

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica-Eléctrica y Mecatrónica



“PROPUESTA DE MEJORA DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) PARA UN PUENTE GRÚA DE 15 TON A LA EMPRESA SAN MARTIN CONTRATISTAS GENERALES S.A.”

Tesis presentada por el Bachiller:
Mendoza Calizaya, Eduardo Hugo
Para optar el Título Profesional de:
Ingeniero Mecatrónico

Asesor: Ing. Cáceres Núñez, Augusto

Arequipa – Perú

2020



Universidad Católica
de Santa María

AREQUIPA-PERÚ

(51 54) 382038 <http://www.ucsm.edu.pe> [facebook.com/ucsm.edu.pe/](https://www.facebook.com/ucsm.edu.pe/)

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA
ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA

INFORME DICTAMINATORIO

VISTO

EL BORRADOR DE TESIS TITULADO:

**“PROPUESTA DE MEJORA DE LA GESTION DE
MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA
CONFIABILIDAD (RCM) PARA UN PUENTE GRUA
DE 15 TON A LA EMPRESA SAN MARTIN
CONTRATISTAS GENERALES S.A”**

Presentado por el Bachiller:

MENDOZA CALIZAYA EDUARDO HUGO

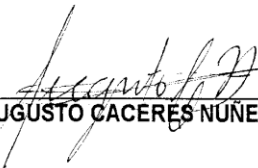
Nuestro **DICTAMEN** es: *“Procede”*

OBSERVACIONES:

Arequipa, 16 de diciembre 2019



ING. MARIO VALENCIA SALAS



ING. AUGUSTO CACERES NUÑEZ



Dedico este trabajo a mis padres y hermanas por
su apoyo de siempre.
Gracias.

RESUMEN

Existen múltiples sistemas organizativos en la ingeniería del mantenimiento; la estrategia de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), no solamente el estudio del equipo como tal sino de los subsistemas, sistemas y componentes que lo conforman y la interacción con el entorno físico que lo rodea.

Este proyecto de tesis realiza efectúa una adecuada identificación de los problemas que nos dificultan la maximización de la función del puente grúa a través del análisis de modos de fallas, causas y efectos.

Al definirse los modos, las causas, efectos y consecuencias de las fallas se pudo establecer la criticidad de cada una ellas y el impacto en las metas de servicios de mantenimiento, medio ambiente; así como su priorización.

Mediante el desarrollo de la metodología se determinaron las siguientes estrategias de mantenimiento para la eliminación de las causas de las fallas identificadas:

- Optimización del mantenimiento proactivo.
- Implementación de mantenimiento predictivo.
- Optimización del cambio sistemático de componentes en función de la frecuencia de las fallas.
- Implementación de búsqueda de fallos ocultos.
- Identificación de mejoras en las instalaciones a cargo de ingeniería de mantenimiento.
- Identificación de repuestos críticos.

Como resultado de la aplicación de la metodología se espera lograr la excelencia operacional por medio de la confiabilidad, incremento de la vida útil de los componentes del equipo, así como la disponibilidad de los mismos al disminuir las fallas y sus consecuencias, incrementando así, los servicios para la cual ha sido adquirido dicho activo.

Palabras Claves: Estrategias de mantenimiento, modos de fallos, causas, efectos, criticidad.

ABSTRACT

There are multiple organizational systems in maintenance engineering; the strategy of Maintenance Centered in Reliability (RCM), not only the study of the equipment as such but of the subsystems, systems and components that comprise it and the interaction with the surrounding physical environment.

This thesis project carries out an adequate identification of the problems that make it difficult for us to maximize the function of the crane bridge through the analysis of failure modes, causes and effects.

By defining the modes, causes, effects and consequences of the failures, it was possible to establish the criticality of each one and the impact on the goals of maintenance services, the environment; as well as its prioritization.

Through the development of the methodology, the following maintenance strategies were determined to eliminate the causes of the identified failures:

- Optimization of proactive maintenance.
- Implementation of predictive maintenance.
- Optimization of the systematic change of components as a function of frequency of failures.
- Implementation of search for hidden faults.
- Identification of improvements in facilities in charge of maintenance engineering.
- Identification of critical spare parts.

As a result of the application of the methodology, it is expected to achieve operational excellence through reliability, increasing the useful life of the equipment components, as well as their availability by reducing faults and their consequences, thus increasing the services for which said asset has been acquired.

Keywords: Maintenance strategies, failure modes, causes, effects, criticality.

INTRODUCCIÓN

La estrategia de gestión de mantenimiento centrado en la fiabilidad, más conocido como RCM (Reliability Centered Maintenance), puede ser definido como: El proceso usado para determinar los requerimientos de mantenimiento de los activos físicos, dentro de su contexto de operación para realizar sus funciones para lo que se ha adquirido.

El objetivo principal del RCM es mantener la función de los equipos, esto implica que pueda continuar realizando las funciones del activo, aun después de averiarse un sistema o componente, puede no ser necesaria la conservación de este equipo o ser aceptable que siga funcionando, hasta averiarse por completo. En otras palabras, es la alineación del mantenimiento con la misión de la empresa.

Debido a estos factores se realiza el presente trabajo, con el fin de proporcionar a la Empresa San Martín Contratistas Generales S.A un plan de mantenimiento centrado en la fiabilidad, a la grúa puente de 15 Ton de capacidad por ser un equipo de suma importancia dentro de la planta para el mantenimiento de los otros activos físicos.

Actualmente existen algunas empresas de carácter similar que se encuentran en un proceso de implementación de programas de fiabilidad en el área de mantenimiento, y es por ello que el presente trabajo propone, una alternativa en la implementación para un equipo, para luego ser adecuado como guía para los otros activos físicos de la empresa y de acuerdo a su importancia en las operaciones productivas de la empresa.

La fiabilidad es la probabilidad de que un aparato o dispositivo trabaje correctamente durante un tiempo determinado y en las condiciones de servicio que se encuentre. La fiabilidad no es una predicción, sino que es la probabilidad de la actuación correcta de un dispositivo; es posible que el dispositivo falle inmediatamente, después de su puesta en servicio, o bien lo haga después de su vida útil (Creus Solé, 2019).

La gestión de mantenimiento es una compleja actividad técnico-económica que tiene por finalidad la conservación de los activos físicos, maximizando la calidad de servicios de las unidades, para lograr estos objetivos se debe aplicar planes adecuados, en los que las técnicas aplicadas en estos procesos determinaran un ahorro de dinero asignados al mantenimiento, además de dar seguridad en los equipos que se da al mantenimiento.

Con la innovación en tiempos actuales de constante desarrollo tecnológico, de equipos cada vez más sofisticados, con sistemas de producción activos en los que la calidad y el precio son los factores que determina, la introducción y la permanencia de las empresas en el

mercado, es primordial que las organizaciones respondan a las nuevas corrientes administrativas, a efecto de lograr un desarrollo integrado de sus recursos, obedeciendo a una planificación estratégica eficiente, para enfrentar los retos de una competencia.

En toda empresa existen tres estratos importantes de funciones generales: el primero de los cuales es el administrativo, el segundo mantenimiento y de último, el de la producción de bienes o servicios; esta situación no deja lugar a dudas que el mantenimiento pasa a ser la parte medular de la organización administrativa, el nivel óptimo de un mantenimiento implica el equilibrio de los costos presupuestados para el año de ejercicio de producción.



ÍNDICE

RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
INTRODUCCIÓN	vi
CAPITULO I.....	1
1. ASPECTOS GENERALES	1
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. OBJETIVOS	1
1.2.1. Objetivo General	1
1.2.2. Objetivos Específicos	1
1.3. HIPÓTESIS.....	2
1.4. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA	2
1.5. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA	2
1.6. LÍMITES Y ALCANCES.....	3
CAPITULO II.....	4
2. ANÁLISIS SITUACIONAL DE LA EMPRESA.....	4
2.1. EMPRESA	4
2.2. SITUACIÓN GENERAL.	4
2.2.1. Ubicación Geográfica y Distribución	4
2.2.2. Políticas de Mantenimiento.....	7
2.3. ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA.....	7
2.3.1. Misión	7
2.3.2. Visión.....	7
2.3.3. Valores.....	7
2.4. ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA.....	8
2.5. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	10
2.5.1. Servicios de Construcción.....	10
2.5.2. Servicios de Operación Minera	10

2.5.3. Infraestructura	10
CAPITULO III	12
3. MARCO TEÓRICO PUENTE GRÚAS	12
3.1. INTRODUCCIÓN.....	12
3.2. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LA GRÚA.....	12
3.3. DESCRIPCIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE GRÚAS	12
3.4. MOVIMIENTO DE LA GRÚA PUENTE	16
3.5. PRINCIPALES SISITEMAS DE UNA GRÚA PUENTE.....	16
CAPITULO IV	18
4. MARCO TEÓRICO MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD	18
4.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	18
4.2. EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO	21
4.3. MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM)	22
4.3.1. Historia del RCM	23
4.4. FUNCIONES	24
4.4.1. Funciones Primarias	25
4.4.2. Funciones Secundarias.....	25
4.4.3. Parámetros de Funcionamiento	25
4.4.4. Contexto Operacional	26
4.5. FALLAS FUNCIONALES.....	26
4.6. MODOS DE FALLOS	27
4.6.1. Categorías de Modo de Fallas	27
4.6.2. Cantidad de Detalle	28
4.7. EFECTOS DE FALLAS.....	28
4.7.1. Fuentes de información sobre modos y efectos	29
4.8. CONSECUENCIA DE FALLAS.....	29
4.8.1. Funciones Ocultas y Evidentes	30
4.8.2. Fallas Ocultas y Dispositivos de Seguridad	30
4.8.3. Prevención de la Falla Oculta	30

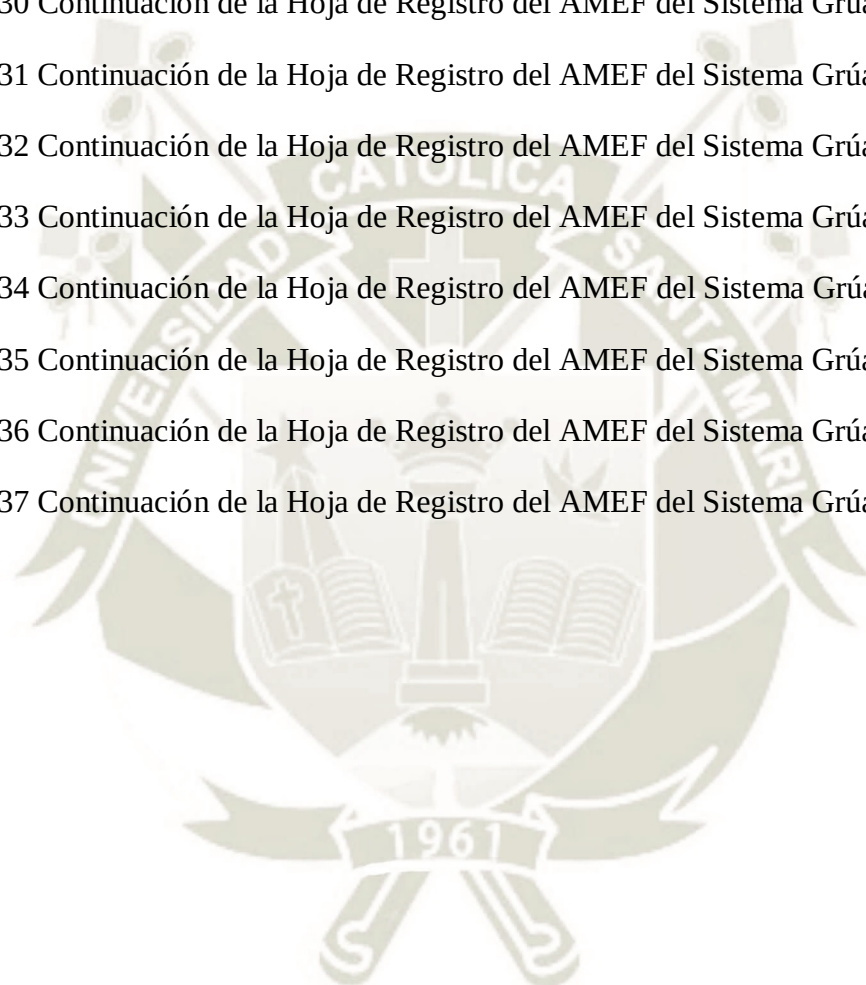
4.9.	TAREAS PROACTIVAS	31
4.9.1.	Factibilidad Técnica y Merecer la Pena.....	31
4.9.2.	Fallas potenciales	31
4.9.3.	Intervalo P-F.....	32
4.9.4.	Intervalo P-F Neto	33
4.9.5.	Tareas de Reacondicionamiento Cíclico.....	34
4.9.6.	Tareas Sustitución Cíclica.....	35
4.9.7.	Tareas a Condición	35
4.9.8.	Selección de Tareas Proactivas	37
4.9.9.	Acciones “a falta de”	38
4.10.	CONCEPTOS ASOCIADOS A LA CONFIABILIDAD.....	39
4.10.1.	Tiempo Medio entre Fallas (MTBF)	39
4.10.2.	Tiempo Medio entre Reparaciones (MTTR)	40
4.10.3.	Disponibilidad	40
4.10.4.	Confiabilidad Función Weibull.....	41
4.11.	METODOLOGÍA DE IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD-RCM	42
4.11.1.	Metodología del RCM	42
4.12.	PROPUESTA METODOLOGÍA IMPLEMENTACIÓN DEL RCM	58
	FASE 1: Selección y Función del Activo Físico	59
	FASE 2: Ficha Técnica del Activo Físico	59
	FASE 3: Árbol Jerárquico de Activos Físicos.....	59
	FASE 4: Análisis Criticidad	61
	FASE 5: Análisis de Modos de Fallas y sus Efectos –AMFE.....	63
	FASE 6: Obtención de la Confiabilidad.....	66
	FASE 7: Estrategias de Mantenimiento	69
	CAPITULO V.....	72
5.	IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD.....	70
5.1.	SELECCIÓN DEL ACTIVO.....	70
5.2.	AUDITORIA.....	70

5.3. JERARQUIZACIÓN.....	71
5.3.1. Taxonomía ISO 14224.....	72
5.4. CRITICIDAD.....	74
5.4.1. Evaluación de Criticidad a los Sistemas del Puente Grúa el Modelo de Factores Ponderados.....	75
5.4.3. Resultados de la Evaluación de Criticidad en el Área de Mantenimiento.....	78
5.5. ANÁLISIS DE MODOS FALLAS Y EFECTOS -AMFE.....	79
5.6. CALCULO DE LA CONFIABILIDAD.....	108
5.7. PLAN ESTRATÉGICO DE MANTENIMIENTO.....	113
CONCLUSIONES.....	114
RECOMENDACIONES.....	116
BIBLIOGRAFÍA.....	117
ANEXOS.....	121
ANEXO 01:ACTIVOS FÍSICOS EMPRESA SAN MARTÍN CONTRATISTAS GENERALES S.A.	122
ANEXO 02: DIAGRAMA DE DECISIÓN DE RCM	128
ANEXO 03: GRÚA PUENTE DE 15 TON.....	131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de tareas de mantenimiento	52
Tabla 2 Aplicación de un Ejemplo de Taxonomía	60
Tabla 3 Definiciones para cada segmento.....	73
Tabla 4 Criterio para la determinación de criticidad de sistemas.....	74
Tabla 5 Matriz cuantitativa.....	75
Tabla 6 Evaluación: Izajes auxiliares.....	75
Tabla 7 Evaluación: Polipasto	76
Tabla 8 Evaluación: Grúa puente de servicios CAP. 15 TON	77
Tabla 9 Resultados de la evaluación de criticidad.	78
Tabla 10 Hoja de Registro del AMEF del Sistema Grúa Puente.....	80
Tabla 11 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Grúa Puente.....	81
Tabla 12 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Grúa Puente.....	82
Tabla 13 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Grúa Puente.....	83
Tabla 14 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Grúa Puente.....	84
Tabla 15 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Grúa Puente.....	84
Tabla 16 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Grúa Puente.....	85
Tabla 17 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Grúa Puente.....	87
Tabla 18 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Grúa Puente.....	88
Tabla 19 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Grúa Puente.....	89
Tabla 20 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Grúa Puente.....	90
Tabla 21 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Grúa Puente.....	91
Tabla 22 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Grúa Puente.....	92
Tabla 23 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Grúa Puente.....	93
Tabla 24 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Grúa Puente.....	94

