILIZAR CONSECUENCIAS	CONTABILIZAR ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO
							S1	S2	S3								
							O1	O2	O3								
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4					
4	A	1	S	N	N	S	S						Medicion de asilamiento	Anual	Eléctrico	O	PM
		2	S	N	N	S	N	S					Limpieza de contactos de baterías, de ser necesario utilizar limpia contactos	Anual	Eléctrico	O	RC
		3	S	N	N	S	N	N	S				Limpieza de contactos de baterías, de ser necesario utilizar limpia contactos	Mensual	Eléctrico	O	SC
		4	S	N	N	S	N	N	N				Ningun mantenimiento programado, habilitar pendal/botonera en caso de falla			O	NMTTO
		5	N				N	N	N	S			Habilitar pendal-Botonera en vez de radio de control y verificar funcionamiento completa del	Trimestral	Eléctrico	H	BF
		6	S	N	N	S	N	N	N				Ningun mantenimiento programado, habilitar pendal/botonera en caso de falla			O	NMTTO
		7	S	N	N	S	S						Inspeccionar selector pendal/receptor	Semestral	Eléctrico	O	PM
		8	S	N	N	S	N	N	N				No hay tareas que eviten este modo de falla			O	NMTTO
		9	S	N	N	S	N	N	N				No hay tareas que eviten este modo de falla			O	NMTTO
	B	1	S	N	N	S	S						Verificar estado general de deterioro (pulsadores, selectores), de presentar defectos reportar al área de mantenimiento	Mensual	Operador	O	PM
		2	N				N	N	N	S			Inspeccionar correcto de funcionamiento alma de acero de pendal-botonera (El peso del cable y pendal debe ser soportada por el alma de acero).	Semestral	Eléctrico	H	BF
		3	N				S						Verificar estado general de Botonera-pendal.	Semestral	Eléctrico	H	PM
	C	1	S	N	N	N	N	N	N				Ningún mantenimiento programado			NO	NMTTO
		2	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado			O	NMTTO
		3	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado			O	NMTTO
		4	S	N	N	S	S						Verificar estado de rotulación de movimiento en radio control emisor	Operador	Trimestral	O	PM
		5	S	N	N	S	S						Verificar estado de rotulación de movimiento en botonera	Operador	Semestral	O	PM
		6	S	N	N	S	S						Verificar estado de rotulación en viga puente	Operador	Semestral	O	PM
		7	N				N	N	N	S			Verificar funcionamiento de pulsador de parada de emergencia en radio control o pendal	Operador	Mensual	H	BF

Consecuencias del Falla Oculto	4	7	Mantenimiento a condición
Consecuencias para la Seguridad	0	1	Reacondicionamiento cíclica
Consecuencias para el Medio Ambiente	0	1	Sustitución cíclica
Consecuencias Operacionales	14	3	Búsqueda de falla
Consecuencias No Operacionales	1	0	Rediseño
TOTAL	19	7	Mantenimiento a rotura
		19	TOTAL

HOJA DE DECISIÓN PUENTE GRÚA

Nombre de la Planta:	Sistema/Activo:	Sistema N°:	Facilitador:	Fecha:	Hoja N°
Taller equipo liviano	**Puente Grúa de 10 toneladas**	**01**	**Hector Chara**	**21/05/21**	**5**
	Sub-Sistema/Componente:	Subsistema N°:	Auditor:	Fecha:	De
	Sistema de alimentación eléctrica	**01- 05**	**Gonzalo Rivera**	**21/06/21**	**5**

REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1 / S1 / O1	H2 / S2 / O2	H3 / S3 / O3	TAREAS Y ACCIONES "A FALTA DE"			Tarea propuesta	Frecuencia Inicial	A Realizar Por:	CONTABILIZAR CONSECUENCIAS	CONTABILIZAR ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4					
5	A	1	S	N	N	S	S						Inspeccionar si contactor general presenta ruido, de ser el caso reemplazarlos	Semestral	Eléctrico	O	PM
		2	S	N	N	S	S						Verificar que zapatas tengan la dimensión adecuada, de ser el caso reemplazarlos	Semestral	Eléctrico	O	PM
		3	S	N	N	S	S						Verificar juntas no estén sueltas, de ser necesario ajustar	Trimestral	Eléctrico	O	PM
		4	S	N	N	S	S						Verificar todo el recorrido de barras conductoras no presentan desgaste	Semestral	Eléctrico	O	PM
		5	S	N	N	S	S						Verificar estado de conjunto colecto no esté oxidado o deteriorado	Semestral	Eléctrico	O	PM
		6	S	N	N	S	S						Verificar alineación vertical y horizontal de brazo de arrastre	Trimestral	Mécanico	O	PM
		7	S	N	N	S	S						Verificar alineación vertical, horizontal y longitudinal de canaleta riel C	Trimestral	Mecánico	O	PM
		8	S	N	N	S	N	N	S				Lubricación de carros portables festón	Trimestral	Mecánico	O	SC
		9	S	N	N	S	S						Verificar recorrido de cable festona velocidad lenta y rápida	Mensual	Operador	O	PM
		10	S	N	N	S	S						Verificar empalme de riel C no tengan apertura pronunciadas o no estén desajustadas	Trimestral	Mecánico	O	PM
	B	1	S	N	N	S	N	S					Limpieza de barras conductoras	Anual	Eléctrico	O	RC
		2	S	N	N	S	S						Verificar visualmente que cubiertas no presenten daño, de ser necesario reemplazarlos	Trimestral	Eléctrico	O	PM
		3	S	N	N	S	S						Verificar estado o desgaste de zapatas	Semestral	Eléctrico	O	PM
		4	S	N	N	S	S						Verificar la alineación horizontal/vertical de barras	Semestral	Eléctrico	O	PM
		5	S	N	N	S	S						Verificar la presión de conjunto colector sobre barras conductoras sea adecuado en todas las fases	Semestral	Eléctrico	O	PM
		6	N				N	N	N	S			Verificar conexiones de puesta a tierra, realizar ajuste de ser necesario	Semestral	Eléctrico	H	BF
		7	S	N	N	S	S						Verificar estado cable festón no presenten desgaste o deterioro	Semestral	Eléctrico	O	PM

Consecuencias del Falla Oculto	**1**	**14**	**Mantenimiento a condición**
Consecuencias para la Seguridad	**0**	**1**	**Reacondicionamiento cíclica**
Consecuencias para el Medio Ambiente	**0**	**1**	**Sustitución cíclica**
Consecuencias Operacionales	**16**	**1**	**Búsqueda de falla**
Consecuencias No Operacionales	**0**	**0**	**Rediseño**
TOTAL	**17**	**0**	**Mantenimiento a rotura**
		17	**TOTAL**