Tabla 25 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Grúa Puente.....	95
Tabla 26 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Grúa Puente.....	96
Tabla 27 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Grúa Puente.....	97
Tabla 28 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Grúa Puente.....	98
Tabla 29 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Grúa Puente.....	99
Tabla 30 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Grúa Puente...	100
Tabla 31 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Grúa Puente...	101
Tabla 32 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Grúa Puente...	102
Tabla 33 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Grúa Puente...	103
Tabla 34 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Grúa Puente...	104
Tabla 35 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Grúa Puente...	105
Tabla 36 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Grúa Puente...	106
Tabla 37 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Grúa Puente...	107



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación Geográfica de Lima en el Perú.....	5
Figura 2 Ubicación de la Empresa San Martin Contratistas Generales S.A.	5
Figura 3 Centro de Reparación y Distribución Central - CRDC	6
Figura 4 Organigrama de la Empresa San Martin Contratistas S.A.	9
Figura 5 Taller de mantenimiento de la Empresa	11
Figura 6 Grúa Puente	13
Figura 7 Grúa Pórtico.....	13
Figura 8 Grúa Semipórtico	14
Figura 9 Grúa Ménsula.....	14
Figura 10 Grúa de Columna Giratoria	15
Figura 11 Grúa Tipo Torre	15
Figura 12 Movimiento de la grúa puente	16
Figura 13 Componentes principales de una grúa puente	17
Figura 14 Historia de la evolución de la ingeniería de mantenimiento	22
Figura 15 Las siete preguntas del RCM.....	24
Figura 16 Parámetros de funcionamiento.....	26
Figura 17 Categorías de modos de falla.....	27
Figura 18 Curva P-F.....	32
Figura 19 Intervalo P-F	33
Figura 20 Intervalo P-F neto.....	33
Figura 21 Flujograma de implementación del RCM	43
Figura 22 Flujograma del proceso en el mantenimiento centrado.....	44
Figura 23 Tipos de auditoria de mantenimiento	55
Figura 24 Clasificación de la Taxonomía con niveles taxonómicos	60
Figura 25 Procedimiento de realización AMFE	64

Figura 26 Patrones de falla Industria Aeronáutica	65
Figura 27 Búsqueda continua de conocimiento de RCM.....	68
Figura 28 Estimación de parámetros de Weibull.....	68
Figura 29 Tipos de mantenimiento de apoyo para el RCM.	69
Figura 30 Jerarquización de la organización de los activos de una planta.....	72
Figura 31 Análisis de criticidad a nivel de equipo en tabla 4.....	74
Figura 32 Riesgo: Izajes auxiliares	75
Figura 33 Riesgo: Polipasto	76
Figura 34 Riesgo: Grúa puente de servicios CAP. 15 TON.....	77
Figura 35 Criticidad de equipos fundición	79
Figura 36 Hoja Weibull.....	108
Figura 37 Gráfica de puntos y estimación de parámetros en hoja Weibull.....	110
Figura 38 Curva de confiabilidad y probabilidad de fallo.	112
Figura 39 Curva de la bañera. Tasa de fallos.	112
Figura 40 Estrategias de gestión de mantenimiento	113

CAPITULO I

1. ASPECTOS GENERALES

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La Empresa San Martin Contratistas Generales S.A. dentro de sus funciones efectúa servicios de fabricaciones de dispositivos electromecánicos y servicios de mantenimiento, está ubicada en la Avenida Jr. Morro Solar 1010 Santiago de Surco Lima-Perú.

En la planta desarrolla productos y servicios para diferentes empresas y también desarrolla nuevos productos y proyectos a la medida de sus requerimientos, donde cuentan con personal profesional, técnico idóneo y capacitado de acuerdo a los estándares internacionales.

Es una empresa de mucha relevancia en el Perú no puede quedarse a la saga de los avances de la ingeniería de mantenimiento como es este tipo de mantenimiento que viene a ser el RCM, es aplicado en todas partes de la industria a nivel mundial; donde se puede comprobar que está dando resultados contundentes en la operatividad de los activos que contiene las empresas.

La aplicación del RCM es una de las estrategias que resuelve el problema anterior, con una estructura que permite llevar a cabo la evaluación y selección de tareas, que se pueda implementar en forma rápida y segura, esta técnica es única en su género y conduce a obtener resultados extraordinarios en mejoras y rendimiento del equipo (Chiok Valle, 2016).

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Propuesta de mejora de la gestión de Mantenimiento Basado en la confiabilidad (RCM) para un Puente Grúa de 15 Ton a la Empresa San Martin Contratistas Generales S.A. con la finalidad de garantizar la disponibilidad a través de un plan de mantenimiento dentro de su entorno contexto operacional.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar la evaluación actual de la grúa puente de 15 Ton.
- Efectuar una jerarquización del puente grúa de 15 Ton por medio de una norma internacional.

- Realizar un análisis de criticidad a los sistemas que conforman el equipo.
- Analizar los modos y efectos de fallas a los componentes críticos del equipo.
- Estimar la confiabilidad mediante un modelo paramétrico a los componentes críticos de los sistemas del equipo.
- Diseñar una estrategia de mantenimiento al puente grúa de la Empresa San Martín Contratistas S.A.

1.3. HIPÓTESIS

Si elaboramos un plan de mantenimiento proactivo basado en el RCM entonces podremos lograr una mejora en la disponibilidad mecánica de la grúa puente de 15 Ton.

Si elaboramos un plan de mantenimiento proactivo basado en el RCM entonces podremos lograr una mejora en la mantenibilidad de la grúa puente de 15 Ton.

1.4. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

La empresa cuenta con una variedad de máquinas y equipos de diversidad complejidad desde la más sencilla hasta las automatizadas, donde el área de mantenimiento realiza técnicas gestión de manutención correctiva, preventiva que no garantiza la prevención de fallas potenciales y con ello asegurar la confiabilidad y disponibilidad de los activos físicos de la empresa.

De acuerdo a las nuevas y modernas estrategias de mantenimiento planteamos la implementación del RCM a un activo físico importante como referencia como desarrollo de gestión de activos físicos que administre de manera más efectiva y programada la confiabilidad y disponibilidad en a la aplicación en el proceso de mantenimiento y poder solventar la determinación de los modos de fallo, las causas, y efectos y consecuencias que estas producen en paros imprevistos.

1.5. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

El presente tema se enfoca en alargar años de vida útil del puente grúa puente evitando el reemplazó del equipo, o realizando mantenimientos correctivos de los sistemas o componentes en forma aleatoria.

Por ejemplo, un mantenimiento correctivo del sistema de freno, es más costoso en tiempo y dinero que dos mantenimientos preventivos de dicho sistema dentro

mismo lapso tiempo, no solo abaratando costos si no alargando el tiempo de vida útil del puente grúa.

Esto significa plantear una gestión de mantenimiento antes de que ocurran las fallas como mantenimientos proactivos u predictivo a los activos de modo que la empresa minimice los costos y cuidar la inversión realizada.

1.6. LÍMITES Y ALCANCES

El presente trabajo tiene como centro de alcance el área de mantenimiento de la empresa de los equipos y maquinas en cuestión, la misma que presenta la problemática más álgida y que exige una adecuada estrategia de gestión de mantenimiento.

Son limitaciones, el acceso al nombre real de la empresa para poder así acceder a su información confidencial y privada, así como la prohibición de observar los procesos de mantenimiento, data de información de historial de los activos físicos correspondiente.

La disposición de algunos de los directivos de la empresa para colaborar con la presente investigación por motivos de tiempo.

CAPITULO II

2. ANÁLISIS SITUACIONAL DE LA EMPRESA

2.1. EMPRESA

La Empresa SAN MARTIN CONTRATISTAS GENERALES S.A. se crea de la fusión de las empresas Transportes Caravana y Considex S.A., dedicadas al transporte de minerales y alquiler de maquinarias; dando origen a la Compañía Minera San Martín., en los años 90.

En medio de una coyuntura social, política y económica compleja, cuando nuestros fundadores decidieron apostar por el país y crearon una empresa especializada en servicios mineros bajo fuertes valores morales como honestidad, compromiso y el respeto que nos distinguen hasta hoy y continuamos con las actividades en la operación de Cemento Andino en Tarma y transporte de yeso para Cemento Lima, Cementos Lima y Cemento Andino, actualmente llamado Unacem.

Hoy somos su principal contratista, con 27 años de trabajo continuo reafirmando día a día nuestro compromiso con el cliente, con el paso de los años San Martin es una de las principales empresas del rubro brindando los servicios de minería, construcción e infraestructura y ha jugado un rol muy importante en el desarrollo de los principales proyectos de operación minera, construcción e infraestructura a nivel nacional e internacional (San Martin Contratistas Generales, 2019).

2.2. SITUACIÓN GENERAL

En este nivel analizamos la empresa desde un punto de vista general priorizando su ubicación y distribución que presenta (Pérez, 2019).

2.2.1. Ubicación Geográfica y Distribución

Para una empresa, la ubicación geográfica es muy importante, ya que esta debe permitir tener acceso a los servicios básicos como son el agua, el fluido eléctrico, comunicación telefónica e internet, los cuales permiten el normal desarrollo y crecimiento de la empresa. La importancia de la ubicación, también contempla el acceso rápido de clientes y proveedores, así como la facilidad de movilidad de vehículos, mercadería y máquinas (Pérez, 2019).

La Empresa San Martin Contratistas Generales S.A. está ubicada en Jr. r. Morro Solar 1010 Santiago de Surco, Lima 33 – Perú. Esta localización resulta ser

adecuada para la empresa ya que se encuentra aledaña a la Panamericana Sur a la altura del Km 10.



Figura 1 Ubicación Geográfica de Lima en el Perú

Fuente: <http://www.expeditiontravelperu.com>

La ventaja de esta ubicación es el tener acceso directamente a la a carretera Panamericana que constituye como una importante autopista que recorre de norte a sur 23 distritos de la provincia de Lima, uno de la provincia del Callao y uno de la provincia de Cañete y además salidas al norte y sur del País.

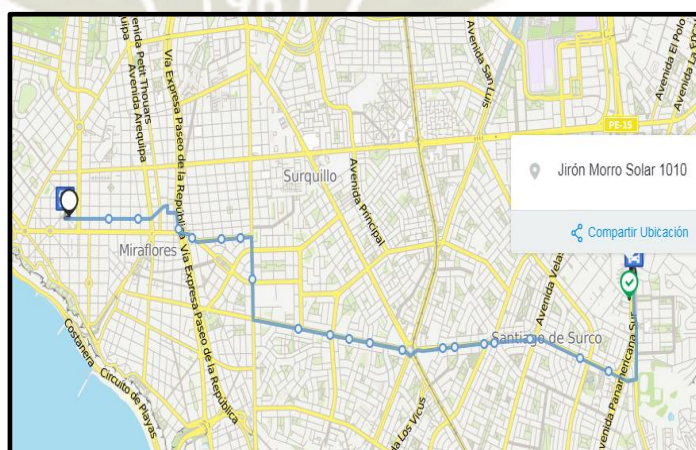


Figura 2: Ubicación de la Empresa San Martín Contratistas Generales S.A.

Fuente: <http://www.expeditiontravelperu.com>

Rubro de Actividades:

- Servicios de Construcción
- Servicios de Operación Minera
- Industria Metal Mecánica
- Servicio de Mantenimiento de Activos Físicos
- Diseño, Construcción de Maquinaria y Equipos

La empresa su visión de crecimiento está poniendo en funcionamiento un nuevo Centro de Reparación y Distribución Central – CRDC, el cual dinamizará los procesos de reparación de su maquinaria, además de brindar soporte logístico a todos sus proyectos.

El nuevo local se encuentra ubicado en el Parque Industrial “Indupark” en Chilca, en el Km 57.5 de la Panamericana Sur y tiene un área efectiva de 25,379 m², donde se llevarán a cabo las reparaciones de componentes de equipos y el mantenimiento de la flota de San Martín para que pueda operar en óptimas condiciones. De esta manera, la maquinaria estará lista para ser remitida a las diferentes obras que la contratista tiene a su cargo, o para su venta o alquiler. Asimismo, funcionará un nuevo centro de distribución logística (San Martín Contratistas Generales, 2019).



Figura 3 Centro de Reparación y Distribución Central - CRDC
Empresa San Martín Generales S.A.

Fuente: <http://www.expeditiontravelperu.com>

2.2.2. Políticas de Mantenimiento

La Empresa no cuenta con adecuado plan estratégico de planificación y programación de gestión de mantenimiento. El mantenimiento realizado a sus máquinas herramientas es mayoritariamente de corrección, es decir que se espera a que se produzca la falla para recién intervenir la máquina-herramienta ocasionando retrasos en la producción con los respectivos problemas que ello acarrea. El mínimo mantenimiento preventivo que se aplica es realizado tentativamente sin un control o registro de este.

Finalmente, no se da la debida importancia a la operatividad de las maquinas que se estuvo dando al mantenimiento nunca fue la adecuada, delegándolo generalmente a un segundo plano de importancia (Integra Markets, 2017).

2.3. ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA

2.3.1. Misión

Brindar soluciones en operación minera, construcción e infraestructura para generar valor a nuestros clientes, colaboradores, accionistas y la sociedad (San Martin Contratistas Generales, 2019).

2.3.2. Visión

Ser reconocidos en el mercado iberoamericano como el socio estratégico de nuestros clientes (San Martin Contratistas Generales, 2019).

2.3.3. Valores

Orientación al cliente, Trabajo en equipo, Excelencia, Integridad, Sustentabilidad e Innovación.

En este punto, analizamos la gestión que realiza Empresa Transportes Fuentes para alcanzar los servicios que ofrece, prestando principal atención a sus procesos involucrados.

Una buena organización de la empresa tendrá repercusión en su buen funcionamiento. La existencia de una deficiente organización no traerá más que conflictos y problemas que mermaran la visión y misión de la empresa. En consecuencia, la importancia de tener las funciones y responsabilidades de cada integrante de la organización bien definidas y asegurarse que se cumplan.

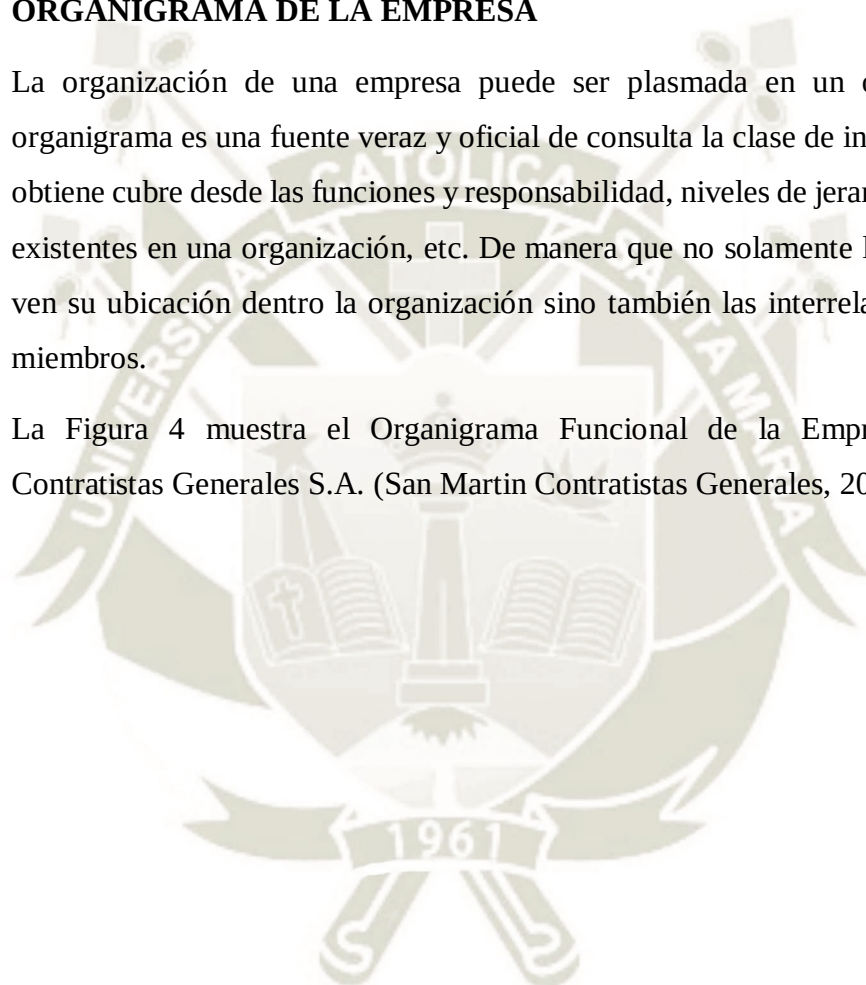
Debemos tener presente que la estructura organizativa del trabajo influye directamente en la percepción que pueda tener un trabajador en su rendimiento profesional.

Una estructura organizativa muy vertical, con una larga cadena de mando y tramos de control corto no favorece el trabajo en equipo (San Martín Contratistas Generales, 2019).

2.4. ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA

La organización de una empresa puede ser plasmada en un organigrama. Un organigrama es una fuente veraz y oficial de consulta la clase de información que se obtiene cubre desde las funciones y responsabilidad, niveles de jerarquía oficial áreas existentes en una organización, etc. De manera que no solamente los colaboradores ven su ubicación dentro la organización sino también las interrelaciones con otros miembros.

La Figura 4 muestra el Organigrama Funcional de la Empresa San Martín Contratistas Generales S.A. (San Martín Contratistas Generales, 2019).



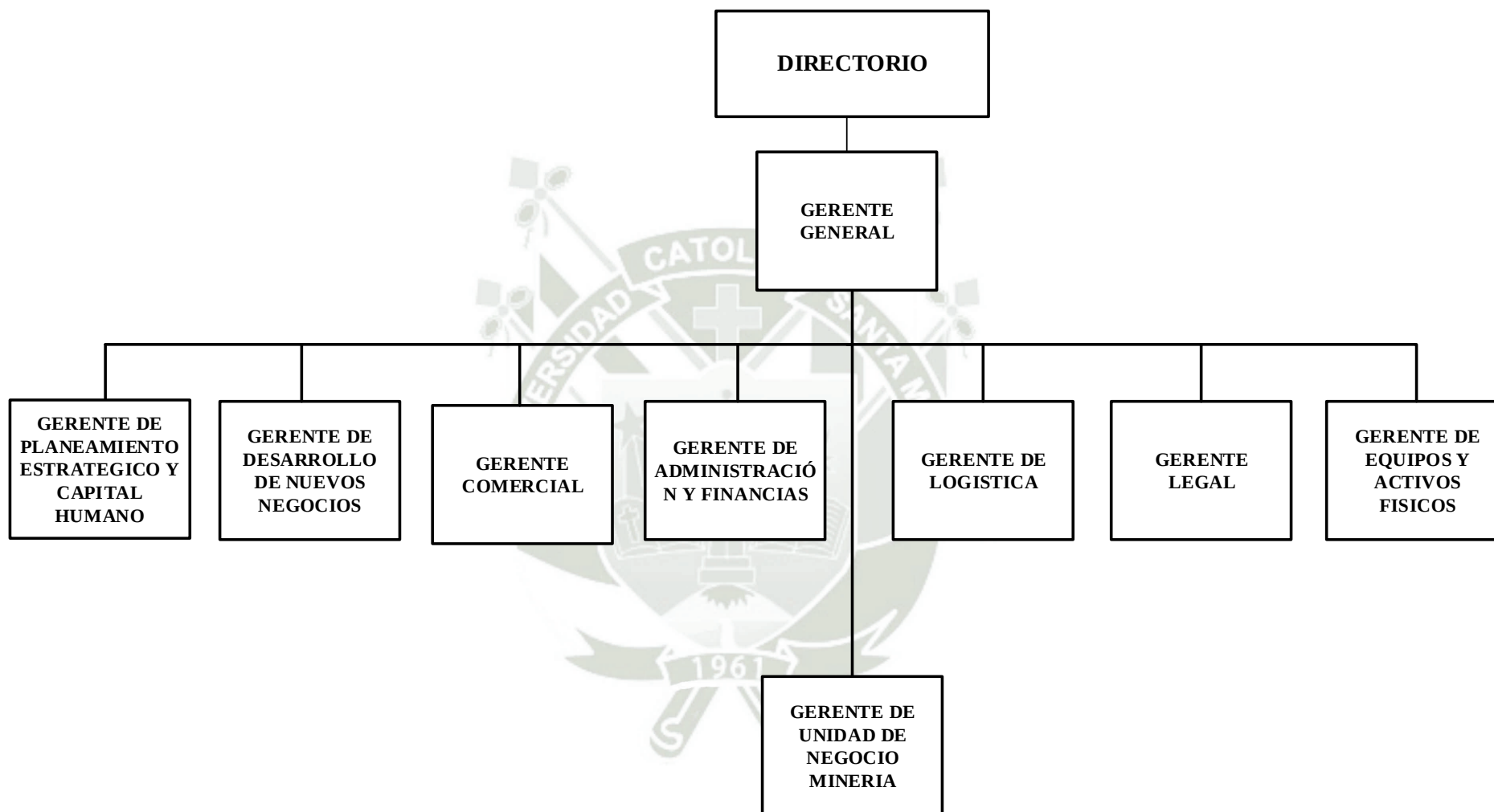


Figura 4 Organigrama de la Empresa San Martín Contratistas S.A.
Fuente: Elaboración propia.

2.5. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La Empresa San Martin Contratistas Generales S.A. cuenta con 27 años de experiencia brindando servicios de operación minera, construcción e infraestructura a nivel nacional e internacional, logrando relaciones de largo plazo con nuestros clientes realizamos los siguientes servicios específicamente (San Martin Contratistas Generales, 2019).

2.5.1. Servicios de Construcción

- Movimiento de tierras masivos
- Accesos y plataformas
- Presas
- PAD's de lixiviación
- Obras civiles a gran escala
- Montaje mecánico y electromecánico (San Martin Contratistas Generales, 2019).

2.5.2. Servicios de Operación Minera

- Planeamiento y diseño de mina
- Acarreo
- Perforación
- Voladura
- Carguío
- Trituración
- Mantenimiento de caminos
- Minado subterráneo (San Martin Contratistas Generales, 2019).

2.5.3. Infraestructura

Construcción de carreteras y puentes

El proyecto nace del dialogó con el Gerente de la Empresa para crearle una estrategia de mantenimiento a la grúa puente, uno de nuestros equipos críticos en la planta de manutención de equipos, donde me permitirá obtener un trabajo de investigación de tesis y un aporte para la empresa a la cual trabajo en el área de mantenimiento.

En la ingeniería de mantenimiento de activos existen una gran variedad de estrategias para que la maquinas estén operativas de acuerdo a los estándares de calidad, que va desde el mantenimiento correctivo, preventivo, predictivo, mantenimiento productivo total, mantenimiento basado en l confiabilidad, análisis cusa raíz y otros.

El Mantenimiento Centrado en Contabilidad, denominado también análisis fallos ha sido desarrollado para la industria de la aviación civil hace más de 30 años. El proceso permite determinar cuáles son las tareas de mantenimiento proactivas adecuadas para cualquier activo físico. El RCM está siendo utilizado en miles de empresas de todo el mundo, desde grandes empresas petroquímicas hasta las principales fuerzas armadas del mundo para determinar las tareas de mantenimiento apropiadas para sus equipos, incluyendo la gran minería, generación eléctrica, petróleo y derivados, metal-mecánica, etc. (Lopez Chiotti, 2018).

He visto por conveniente la importancia de propuesta de mejora con este de estrategia de mantenimiento al puente grúa de mi centro de trabajo y contribuir así en el aumento de la disponibilidad, confiabilidad, mantenibilidad y reducción de costos y por último en el desarrollo profesional de mi rama de ingeniería.



Figura 5 Taller de mantenimiento de la Empresa
Fuente: Empresa San Martin Contratistas Generales S.A., 2014

CAPITULO III

3. MARCO TEÓRICO PUENTE GRÚAS

3.1. INTRODUCCIÓN

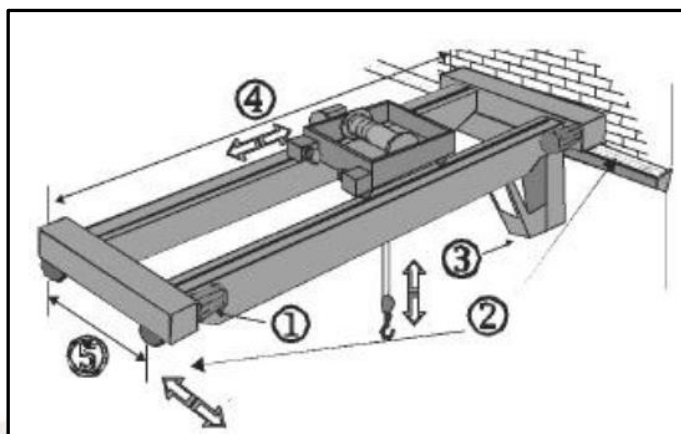
Un puente grúa es un dispositivo electromecánico de elevación y transporte, una de las principales aplicaciones del cual es el transporte de diferentes materiales dentro del taller. Gracias a que circulan por vías elevadas, al contrario de lo que sucede con otras clases de grúas (por ejemplo, las grúas pórtico o las giratorias) dejan libre toda la superficie del pavimento del taller, de modo que el trabajo y el tránsito sobre el suelo puede efectuarse sin estorbos. Debido a la movilidad del puente grúa y del carro que corre sobre el mismo, el campo abonado por la grúa es un rectángulo cuya superficie, en un caso ideal, coincide con la planta de la nave del taller (Tejada Berno, y otros, 2019).

3.2. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LA GRÚA

En todo proceso industrial es necesario manipular y trasladar los materiales que intervienen en el mismo, ya sea en forma de materia prima, de productos semielaborados en las etapas de fabricación o de productos terminados. Para realizar estos movimientos se utilizan las maquinas elevadoras en una diversa variedad de modelos.

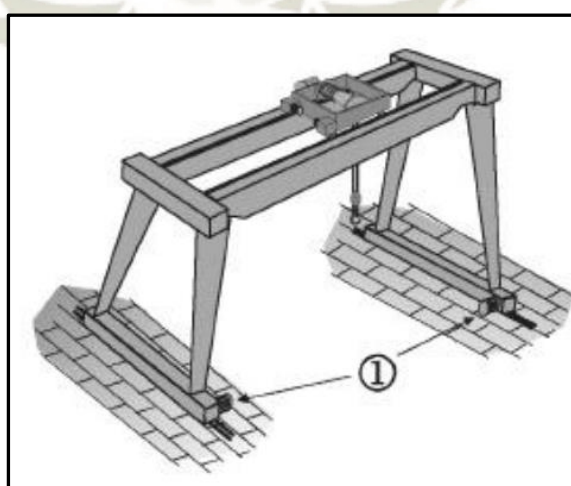
3.3. DESCRIPCIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE GRÚAS

Grúa Puente: El transporte dentro del taller es el principal campo de aplicaciones del puente grúa. Gracias a que circulan por vías elevadas, unidas casi siempre a la construcción de los pies de la nave del taller, al contrario de lo que sucede con otras clases de grúas (por ejemplo, las grúas pórtico o las giratorias) dejan libre toda la superficie del pavimento del taller, de modo que el trabajo y el tránsito sobre el suelo pueden efectuarse sin estorbos Figura 6 (Tejada Berno, y otros, 2019).


Figura 6: Grúa Puente

Fuente: Collado, 2010

Grúa Pórtico: Es un aparato de elevación que se desplaza sobre el suelo y presenta forma de pórtico de una luz moderada; se trata, por tanto, de una especie de puente grúa provisto de apoyos. Las grúas pórtico se encuentran sobre todo en los parques y en los patios de fábricas. Dado que circulan sobre rieles situados en el suelo, los gastos de primera instalación son menores que para los puentes grúa que circulan sobre un camino de rodadura elevado, lo que sobre todo se deja notar en el caso de un camino de rodadura de gran longitud. Se los prefiere por tanto para todas las aplicaciones en las que no entorpezcan la circulación por el suelo Figura 7. Si la grúa pórtico se encuentra adosada a las paredes de un edificio, se les da el nombre de Grúa semipórtico Figura 8 (Tejada Berño, y otros, 2019).


Figura 7 Grúa Pórtico

Fuente: Collado, 2010

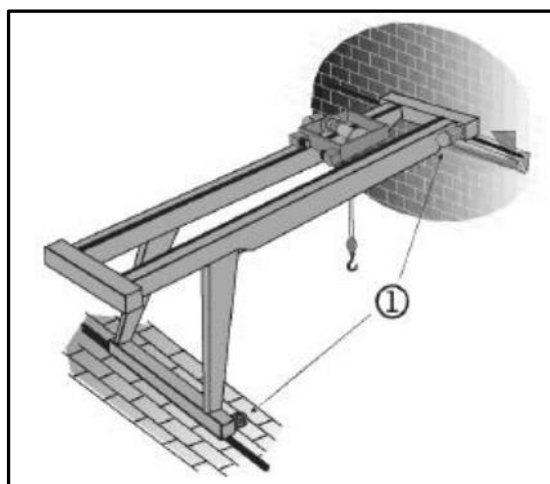


Figura 8 Grúa Semipórtico
Fuente: Collado, 2010

Grúa Ménsula: se utilizan para evitar los puentes grúa, tienen la forma de una viga en voladizo que cubre aproximadamente hasta un tercio del ancho de la nave y circulan sobre un camino de rodadura dispuesto sobre una pared longitudinal del edificio. Se reserva sobre todo al transporte de cargas ligeras a gran velocidad Figura 9 (Tejada Berno, y otros, 2019).

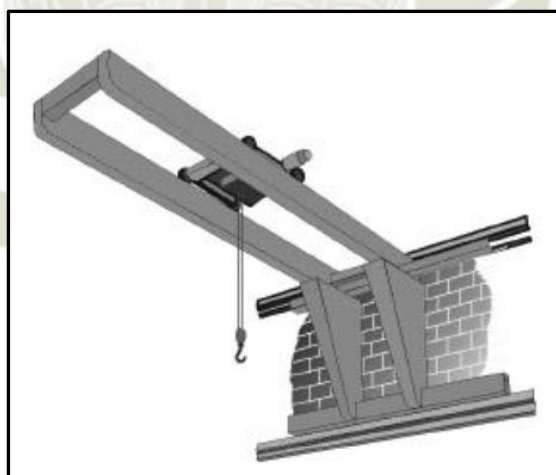


Figura 9 Grúa Ménsula
Fuente: Collado, 2010

Grúa de Columna Giratoria: en estas grúas el pescante giratorio está unido rígidamente a una columna apoyada en un cojinete superior y otro inferior. Se utilizan en las naves de transbordo u en almacenes, en puertos y estaciones, pero igualmente en los talleres para el servicio de máquinas herramientas y el transporte de piezas Figura 10 (Tejada Berno, y otros, 2019).

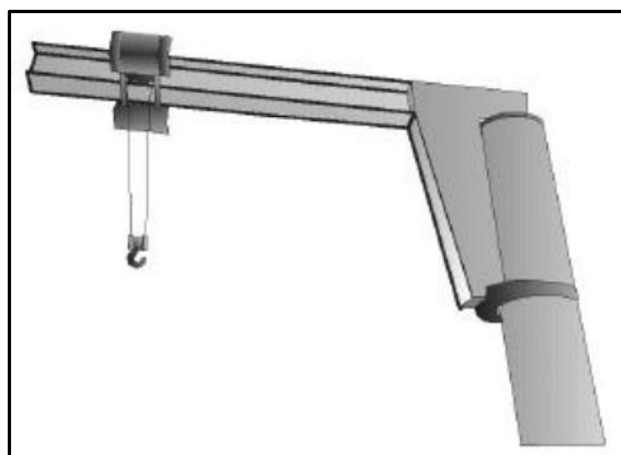


Figura 10 Grúa de Columna Giratoria

Fuente: Collado, 2010

Grúa Tipo Torre: Es un aparato de elevación de funcionamiento discontinuo, destinado a elevar y distribuir las cargas mediante un gancho suspendido de un cable, desplazándose por un carro a lo largo de una pluma. La grúa es orientable y su soporte giratorio se monta sobre la parte superior de una torre vertical, cuya parte inferior se une a la base de la grúa. La grúa torre suele ser de instalación temporal, y está concebida para soportar frecuentes montajes y desmontajes, así como traslados entre distintos emplazamientos. Se utiliza sobre todo en las obras de construcción Figura 11 (Rodríguez, 2015).

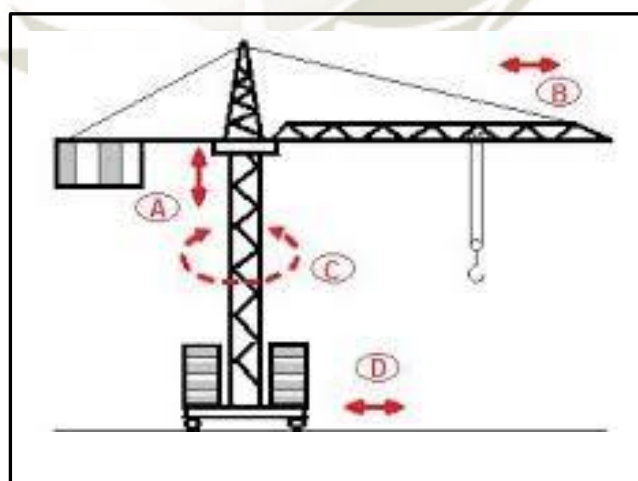


Figura 11 Grúa Tipo Torre

Fuente: Collado, 2010

3.4. MOVIMIENTO DE LA GRÚA PUENTE

1. Movimiento del Puente: Movimientos horizontales del puente
2. Movimiento del Carro: Movimientos horizontales del carro
3. Movimiento del Polipasto: Movimiento verticales hacia arriba y hacia abajo del dispositivo de elevación.

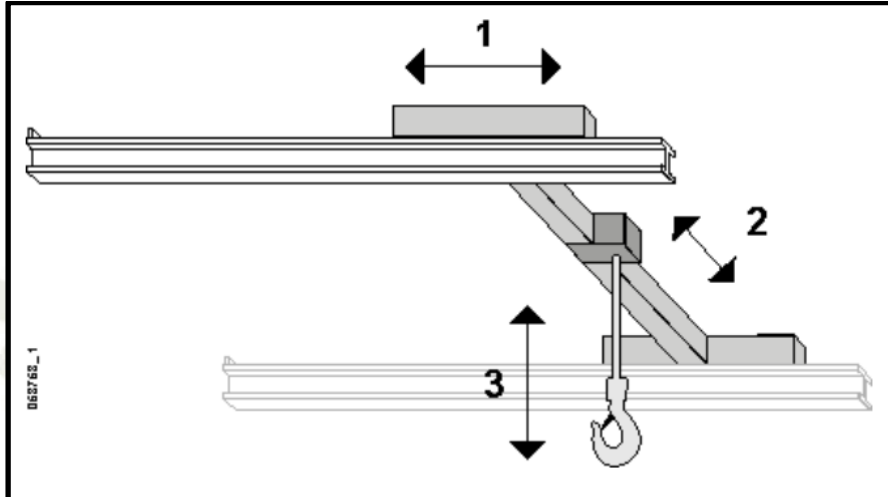


Figura 12 Movimiento de la grúa puente
Fuente: R&M Materials Handling, 2010

3.5. PRINCIPALES SISTEMAS DE UNA GRÚA PUENTE

Los principales sistemas de una grúa puente son los siguientes como indica la Figura 13.

1. ESTRUCTURA PRINCIPAL (Pista de Rodadura de la Grúa)
2. SISTEMA TRASLACIÓN DEL PUENTE
3. ESTRUCTURA DEL PUENTE (Maquinaria Móvil del Puente Longitudinal)
4. POLIPASTO
5. CARRO TRANSVERSAL
6. SISTEMA ELÉCTRICO

Definiciones de los componentes de una Puente Grúa

Estructura Principal: La viga principal (puente) se mueve a lo largo de la rodadura.

Estructura del Puente: El puente (viga principal) se mueve a lo largo de la rodadura.

Carro Transversal: El carro (unidad de elevación) se mueve a lo largo del puente (viga principal).

Polipasto: Mecanismo de accionamiento de elevación y descenso de la carga

Sistema Eléctrico: Es el sistema que permite con sus diferentes componentes permiten entregar energía y controlar el funcionamiento del puente grúa.

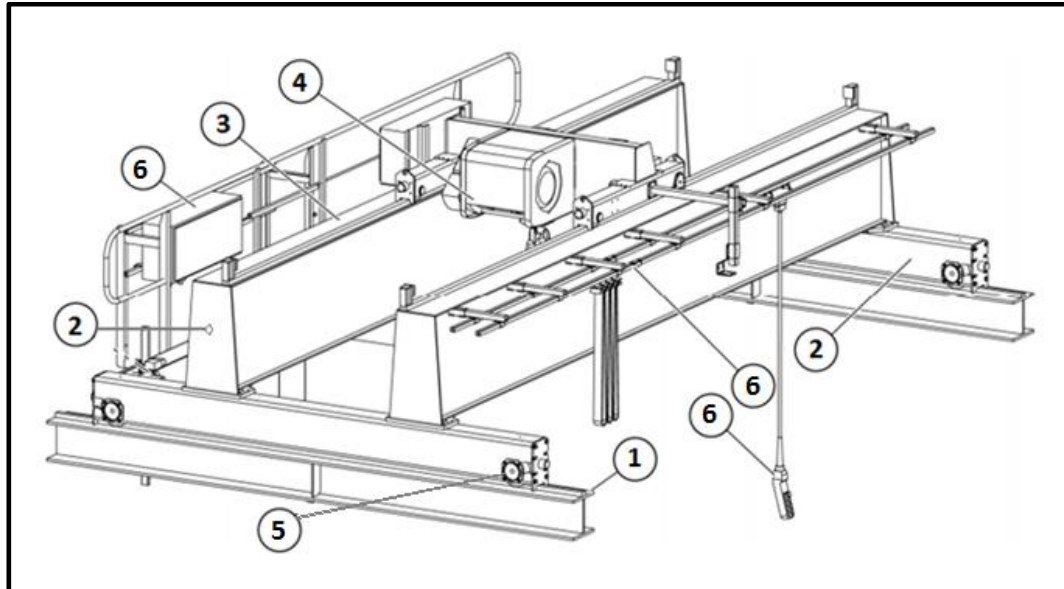


Figura 13 Componentes principales de una grúa puente

Fuente: R&M Materials Handling, 2010



Figura 14 Puente Grúa de 15 Ton

Fuente: Empresa San Martín Contratistas
Generales S.A., 2014

CAPITULO IV

4. MARCO TEÓRICO MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

4.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

En la tesis “APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD A MOTORES A GAS DE DOS TIEMPOS EN POZOS DE ALTA PRODUCCIÓN, nos dice que mediante la determinación del tiempo medio entre Falla (MTBF) permitirá determinar la frecuencia óptima de intervención de cada uno de los motores analizados a través del método gráfico; esta etapa es de mucha importancia dado que influye directamente en la hoja de decisiones y en el establecimiento de las tareas de mantenimiento preventivo de cada uno de los motores” (Da Costa Burga, 2010).

De acuerdo al AMEF y la clasificación obtenida a través del NPR (Número de Prioridad de Riesgo), se describe un problema de diseño, asentamiento o en el montaje del motor en la unidad de bombeo.

Mediante la aplicación de RCM se establece como prioridad la eliminación de las fallas inaceptables (las cuales pone en riesgo la continuidad de la operación); así mismo esta metodología propone la estrategia para lograr controlar las fallas de reducción deseable mediante un plan de mantenimiento preventivo efectivo y otras herramientas de predicción o monitoreo. Establece la adquisición de los repuestos en cantidad y los tiempos óptimos de los componentes críticos; efectuando un estudio de stocks mínimos y máximos considerando de la criticidad de los repuestos y de la reposición automática de los mismos. Como por ejemplo de acuerdo a los niveles de consumo de los filtros de aire se puede establecer la cantidad mensual de adquisición de estos componentes y el correcto nivel de stock que permita manejar un correcto mantenimiento sin pérdida de producción (Cáceres Malpica, 2016).

En la tesis “Diseño De Un Programa De Mantenimiento Basado En Confiabilidad De Una Planta Compresora De Gas, nos dice que la elaboración de un inventario detallado de líneas y equipos, con sus accesorios y componentes, permite llevar un historial puntual de las fallas que se registren en un futuro, pudiéndose determinar de esta forma los puntos más débiles de un circuito. Además, el estudio en detalle de los tiempos entre fallas permitirá mantener una base de datos adecuada para los subsiguientes estudios de mantenimiento. El estudio de criticidad, basado en

herramientas de ingeniería de confiabilidad: lazos de corrosión, predictibilidad y consecuencia de fallas; permitió optimizar el plan de inspección y los recursos planteados para tal fin en términos de integridad mecánica de líneas y equipos además optimizar el plan en términos económicos. A través del estudio de criticidad efectuado se determinó que las líneas de recirculación, los múltiples de entrada y salida de los enfriadores, líneas de gas caliente y los drenajes automáticos de los separadores, son los puntos más susceptibles del sistema por presentar éstos las velocidades de corrosión más altas. La frecuencia de inspección se ha determinado utilizando un criterio de criticidad basado en lazos de corrosión” (R. & J., 2003).

En la tesis “PLAN DE ANÁLISIS DE MODOS / EFECTOS DE FALLA Y PLAN DE MANTENIMIENTO PARA UNA MÁQUINA INDUSTRIAL LAVADORA DE PRENDA, nos dice que el estudio detallado del proceso productivo de la máquina lavadora marca Tupesa sirvió para reconocer la tecnología implicada en su funcionamiento y el desempeño que cumple para poder controlar la demanda de las variables físicas (vapor, agua, aditivos, aire comprimido) requeridas durante los ciclos del proceso, además para elaborar un esquema con los componentes que conforman cada sistema, herramienta adecuada para tener una mejor visión de las posibles causas de pérdida de desempeño de la máquina, y así optimizar los tiempos de mantenimiento. La evaluación del desempeño de la máquina lavadora utilizando el análisis FMEA (**F**ailure **M**ode **A**nalysis and **E**ffects) de la metodología del RCM permitió evaluar el potencial de riesgo de las fallas funcionales del sistema y la manera en que pueden afectar a la organización, y para optimizar sus resultados es necesario que el personal de mantenimiento en conjunto con el de producción de la planta, interrelacionen sus experiencias. Las aplicaciones de RCM ayudan a que las tareas de mantenimiento más efectivas sean seleccionadas y que las acciones más apropiadas sean elaboradas, con lo cual se logra que los esfuerzos de mantenimiento mejoren la operatividad de la máquina” (Guzmán Charrasqui, 2013).

En la tesis “IMPLEMENTACIÓN DEL RCM EN EL PLANEAMIENTO Y GESTIÓN ESTRATÉGICA DEL ÁREA DE MANTENIMIENTO DE LA EMPRESA DE TRANSPORTES HAGEMSA S.A.C., nos dice que el RCM provee las reglas para determinar cuál de los tipos de mantenimiento es el más adecuado en cada situación, de esta manera se eligió el mantenimiento más efectivo para cada activo físico, todo con su debido estudio de factibilidad técnica y económica, y se

tomaron las medidas necesarias en los casos en que el mantenimiento no nos puede ayudar. EL RCM pone énfasis al medio ambiente y la seguridad de cada patrón de falla minimizando el riesgo y los daños al medio ambiente. La utilización del análisis de modos y efectos de falla (AMEF) es una herramienta básica para detectar de manera eficiente y eficaz los modos de falla jerarquizando su importancia de ocurrencia en base a los efectos que éstas producen en los equipos. Reduce la cantidad de trabajo rutinario, es decir las tareas de mantenimiento hechas cíclicamente. Si se logra la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad se reducirá el costo de mantenimiento, debido a la aplicación de un tipo de mantenimiento adecuado y la eliminación de mantenimiento rutinario. La confiabilidad se hará posible gracias a los datos reales obtenidos del historial de las fallas de la flota, para analizar la causa raíz y así poder controlarlas” (Sirena A., Suárez P., & Ascencio V., 2009).

En la tesis “PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN TECNOLOGÍA RCM PARA EL ÁREA DE SERVICIO DE LA EMPRESA CARGILL DE VENEZUELA S.R.L PLANTA CATIA LA MAR, nos dice que al momento de elaborar una estrategia de mantenimiento es sumamente trascendental hacer un pre análisis y jerarquización del área de trabajo, equipos, sistemas o dispositivo analizando. El pre análisis permite estudiar el elemento, ver sus puntos débiles o puntos fuertes, observar si el equipo está en condiciones reparables o sencillamente ha caducado en lo absoluto. Además, el análisis preliminar ayuda a diseñar planos esquemáticos del equipo o dispositivo, así como tener un conocimiento más claro del elemento que se quiere mantener o reparar. La jerarquización es otro aspecto importante al momento de diseñar plan de mantenimiento, cuando jerarquizamos algo es como si aumentáramos con un microscopio su estructura con el fin de verlo y estudiarlo con más claridad. Al fragmentar los sistemas o equipos se pretende ver las partes que lo integran, su constitución, como funciona realmente y que puede hacer que deje de funcionar. El despiece general permite obtener una vista preliminar de todo el sistema o equipo garantizando una mejor visión del mismo y una mejor comprensión de su funcionamiento. De allí la importancia de jerarquizar a la hora de realizar o gerenciar cualquier tipo de mantenimiento” (Gómez Espejo, 2011).

En la tesis “DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (MCC) PARA UNA PALETIZADORA DE SACOS DE CEMENTO, nos dice que fue posible conocer el sistema paletizador, el cual está conformado por 6 subsistemas; Entrada, Banda Transportadora, Transferencias de Sacos, Elevación, Paletas Vacías y Paletas Llenas o de Salidas y estos a su vez por diversos equipos, resaltando que los mismos se encuentran conectados en series. Con la aplicación del Análisis de Modo y Efecto de Fallas a los equipos críticos de la paletizadora de sacos de cemento, fue posible conocer las funciones para las cuales están diseñados los equipos. Lo que le permitirá al personal de mantenimiento de la paletizadora conocer más profundo las causas de fallas que pueden ocurrir a los equipos, disminuyendo los costos innecesarios al sistema y el tiempo por parada inesperada” (Pérez Medina, 2010).

Mediante el Árbol Lógico de Decisiones, se logró constatar que el total de las fallas de los equipos críticos de la paletizadora de sacos de cemento eran evidentes, obteniendo un 99 % de los modos como consecuencias operacionales, mientras que el restante con consecuencias en la seguridad. Pudiendo mejorar de esta manera la organización de los recursos humanos y económicos de la empresa (Cáceres Malpica, 2016).

4.2. EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO

El mantenimiento durante su evolución ha recibido cambios muy grandes, determinándose una serie de enfoques y mejoras aplicadas en cada una de las etapas de su desarrollo. Es por esto que se llegan a distinguir cuatro generaciones muy diferenciadas desde sus inicios hasta nuestros días como muestra en la Figura 14 (Da Costa Burga, 2010).

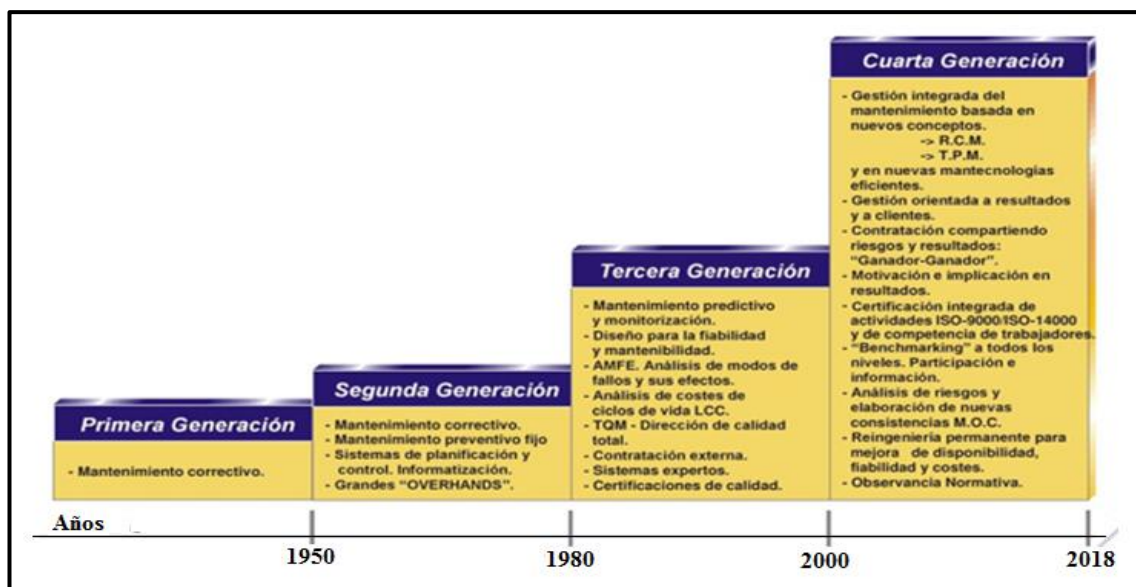


Figura 15 Historia de la evolución de la ingeniería de mantenimiento

Fuente: Fernández, 2015

4.3. MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM)

RCM (Reliability Centered Maintenance) es un proceso usado para determinar sistemática y científicamente qué se debe hacer para asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios desean que hagan.

Ampliamente reconocido por los profesionales de mantenimiento como la forma costo-eficaz de desarrollar estrategias de mantenimiento de clase mundial, RCM lleva a mejoras rápidas, sostenidas y sustanciales en la disponibilidad y confiabilidad de planta, calidad de producto, seguridad e integridad ambiental.

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

Integración: De una revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspecto de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento.

Atención: En las tareas del mantenimiento que mayor incidencia tienen en el funcionamiento y desempeño de las instalaciones, garantizando que la inversión en mantenimiento se utiliza donde más beneficio va a reportar (Tejada Berno, y otros, 2019).

4.3.1. Historia del RCM

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

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

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

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

El RCM fue originalmente definido por los empleados de la United Airlines Stanley Nowlan y Howard Heap en su libro “Reliability Centered Maintenance”, “Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad”, el libro que dio nombre al proceso (Tejada Berno, y otros, 2019).

La metodología de RCM se encuentra estandarizada por las normativas SAE JA 1011 “Criterios de Evaluación del Proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)” y SAE JA 1012 “Una Guía para el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad”. El proceso de RCM debe responder las 7 siguientes preguntas (Aragon Peñarrieta, 2017).

1. ¿Cuál es la función?, Lo que el usuario desea que la máquina haga.
2. ¿Cuál es la falla funcional?, Razones por las que deja de hacer lo que el usuario desea que haga.
3. ¿Cuál es el modo de falla?, Que pudo causar la falla funcional.
4. ¿Cuál es el efecto de la falla?, Que ocurre cuando la falla se produce.
5. ¿Cuál es la consecuencia de la falla?, Razones por las que importa que falle.
6. ¿Qué se puede hacer para evitar o minimizar la consecuencia de la falla?
7. ¿Qué se hace si no se encuentra ninguna tarea para evitar o minimizar la consecuencia de la falla? (Campos Barrientos, 2019).

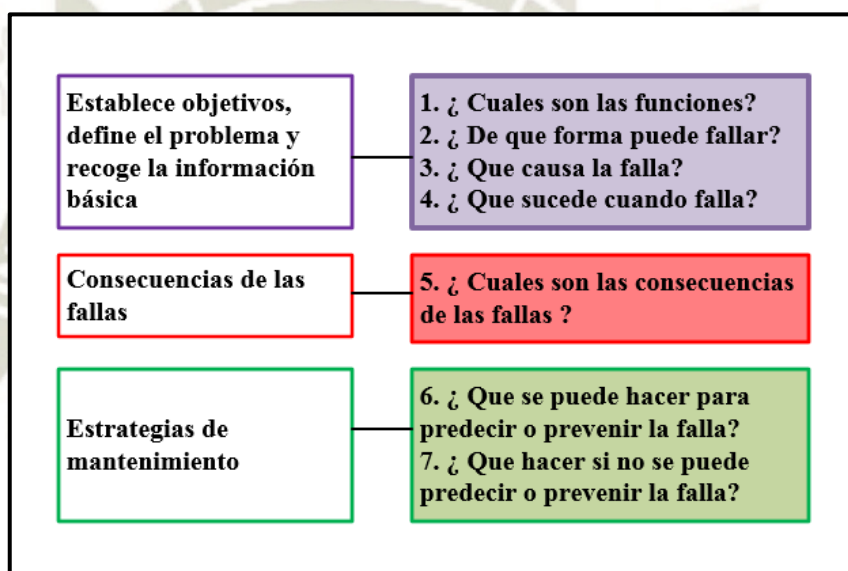


Figura 16 Las siete preguntas del RCM

Fuente: Moubray, 2004

4.4. FUNCIONES

La descripción de la función de un activo debe consistir de un verbo, un objeto y un parámetro de funcionamiento deseado, los que deben ser descritos tomando en cuenta el contexto operacional del activo. (Moubray, 2004).

Todo activo físico tiene más de una función, frecuentemente varias, y todas ellas deben ser identificadas junto con sus parámetros de funcionamiento específicos. Las funciones se dividen en dos categorías principales: funciones primarias y secundarias. (Moubray, 2004).

4.4.1. Funciones Primarias

Son la razón principal de porque es adquirido y existe el activo por eso se debe cuidar de definirlos tan precisamente como sea posible. Las funciones primarias son fáciles de reconocer, de hecho, el nombre de la mayoría de los activos físicos industriales se basa en su función primaria” (Moubray, 2004).

4.4.2. Funciones Secundarias

Se pretende que la mayoría de los activos cumplan una o más funciones además de la primaria, las cuales se conocen como funciones secundarias.

La función o funciones secundarias son menos obvias que la principal, pero a veces requieren mayor atención y las consecuencias de falla de estas pueden ser de mayor gravedad que las primarias, por lo que deben ser claramente identificadas. (Moubray, 2004).

4.4.3. Parámetros de Funcionamiento

El objetivo del mantenimiento es asegurarse que los continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que haga, lo que puede definirse como parámetro mínimo de funcionamiento. (Palomares Quintanilla, 2015).

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

- Funcionamiento deseado: Lo que el usuario quiere que haga
- Capacidad inicial: Lo que puede hacer

Cuando cualquier activo es puesto en funcionamiento, debe ser capaz de rendir más que el parámetro mínimo de funcionamiento deseado por el usuario. (Moubray, 2004).

Los parámetros de funcionamiento los podemos subdividir en diferentes categorías.

- Parámetros de funcionamiento múltiple: Muchas descripciones de funciones incorporan generalmente varios parámetros de funcionamiento.
- Parámetros de funcionamiento cuantitativos: Deben ser cuantificados cuando fuese posible, ya que éstos pueden medirse (Ej.: temperatura, presión, velocidad, etc.) (Moubray, 2004).

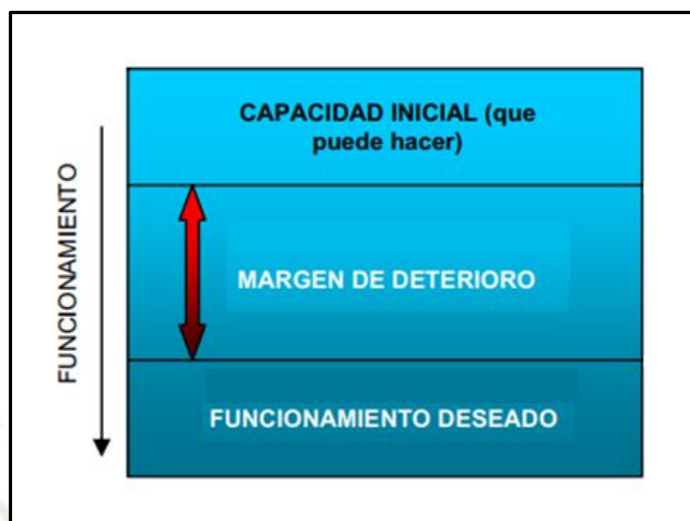


Figura 17 Parámetros de funcionamiento

Fuente: Moubray, 2004

4.4.4. Contexto Operacional

Indica las condiciones de operación del activo, y afecta a todo el proceso de formulación de estrategias de mantenimiento, comenzando por la definición de funciones” (Moubray, 2004).

Algunos de los factores importantes que deben ser considerados son:

- Aplicación
- Turnos de trabajo.
- Sobrecargas.
- Condición física del lugar (Moubray, 2004).

4.5. FALLAS FUNCIONALES

Un activo falla cuando no hace lo que el usuario desea que haga.” (Moubray, 2004)

Una falla funcional puede ser una pérdida total de una función o también puede ser en las que el comportamiento funcional queda al margen de los parámetros de funcionamiento establecidos. (Moubray, 2004).

Cada activo tiene más de una función, por lo tanto, al ser posible que cada una de éstas falle, se deduce que cualquier activo puede tener una variedad de estados de fallas diferentes. Entonces es preciso definir una falla en términos de “pérdida de una función específica” y no con la “falla del activo como un todo”. Dado que este se aplica a funciones individuales, podemos definir una falla funcional como: “La

incapacidad de cualquier activo de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario” (Moubray, 2004).

4.6. MODOS DE FALLOS

“Un modo de falla puede ser definido como cualquier evento que causa una falla funcional. La descripción correcta de un modo de falla debe consistir de un sustantivo y un verbo” (Moubray, 2004).

4.6.1. Categorías de Modo de Fallas

Los modos de falla pueden ser clasificados en tres grupos de la siguiente manera, Figura 18.

- Capacidad debajo el funcionamiento deseado: Deterioro (fatiga, corrosión, abrasión, erosión, evaporación, degradación, etc.), fallas de lubricación (falta y falla del lubricante), polvo o suciedad, desarme (falla en: soldaduras, uniones, remaches, bulones, conexiones, etc.), errores humanos (reducción de capacidad).

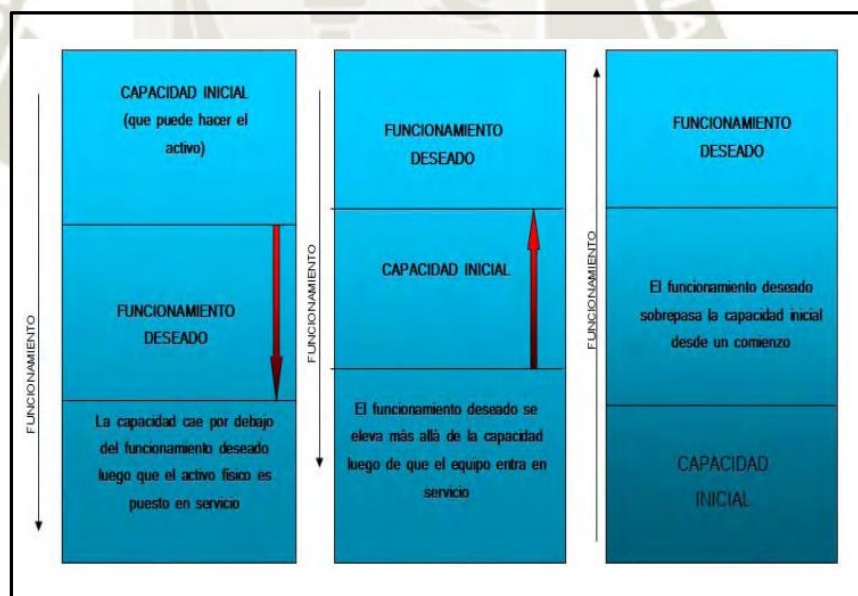


Figura 18 Categorías de modos de falla

Fuente: Moubray, 2004

- Capacidad por sobre el funcionamiento deseado: El funcionamiento deseado aumenta hasta que el activo no puede responder, el aumento del esfuerzo causa que se acelere el deterioro hasta el punto en que el activo se torna tan poco confiable que deja de ser útil.

- Capacidad inicial fuera del rango desde el inicio: A veces surgen situaciones en las que el funcionamiento deseado está fuera del rango de capacidad inicial desde el comienzo (Vasquez Oyarzún, 2008).

4.6.2. Cantidad de Detalle

El nivel de detalle afecta profundamente la validez del análisis de modos de falla y la cantidad de tiempo que requiere hacerlo. La escasez de detalles y/o modos de falla puede llevar a un análisis superficial y hasta peligroso. Por el contrario, demasiados modos de falla o demasiado detalle hacen que todo el proceso RCM lleve mucho más tiempo que el necesario. Esto significa que es esencial tratar de lograr un equilibrio correcto. (Moubray, 2004).

4.7. EFECTOS DE FALLAS

En el proceso de implementación de RCM hay que hacer una lista de lo que sucede al producirse cada modo de falla. Esto se denomina efectos de falla. Al describir los efectos de una falla, debemos incluir toda la información necesaria para ayudar en la evaluación de las consecuencias de las fallas y debe hacerse constar lo siguiente. (Moubray, 2004)

- La evidencia de que se ha producido una falla: Debe permitir a los operarios si la falla será evidente para ellos en el desempeño de sus tareas normales. También debe indicar si va precedida por: ruidos, fuego, humo, fugas de fluidos, si se detiene el equipo, etc. Si se tratase de dispositivos de seguridad, debe detallarse que sucedería si fallase el dispositivo protegido mientras el dispositivo de seguridad se encuentra en estado de falla.
- En que forma la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente: Debe señalarse la manera en que pueda lesionarse o morir alguna persona o infringir alguna normativa o reglamento relativo al medio ambiente como consecuencia de una falla.
- Las maneras en que afecta a la producción o a las operaciones: Debe indicarse cómo y cuánto afecta, ya sea por parada de máquina o varias de ellas, interrupción línea de proceso, etc.
- Los daños físicos causados por la falla: Cuantificar los daños.
- Que debe hacerse para reparar la falla: Cuales son las medidas correctivas a tomar para repararla (Vasquez Oyarzún, 2008).

4.7.1. Fuentes de Información sobre Modos y Efectos

Las fuentes de información más comunes acerca de modos de falla y sus efectos son las siguientes (Moubray, 2004):

- El fabricante o proveedor del equipo.
- Otros usuarios de la misma maquinaria.
- Personal de manutención.
- Operadores del equipo.
- Listas genéricas de modos de falla.

Las fuentes de información anteriores, son importantísimas a la hora de establecer un análisis RCM, pero no deben ser absolutas ni las únicas, ya que no siempre se adecuarán a las funciones, parámetros de funcionamiento y contexto operacional del activo a analizar. (Moubray, 2004)

4.8. CONSECUENCIA DE FALLAS

Las consecuencias de las fallas se clasifican en cuatro categorías de importancia decreciente de la siguiente manera (Moubray, 2004):

- Consecuencias del fallo oculto: Un modo de falla tiene consecuencias por fallas ocultas si la pérdida de función causada por este modo de fallo actuando por sí solo en circunstancias normales es evidente a los operarios.
- Consecuencias para la seguridad o el medio ambiente: Un modo de falla tiene consecuencias para la seguridad o el medio ambiente si causa una pérdida de función y produce daños que pudieran lesionar o matar a alguien; o infringir cualquier normativa o reglamento ambiental conocido.
- Consecuencias operacionales: Un modo de falla tiene consecuencias operacionales si tiene un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional afectando: el volumen de producción, calidad del producto, servicio al cliente o incrementar el costo operacional.
- Consecuencias no operacionales: No ejercen un efecto adverso directo sobre la seguridad, el medio ambiente o la capacidad operacional, sólo tiene consecuencias en los costos directos de reparación (Vasquez Oyarzún, 2008).

4.8.1. Funciones Ocultas y Evidentes

Una función evidente es aquella cuya falla finalmente e inevitablemente será evidente por sí sola a los operadores en circunstancias normales. No obstante, algunas fallas ocurren de tal forma que nadie sabe que el elemento se ha averiado a menos que se produzca alguna otra falla. Esto significa que una función oculta es aquella cuya falla no se hará evidente a los operarios bajo circunstancias normales, si se produce por sí sola. (Moubray, 2004).

4.8.2. Fallas Ocultas y Dispositivos de Seguridad

Los dispositivos de seguridad o de protección funcionan de una de cinco maneras (Moubray, 2004):

- Alertar ante condiciones anormales de funcionamiento.
- Parar el equipo en caso de falla.
- Eliminar o aliviar las condiciones anormales originadas por una falla y de que otra manera podrían causar daños más serios.
- Asumir control de una función que ha fallado.
- Prevenir que surjan situaciones peligrosas (Palomares Quintanilla, 2015).

4.8.3. Prevención de la Falla Oculta

Vasquez Oyarzún (2008) indica que: para prevenir una falla múltiple, debemos asegurar que la función oculta no se encuentre en estado de falla y si cuando falla la función protegida.

Hay que dar la disponibilidad necesaria para reducir la probabilidad de una falla múltiple a un nivel tolerable, entonces: "Para fallas ocultas, merece la pena realizar una tarea proactiva si asegura la disponibilidad necesaria para reducir la probabilidad de una falla múltiple a un nivel tolerable".

“Si no es posible encontrar una manera adecuada de prevenir una falla oculta, todavía es posible reducir el riesgo de una falla múltiple revisando la función oculta periódicamente para saber si sigue funcionando. Si esta revisión es llevada a cabo a intervalos adecuados y si la función es restaurada en cuánto se descubre que está defectuosa, todavía es posible asegurar altos niveles de disponibilidad.”

4.9. TAREAS PROACTIVAS

Son tareas comenzadas antes de que ocurra una falla, con el objetivo de prevenir que el componente llegue a un estado de falla. Engloban lo que comúnmente se denomina mantenimiento preventivo y predictivo, aunque el RCM utiliza los términos de reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica, y mantenimiento a condición. (Tejada Berno, y otros, 2019).

4.9.1. Factibilidad Técnica y Merecer la Pena

Cuando preguntamos si una tarea proactiva es técnicamente factible, estamos simplemente preguntando si a la tarea le es posible prevenir o anticipar la falla en cuestión. Si una tarea proactiva es técnicamente factible o no, depende de las características técnicas del modo de falla y de la tarea. (Moubrray, 2004).

Cualquier tarea proactiva sólo merece la pena ser realizada si resuelve adecuadamente las consecuencias de la falla que se pretende evitar.

Esto ciertamente supone que es posible anticipar o prevenir la falla. Si una tarea proactiva es técnicamente factible o no, depende de las características técnicas de la tarea, y de la falla que pretende evitar. (Tejada Berno, y otros, 2019).

4.9.2. Fallas Potenciales

La Figura 18 ilustra lo que sucede en los estados finales de la falla.

Se llama curva P-F, porque muestra como comienza la falla, como se deteriora al punto en que puede ser detectada (P) y luego, si no es detectada y corregida, continúa deteriorándose, generalmente muy rápido, hasta que llega al punto de falla funcional (F).

“El punto en el proceso de la falla en el que es posible detectar si la falla está ocurriendo o si está a punto de ocurrir se conoce como falla potencial. En otras palabras, una falla potencial es un estado identificable que indica que una falla funcional está a punto de ocurrir o en el proceso de ocurrir” (Tejada Berno, y otros, 2019).

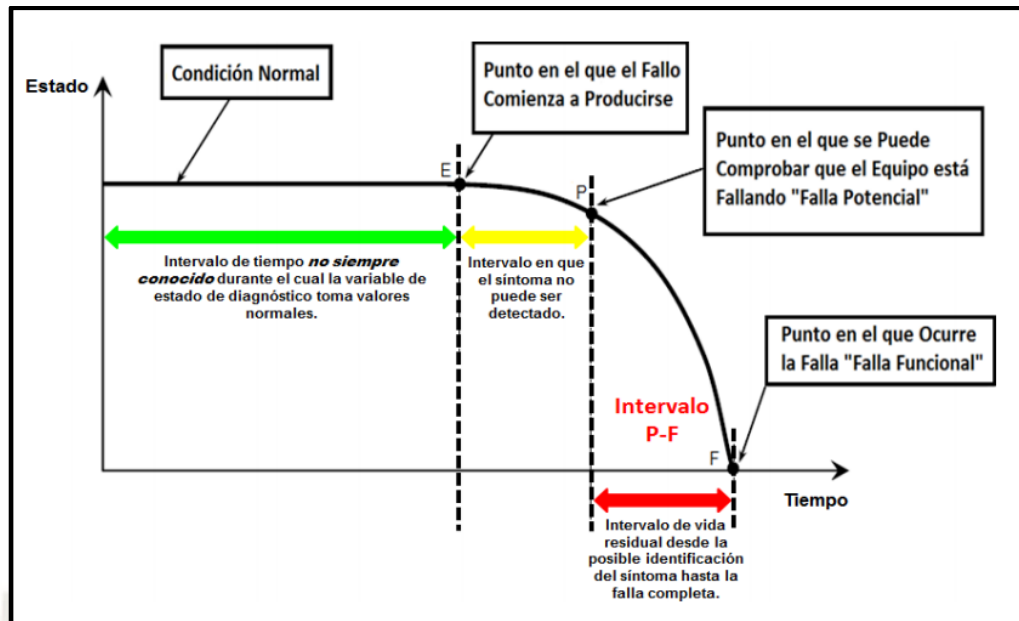


Figura 19 Curva P-F
Fuente: Moubray, 2004

4.9.3. Intervalo P-F

Además de la falla potencial en sí misma, necesitamos considerar la cantidad de tiempo que transcurre entre el punto en el que ocurre una falla potencial y el punto en el que se deteriora llegando a la falla funcional. Como lo muestra la Figura 21 este rango se conoce como el intervalo P-F. El intervalo P-F nos permite decir con qué frecuencia deben realizarse las tareas a condición.

Si queremos detectar la falla potencial antes de que se convierta en falla funcional, el intervalo entre las revisiones debe ser menor al intervalo P-F. En la práctica generalmente basta con seleccionar una frecuencia de tarea igual a la mitad del intervalo P-F. Esto lleva al concepto de intervalo P-F neto” (Tejada Berno, y otros, 2019).

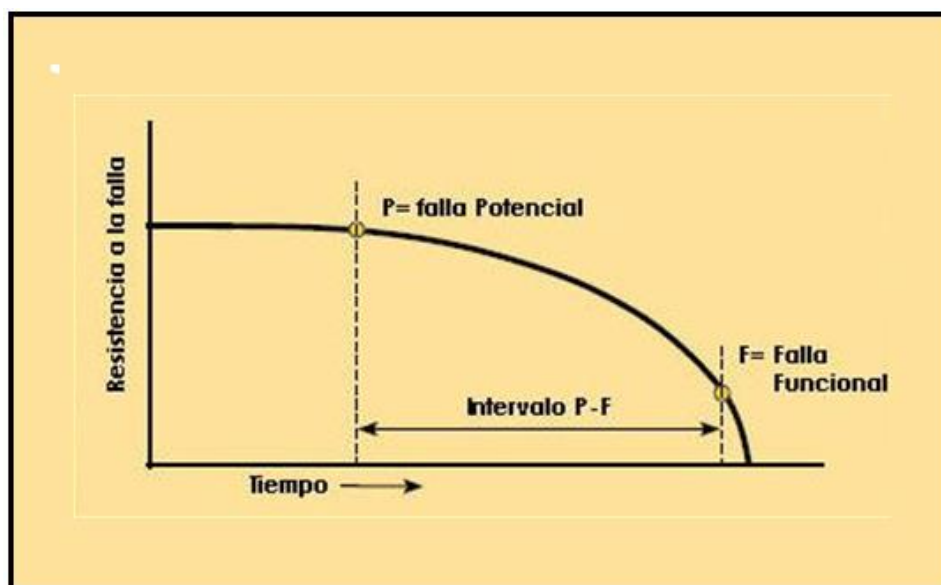


Figura 20 Intervalo P-F
Fuente: Moubray,2004

4.9.4. Intervalo P-F neto

El intervalo P-F es el mínimo intervalo que es probable que transcurra entre el descubrimiento de una falla potencial y la ocurrencia de la falla funcional. Esto se ilustra en la Figura 20, la que muestra una falla con un intervalo P-F de nueve meses, lo que indica que, si el elemento es inspeccionado mensualmente, el intervalo P-F es de 8 meses.

Ahora las tareas a condición consisten en chequear si hay fallas potenciales, que permitan actuar para prevenir la falla funcional o evitar las consecuencias de la falla funcional” (Tejada Berno, y otros, 2019).

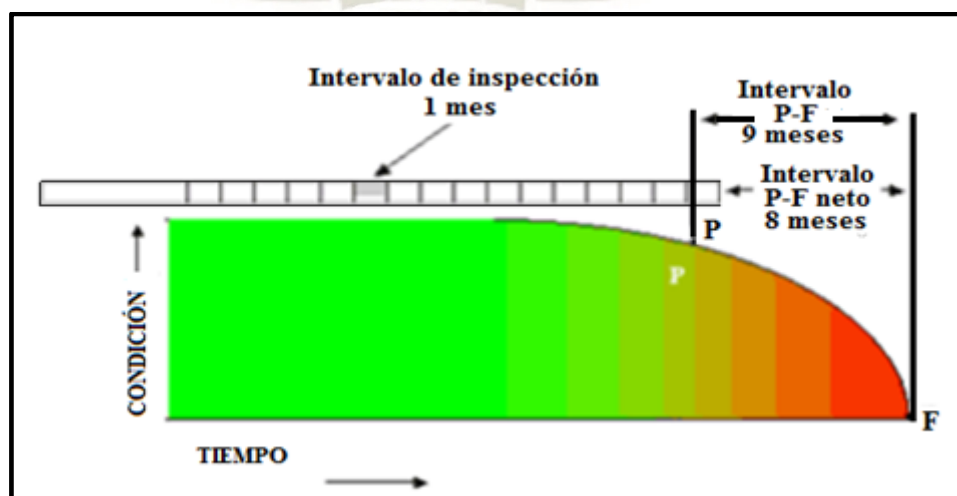


Figura 21 Intervalo P-F neto
Fuente: Moubray,2004

4.9.5. Tareas de Reacondicionamiento Cíclico

El reacondicionamiento cíclico consiste en actuar periódicamente para reacondicionar a su condición original una pieza o componente existente”

Una definición específica sería: “El reacondicionamiento cíclico consiste en reconstruir un componente o hacer una gran reparación a un conjunto ensamble completo antes de, o en el límite de edad específico, independientemente de su condición en ese momento” (Palomares Quintanilla, 2015).

4.9.5.1. Frecuencia de reacondicionamiento cíclico

“Gobernada por la edad en la que la pieza o componente muestra un rápido incremento en la probabilidad condicional de falla. Las tareas de reacondicionamiento cíclico son satisfactoriamente determinadas sobre la base de antecedentes históricos confiables” (Tejada Berno, y otros, 2019).

4.9.5.2. Factibilidad técnica del reacondicionamiento cíclico

Las tareas de reacondicionamiento cíclico son técnicamente factibles si

Hay una edad identificable en la que la pieza muestra un rápido incremento en la probabilidad condicional de falla.

- Que la mayoría de las piezas sobrevivan a esta edad.
- Se restaura la resistencia original de la pieza a la falla (Vasquez Oyarzún, 2008)

4.9.5.3. Efectividad del reacondicionamiento cíclico

Aunque sea técnicamente factible, puede que no merezca la pena el reacondicionamiento cíclico porque puede que otras tareas sean aún más efectivas. Algunas de las razones por las que no vale la pena realizar reacondicionamiento cíclico son:

Una reducción en el número de fallas no es suficiente si la falla tiene consecuencias para la seguridad o el medio ambiente, porque queremos eliminar totalmente estas fallas.

Si las consecuencias son económicas, necesitamos estar seguros de que a lo largo de un período de tiempo, el costo de realizar la tarea de

reacondicionamiento cíclico es menor al costo de permitir que ocurra la falla (Tejada Berno, y otros, 2019).

4.9.6. Tareas Sustitución Cíclica

Las tareas de sustitución cíclica consisten en descartar un elemento o componente antes de, o en el límite de edad específico, independiente de su condición en el momento. La filosofía de estas tareas es reemplazar la parte usada por una nueva, la que restaurará a su condición original (Tejada Berno, y otros, 2019)

4.9.6.1. Frecuencia de la sustitución cíclica

Al igual que las tareas de reacondicionamiento cíclico, la frecuencia de una tarea de sustitución cíclica está gobernada por la edad a la que la pieza o componente muestra un rápido incremento en la probabilidad condicional de falla. (Vasquez Oyarzún, 2008).

4.9.6.2. Factibilidad técnica de la sustitución cíclica

Las tareas de sustitución cíclicas son técnicamente factibles bajo las siguientes circunstancias:

- Hay una edad identificable en la que la pieza muestra un rápido incremento en la probabilidad condicional de falla.
- La mayoría de los elementos sobreviven a esta edad (Vasquez Oyarzún, 2008).

4.9.7. Tareas a Condición

Las tareas a condición son conocidas como mantenimiento predictivo, ya que se evalúa el estado del componente y se decide cuál acción tomar (Vasquez Oyarzún, 2008).

4.9.7.1. Factibilidad técnica de tareas a condición

Las tareas a condición son técnicamente factibles si:

- Es posible definir una condición clara de falla potencial.
- El intervalo P-F es razonablemente consistente.
- Resulta práctico monitorear el elemento a intervalos menores al intervalo P-F.

El intervalo P-F neto es lo suficientemente largo como para ser de alguna utilidad, o lo suficientemente largo como para actuar a fin de reducir o eliminar las consecuencias de la falla funcional (Vasquez Oyarzún, 2008).

4.9.7.2. Categorías de técnicas a condición

Las cuatro categorías principales de técnicas a condición son las siguientes

- Técnicas de monitoreo de condición: implica el uso de algún equipo especializado para monitorear el estado de otros equipos y sus fallas potenciales. Algunas de ellas son clasificadas como de efectos: dinámicos, de partículas, químicas, físicas, de temperatura, eléctricas, etc.
- Técnicas basadas en variaciones en la calidad del producto.
- Técnicas de monitoreo de los efectos primarios: que implican el uso inteligente de indicadores existentes y equipo de monitoreo de procesos.
- Técnicas de inspección basadas en los sentidos humanos (Vasquez Oyarzún, 2008).

4.9.7.3. Realización tareas a condición

Las tareas a condición deben satisfacer los siguientes criterios para que justifique su ejecución.

- Si una falla es oculta, no tiene consecuencias directas: Entonces una tarea a condición cuya intención es prevenir una falla oculta, debe reducir el riesgo de una falla múltiple a un nivel aceptablemente bajo. En la práctica, debido a que la función es oculta, muchas de las fallas potenciales que normalmente afectan a las evidentes también serán ocultas.
- Si la falla tiene consecuencias para la seguridad o el medio ambiente: sólo merece la pena realizar una tarea a condición si fiablemente da suficiente advertencia de la falla como para que se pueda actuar a tiempo para evitar las consecuencias para la seguridad o el medio ambiente.
- Si la falla no afecta a la seguridad, la tarea debe ser eficaz en cuanto a los costos: O sea a lo largo de un período de tiempo el costo de realizar la tarea a condición debe ser menor al costo de no hacerla (Vasquez Oyarzún, 2008).

4.9.8. Selección de tareas proactivas

Muchas veces es difícil decidir si una tarea proactiva es técnicamente factible. Las características de la falla rigen esta decisión, y generalmente son lo suficientemente claras como para que la decisión sea simplemente cuestión de sí o no, ahora decidir si merece la pena ser realizadas suele requerir más deliberación. El orden básico de preferencia para seleccionar tareas proactivas es el siguiente (Vasquez Oyarzún, 2008).

4.9.8.1. Tareas a condición

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

- Generalmente son realizadas sin desplazar el activo físico de su ubicación y normalmente mientras funciona: Rara vez interfieren en el proceso de producción y son fáciles de organizar.
- Identifican condiciones específicas de falla potencial: de modo que se puede definir claramente la acción correctiva antes de que comience el trabajo, lo que reduce la cantidad de trabajos de reparación, y hace posible realizarlos más rápidamente.
- El identificar el punto de falla potencial en los equipos: les permite cumplir con casi toda su vida útil (Vasquez Oyarzún, 2008).

4.9.8.2. Tareas de reacondicionamiento cíclico

Si no puede encontrarse una tarea a condición apropiada para una falla en particular, la opción siguiente es una tarea de reacondicionamiento cíclico. Ésta también debe ser técnicamente factible, por lo que las fallas deben estar concentradas alrededor de una edad promedio. Si lo están, el reacondicionamiento cíclico antes de esta edad puede reducir la incidencia de fallas funcionales

Algunas de las ventajas del reacondicionamiento cíclico son:

- Solamente pueden realizarse deteniendo el activo y enviándolo al taller: por lo que estas tareas de alguna manera afectan a la producción.
- El límite de edad se aplica a todos los elementos: entonces muchos componentes que podrían haber sobrevivido más tiempo serán removidos.

- Las tareas de reacondicionamiento involucran trabajos de taller: por lo que generan una carga mucho mayor que las tareas a condición (Vasquez Oyarzún, 2008).

4.9.8.3. Tareas de sustitución cíclica

La sustitución cíclica normalmente es la menos eficaz en cuanto a costos de las tres tareas proactivas. Sin embargo, cuando es técnicamente factible, posee algunas características deseables. Puede ocurrir que la sustitución de un elemento sea capaz de prevenir ciertas fallas que no estaban consideradas o se pasaron por alto críticas (Vasquez Oyarzún, 2008).

4.9.8.4. Combinación de tareas

Para algunos modos de falla con consecuencias para la seguridad o el medio ambiente, no se puede encontrar una tarea que por sí sola reduzca el riesgo de falla a un nivel tolerablemente bajo, ni tampoco un rediseño adecuado. En estos casos a veces es posible encontrar una combinación de tareas, generalmente de dos categorías de tareas diferentes, lo que reduce el riesgo de falla a un nivel tolerable. Cada tarea es llevada a cabo con frecuencia propia (Vasquez Oyarzún, 2008).

4.9.9. Acciones “a falta de”

Este punto trata de que se debe hacer si no se encuentra una tarea proactiva adecuada. Esto comienza con una revisión de las tareas de búsqueda de falla y luego considera el rediseño (Vasquez Oyarzún, 2008).

4.9.9.1. Búsqueda de falla y fallas múltiples

Las tareas de búsquedas de falla consisten en chequear una función oculta a intervalos regulares para ver si ha fallado.

Una falla múltiple ocurre cuando falla una función protegida mientras un dispositivo de protección se encuentra en estado de falla. La probabilidad de una falla múltiple puede ser reducida aumentando la disponibilidad del dispositivo de seguridad (Vasquez Oyarzún, 2008).

4.9.9.2. Aspectos técnicos de la búsqueda de falla

El objetivo de la búsqueda de falla es darnos la tranquilidad de que un dispositivo de seguridad proveerá la protección requerida si fuese necesario, o sea estamos chequeando que todavía funcione. Algunos de los puntos principales que se le hacen a este tema son:

- **Chequear el sistema de protección completo**

Una tarea de búsqueda de falla debe asegurar de detectar todos los modos de falla que tienen posibilidad de causar la falla del dispositivo de seguridad. Lo ideal sería hacerlo simulando las condiciones a las que el circuito debería responder, y chequear si el elemento que actúa da la respuesta correcta.

- **No perturbarlo**

Desarmar cualquier cosa trae consigo la posibilidad de que se vuelva a armar de manera incorrecta, si es que es posible hacer esto (Vasquez Oyarzún, 2008).

4.10. CONCEPTOS ASOCIADOS A LA CONFIABILIDAD

4.10.1. Tiempo Medio entre Fallas (MTBF)

El tiempo medio entre fallas es el tiempo de funcionamiento promedio entre las paradas del equipo en función de la frecuencia promedio de inactividad del equipo expresada en horas.

$$MTBF = \frac{\text{Horas operativas o efectivas}}{\text{Numero de paradas}}$$

- Horas operativas o efectivas: Son las horas totales en las que el equipo se encuentran en operaciones realizando sus funciones sin alertas de mantenimiento.
- Número de paradas: Es el número de paradas totales del equipo, en las cuales no estuvo en operación más bien en patio de bahías en proceso de mantenimiento y reparación.

4.10.2. Tiempo Medio entre Reparaciones (MTTR)

El tiempo medio entre reparación (MTTR) es una medida de rendimiento que cuantifica reparar el tiempo de respuesta, es decir, con qué rapidez se devuelve una maquina al servicio una que ocurre un incidente de inactividad.

$$MTTR = \frac{\text{Total de horas de inactividad}}{\text{Numero de paradas}}$$

- Total, de horas de inactividad: Son las horas totales en las que el equipo se encuentran en inactividad ya sea por actividades de mantenimiento o por otros sucesos.
- Número de paradas: Es el número de paradas totales del equipo, en las cuales no estuvo en operación más bien en patio de bahías en proceso de mantenimiento y reparación.

4.10.3. Disponibilidad

El índice de disponibilidad es el resultado de la frecuencia y duración de los eventos de tiempo de inactividad o paradas. Debido a la relación matemática entre MTBF y MTTR se obtiene el índice de disponibilidad, este resultado nos muestra cuál de los dos factores tuvo más influencia sobre el resultado final y este cálculo permite que se pueda tomar decisiones de acuerdo con los resultados del índice de disponibilidad de la flota de camiones.

La disponibilidad total es el indicador más importante de la gestión de mantenimiento, ya que esta nos permite tener el tiempo total que se encuentra disponible en operación para realizar las funciones asignadas. Para lo cual se tiene como indicadores medibles la cantidad de horas que se encuentra en operación y la cantidad de horas que se encuentra parado en las bahías de mantenimiento.

$$DISPONIBILIDAD = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

- MTBF: Tiempo medio entre fallas
- MTTR: Tiempo medio entre reparaciones.

4.10.4. Confiabilidad Función Weibull

La ingeniería de confiabilidad es el estudio de la longevidad y el fallo de los equipos. Para la investigación de las causas por las que los dispositivos envejecen y fallan se aplican principios científicos y matemáticos. El objetivo estriba en que una mayor comprensión de los fallos de los componentes ayudará en la identificación de las mejoras que pueden introducirse en los diseños de los productos para aumentar su vida o por lo menos para limitar las consecuencias adversas de los fallos.

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta}}$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta}}$$

Parámetros de Función Weibull (β , γ , η):

- Beta (β): Parámetro de forma, denota en que ciclo de vida se encuentra la máquina, sea infancia, vida útil o vejez.

$\beta < 1$ Periodo de infancia.

$\beta = 1$ Periodo de vida útil, independiente del proceso y tiempo.

$\beta > 1$ Periodo de desgaste u obsolescencia que se puede analizar detalladamente para orientar el diagnostico.

$1.0 < \beta < 2.5$ Fenómeno fatiga

$3.0 < \beta < 4.0$ Fenómeno de desgaste, corrosión

- Eta (η): Parámetro de escala o vida característica, tiempo donde se manifestó la falla más trascendente en un ciclo de vida determinada probabilidad de falla del 63.20%.
- Gamma (γ): Constante de tiempo mínimo de falla, tiempo libre de falla o tiempo de garantía, es el lapso de tiempo donde la máquina no tiende a fallar.
- Tiempo (t): Es la variable independiente, es decir, es el lapso de tiempo específico al que hallamos su respectiva confiabilidad en la máquina (García Pedraza, 2019).

4.11. METODOLOGÍA DE IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD-RCM

4.11.1. Metodología del RCM

La metodología empleada en el desarrollo de este proyecto es una serie de etapas desde la idea, el primer paso es la implementación del Mantenimiento Basado en la Confiabilidad- RCM, es un tipo de mantenimiento con valor agregado respecto a otros tipos de mantenimiento, donde su indicador denominado confiabilidad determina la disponibilidad y operatividad de máquinas y equipos de cualquier tipo de empresa.

Una segunda etapa, es revisar la Bibliografía correspondiente, analizar los contenidos para clasificar la importancia de cada uno de ellos y así plasmarlo en el contenido teórico de tal manera retroalimentar en nuestros procedimientos; y las fórmulas a aplicar para la siguiente etapa.

En la tercera etapa implementamos a través de La norma SAE JA1012 que especifica los requerimientos que debe cumplir un proceso para poder ser denominado un proceso RCM, donde nos permite mediante el análisis de cada equipo o sistema, cómo puede fallar funcionalmente y qué consecuencias pueden derivarse de esas fallas, los efectos de cada modo de falla se evalúan de acuerdo al impacto sobre la seguridad, el medio ambiente, la operación y el costo. El RCM es promueve el uso racional de los recursos, reducir el costo de mantenimiento al valor justo y necesario, procurando hacer foco en las funciones principales y en los riesgos más importantes de los sistemas, evitando acciones de mantenimiento superfluas o que no sean estrictamente necesarias. Por lo tanto, el empleo del RCM implica no solo un uso más adecuado de los recursos sino también una mejora en la forma de trabajo de la organización (Rojas Siles, 2014).

La metodología propuesta por el RCM se encuentra completamente estandarizada, y cada una de sus etapas se registra en documentos especialmente elaborados para facilitar su implementación como muestra en la Figura 21, 22. (Vasquez Oyarzún, 2008).

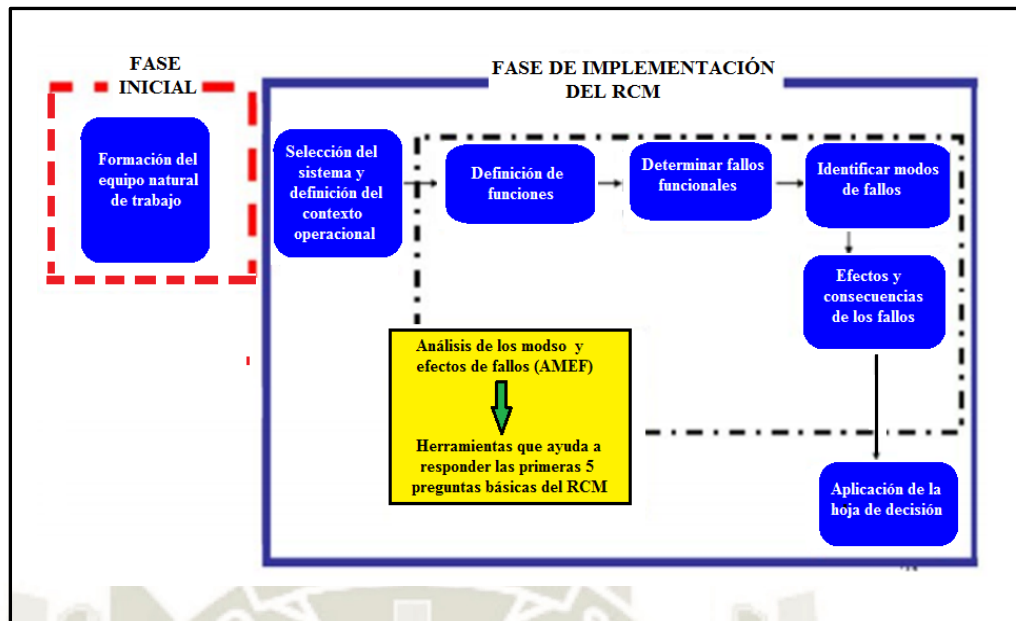


Figura 22 Flujoograma de implementación del RCM
Fuente: Parra, 2008

El mantenimiento centrado en fiabilidad (MCF) o RCM (Reliability Centered Maintenance) es una de las técnicas organizativas actuales aplicadas al mantenimiento que más significativamente mejora sus resultados.

Es un proceso para determinar cuáles son las operaciones que debemos hacer para que un equipo o sistema continúe desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional, siempre y cuando sean rentables para la empresa.

Este enfoque gradual de “arriba-abajo” significa que las tareas sistemáticas sólo se especifican para elementos que las necesitan realmente. Esta característica del RCM normalmente lleva a una reducción significativa en los trabajos rutinarios. También quiere decir que las tareas restantes son más probables que se hagan bien. Esto combinado con unas tareas útiles equilibradas llevará a un mantenimiento más efectivo. Si esto compara el enfoque gradual tradicional de abajo a arriba. Tradicionalmente, los requerimientos del mantenimiento se evaluaban en términos de sus características técnicas reales o supuestas, sin considerar de nuevo que en diferentes condiciones se aplican consecuencias diferentes. Esto resulta en un gran número de planes que no sirven para nada, no porque sean “equivocados”, sino porque no consiguen nada.

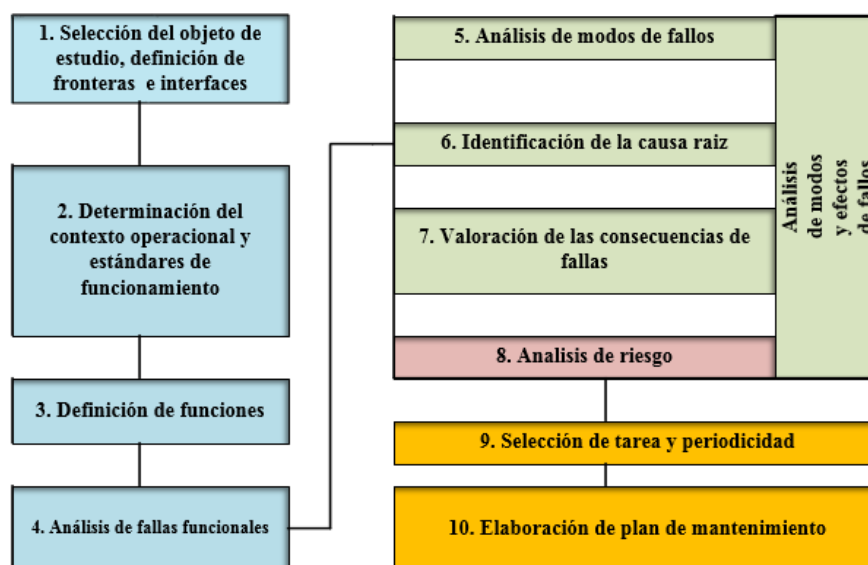


Figura 23 Flujograma del proceso en el mantenimiento centrado en la confiabilidad. **Fuente:** Parra, 2008.

El proceso del RCM considera los requisitos del mantenimiento de cada elemento antes de preguntarse si es necesario volver a considerar el diseño. Esto es porque el ingeniero de mantenimiento que está de servicio hoy tiene que mantener los equipos como está funcionando hoy, y no como debería de estar o puede que esté en el futuro.

Los trabajos de RCM son arduos y tediosos, pues hay que analizar cada equipo, cada subconjunto, sus formas de fallo, las averías ocultas, etc. Los integrantes típicos de un grupo de trabajo son: el guía o facilitador, un técnico de ingeniería, uno de mantenimiento, operarios y un técnico de producción.

El técnico de ingeniería es el responsable del proyecto del equipo, de su compra y recepción. De no ser suficiente con él, puede contarse con la presencia del constructor e instalador (Benito Alberto, 2016) (Vasquez Oyarzún, 2008).

La metodología en la que se basa RCM supone ir completando una serie de fases para cada uno de los sistemas que componen la planta, a saber:

FASE 1: Listado y Codificación de Equipos

El primer problema que se plantea al intentar realizar un análisis de fallos según la metodología del RCM es elaborar una lista ordenada de los equipos que hay en

ella. Para realizar un inventario de los activos de la planta 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.

En una planta industrial podemos distinguir los siguientes niveles, a la hora de elaborar esta estructura arbórea.

Definamos en primer lugar qué entendemos por cada uno de estos términos:

- Planta: Centro de trabajo. Ej. Empresa X, Planta de Hidrocarburos.
- Área: Zona de la planta que tiene una característica común (centro de coste, similitud de equipos, línea de producto, función).
- Equipo: Cada una de las unidades productivas que componen el área, que constituyen un conjunto único.
- Sistema: Conjunto de elementos que tienen una función común dentro de un equipo
- Componentes: cada una de las partes que integran un sistema. Ej. el motor de la bomba de lubricación de un compresor.

Es importante diferenciar elemento y equipo. Un equipo puede estar conectado o dar servicio a más de un equipo. Un elemento, en cambio, solo puede pertenecer a un equipo. Si el ítem que tratamos de identificar puede estar conectado o dar servicio simultáneamente a más de un equipo, será un equipo, y no un elemento. Así, si una bomba de lubricación solo lubrica un compresor, se tratará de un elemento del compresor. Si, en cambio, se trata de una bomba que envía aceite de lubricación a varios compresores (sistema de lubricación centralizado), se tratará en realidad de otro equipo, y no de un elemento de alguno de ellos. Componentes: partes en que puede subdividirse un elemento. Ej. Rodamiento de un motor (Marín Alcaide, 2013).

FASE 2: Listado de Funciones y Especificaciones

Significa detallar todas las funciones que tiene el sistema que se está estudiando, cuantificando cuando sea posible como se lleva a cabo esa función (especificación a alcanzar por el sistema).

Para que el sistema cumpla su función cada uno de los elementos en que se subdivide deben cumplir la suya. Para ello, será necesario listar también las funciones de cada uno de los elementos.

Por último, cada uno de los elementos está compuesto por una serie de componentes. Posiblemente fuera conveniente detallar la función de cada uno de estos componentes, por muy pequeño que fuera, pero esto haría que el trabajo fuera interminable, y que los recursos que deberíamos asignar para la realización de este estudio fueran tan grandes que lo harían inviable.

Tendremos, pues, tres listados de funciones:

- Las funciones del sistema en su conjunto.
- Las funciones de cada uno de los elementos que lo componen.
- Las funciones de cada uno de los componentes (Marín Alcaide, 2013).

FASE 3: Determinación de Fallos Funcionales

Un fallo es la incapacidad de un ítem para cumplir alguna de sus funciones. Por ello tendremos un posible fallo por cada función que tenga el ítem y no se cumpla.

Puede ser conveniente hacer una distinción entre fallos funcionales y fallos técnicos. Definiremos como fallo funcional aquel fallo que impide al sistema en su conjunto cumplir su función principal.

Un fallo técnico es aquel que, no impidiendo al sistema cumplir su función, supone un funcionamiento anormal de una parte de este.

Estos fallos, aunque de una importancia menor que los fallos funcionales, suponen funcionamientos anormales que pueden tener como consecuencia una degradación acelerada del equipo y acabar convirtiéndose en fallos funcionales del sistema.

Las fuentes de información para determinar los fallos son muy diversas. Entre las principales podemos citar las siguientes:

- **Histórico de averías**

El histórico de averías es una fuente de información valiosísima a la hora de determinar los fallos potenciales de una instalación. El estudio del comportamiento de una instalación, equipo o sistema a través de los

documentos en los que se registran las averías e incidencias que pueda haber sufrido en el pasado nos aporta una información esencial para la identificación de fallos.

En algunas plantas no existe un archivo histórico de averías suficientemente fiable, un archivo en el que se hayan registrado de forma sistemática cada una de las averías que haya tenido cada equipo en un periodo determinado. Pero siempre es posible buscar una fuente que nos permita estudiar el historial del equipo:

- Estudio de los partes de trabajo, de averías, etc. Agrupando los partes de trabajo por equipos es posible deducir las incidencias que han afectado a la maquina en un periodo determinado.
- Facturas de repuesto. Puede recurrirse al departamento de contabilidad para que facilite las facturas del material consumido en mantenimiento en un periodo determinado (preferiblemente largo, 5 años, por ejemplo).
- Diarios de incidencias. El personal a turnos utiliza en ocasiones diarios en los que refleja los incidentes sufridos, como medio para comunicárselos al turno siguiente.
- Personal de mantenimiento

Siempre es conveniente conversar con cada uno de los miembros que componen la plantilla, para que den su opinión sobre los incidentes más habituales y las formas de evitarlos. Esta consulta ayudará, además, a que el personal de mantenimiento se implique en el RCM.

- Personal de producción

Igual que en el apartado anterior, la consulta al personal de producción nos ayudará a identificar los fallos que más interfieren con la operación de la planta.

- Diagramas lógicos y diagramas funcionales

Estos diagramas suelen contener información valiosa, incluso fundamental, para determinar las causas que pueden hacer que un equipo o un sistema se detengan o se disparen sus alarmas. Los equipos suelen estar protegidos contra determinados fallos, bien mostrando una alarma como aviso del funcionamiento incorrecto, bien deteniéndolos o impidiendo que se pongan en

marcha si no se cumplen determinadas condiciones. El estudio de la lógica implementada en el sistema de control puede indicarnos posibles problemas que pudiera tener la instalación (Marín Alcaide, 2013).

FASE 4: Determinación de Modos de Fallo

Una vez determinados todos los fallos que se pueden presentar en un sistema, un elemento o uno de los componentes significativos que lo componen, deben estudiarse los modos de fallo. Podríamos definir ‘modo de fallo’ como la causa primaria de un fallo, o como las circunstancias que acompañan un fallo concreto.

Una vez determinados todos los fallos que se pueden presentar en un sistema, un elemento o uno de los componentes significativos que lo componen, deben estudiarse los modos de fallo. Podríamos definir ‘modo de fallo’ como la causa primaria de un fallo, o como las circunstancias que acompañan un fallo concreto.

Es aconsejable estudiar modos de fallo y causas primarias de estos fallos, y no seguir profundizando. De esta forma, perderemos una parte de la información valiosa, pero a cambio, lograremos realizar el análisis de fallos de toda la instalación con unos recursos razonables y en un tiempo también razonable. Recordemos que, según Pareto, el 20% de las causas son responsables del 80% de los problemas (Marín Alcaide, 2013).

FASE 5: Análisis de la Gravedad de los Fallos. Criticidad

El siguiente paso es determinar los efectos de cada modo de fallo y, una vez determinados, clasificarlos según la gravedad de las consecuencias.

La primera pregunta a responder en cada modo de fallo es, pues: ¿qué pasa si ocurre?

Una sencilla explicación lo que sucederá será suficiente. A partir de esta explicación, estaremos en condiciones de valorar sus consecuencias para la seguridad y el medio ambiente, para la producción y para el mantenimiento.

Consideraremos tres posibles casos: que el fallo sea crítico, que el fallo sea importante o que sea tolerable.

Para que un fallo sea crítico, debe cumplir alguna de estas condiciones:

- Que pueda ocasionar un accidente que afecte a la seguridad o al medioambiente, y que existan ciertas posibilidades de que ocurra.
- Que suponga una parada de planta o afecte al rendimiento o a la capacidad de producción.
- Que la reparación del fallo más los fallos que provoque este (fallos secundarios) sea superior a cierta cantidad.

Para que un fallo sea importante:

- No debe cumplir ninguna de las condiciones que lo hagan crítico.

Y debe cumplir:

- Que pueda ocasionar un accidente grave, aunque la probabilidad sea baja
- Que pueda suponer una parada de planta, o afecte a la capacidad de producción y/o rendimiento, pero que probabilidad de que ocurra sea baja
- Que el coste de reparación sea medio

Para que un fallo pueda ser considerado tolerable, no debe cumplir ninguna condición que le haga ser crítico o importante, y, además, debe tener poca influencia en seguridad y medioambiente, no afecte a la producción de la planta y tenga un coste de reparación bajo (Marín Alcaide, 2013).

FASE 6: Determinación de Medidas Preventivas

Determinados los modos de fallo del sistema que se analiza y clasificados estos modos de fallo según su criticidad, el siguiente paso es determinar las medidas preventivas que permiten bien evitar el fallo bien minimizar sus efectos. Desde luego, este es el punto fundamental de un estudio RCM.

Las medidas preventivas que se pueden tomar son de cinco tipos: tareas de mantenimiento, mejoras, formación del personal, modificación de instrucciones de operación y modificación de instrucciones de mantenimiento. Es aquí donde se ve la enorme potencia del análisis de fallos: no solo se obtiene un conjunto de tareas de mantenimiento que evitarán estos fallos, sino que además se obtendrán todo un conjunto de otras medidas, como un listado de modificaciones, un plan de formación, una lista de procedimientos de operación necesarios. Y todo ello, con la garantía de que tendrán un efecto muy importante en la mejora de resultados de una instalación (Marín Alcaide, 2013).

Tareas de mantenimiento

Son los trabajos que podemos realizar para cumplir el objetivo de evitar el fallo o minimizar sus efectos. Las tareas de mantenimiento pueden, a su vez, ser de los siguientes tipos:

Tipo 1: Inspecciones visuales. Sea cual sea el modelo de mantenimiento aplicable, las inspecciones visuales suponen un coste muy bajo, por lo que parece interesante echar un vistazo a todos los equipos de la planta en alguna ocasión.

Tipo 2: Lubricación. Igual que en el caso anterior, las tareas de lubricación, por su bajo coste, siempre son rentables.

Tipo 3: Verificaciones del correcto funcionamiento realizado con instrumentos propios del equipo (verificaciones on-line). Este tipo de tareas consiste en la toma de datos de una serie de parámetros de funcionamiento utilizando los propios medios de los que dispone el equipo. Son, por ejemplo, la verificación de alarmas, la toma de datos de presión, temperatura, vibraciones, etc. Si en esta verificación se detecta alguna anomalía, se debe proceder en consecuencia. Por ello es necesario, en primer lugar, fijar con exactitud los rangos que entenderemos como normales para cada uno de los puntos que se trata de verificar, fuera de los cuales se precisara una intervención en el equipo.

También será necesario detallar como se debe actuar en caso de que la medida en cuestión este fuera del rango normal.

Tipo 4: Verificaciones del correcto funcionamiento realizado con instrumentos externos del equipo. Se pretende, con este tipo de tareas, determinar si el equipo cumple con unas especificaciones prefijadas, pero para cuya determinación es necesario desplazar determinados instrumentos o herramientas especiales, que pueden ser usadas por varios equipos simultáneamente, y que, por tanto, no están permanentemente conectadas a un equipo, como en el caso anterior. Podemos dividir estas verificaciones en dos categorías:

1. Las realizadas con instrumentos sencillos, como pinzas amperimétricas, termómetros por infrarrojos, tacómetros, vibrómetros, etc.
2. Las realizadas con instrumentos complejos, como analizadores de vibraciones, detección de fugas por ultrasonidos, termografías, análisis de la curva de arranque de motores, etc.

Tipo 5: Tareas condicionales. Se realizan dependiendo del estado en que se encuentre el equipo. No es necesario realizarlas si el equipo no da síntomas de encontrarse en mal estado.

Estas tareas pueden ser:

Limpiezas condicionales, si el equipo da muestras de encontrarse sucio.

Ajustes condicionales, si el comportamiento del equipo refleja un desajuste en alguno de sus parámetros.

Cambio de piezas, si tras una inspección o verificación se observa que es necesario realizar la sustitución de algún elemento.

Tipo 6: Tareas sistemáticas, realizadas cada cierta hora de funcionamiento, o cada cierto tiempo, sin importar como se encuentre el equipo. Estas tareas pueden ser:

- Limpiezas
- Ajustes
- Sustitución de piezas

Tipo 7: Grandes revisiones, también llamados Mantenimiento Cero Horas, Overhaul o Hard Time, que tienen como objetivo dejar el equipo como si tuviera cero horas de funcionamiento.

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

Por ello, en el punto anterior se explicaba la necesidad de clasificar los fallos según sus consecuencias. Si el fallo ha resultado ser crítico, casi cualquier tarea que se nos ocurra podría ser de aplicación. Si el fallo es importante, tendremos algunas limitaciones, y si, por último, el fallo es tolerable, solo serán posibles acciones sencillas que prácticamente no supongan ningún coste.

En este último caso, el caso de fallos tolerables, las únicas tareas sin apenas coste son las de tipo 1, 2 y 3. Es decir, para fallos tolerables podemos pensar en inspecciones visuales, lubricación y lectura de instrumentos propios del equipo.

Apenas tienen coste, y se justifica tan poca actividad por que el daño que puede producir el fallo es perfectamente asumible.

En caso de fallos importantes, a los dos tipos anteriores podemos añadirle ciertas verificaciones con instrumentos externos al equipo y tareas de tipo condicional; estas tareas solo se llevan a cabo si el equipo en cuestión da signos de tener algún problema.

Es el caso de las limpiezas, los ajustes y la sustitución de determinados elementos. Todas ellas son tareas de los tipos 4 y 5. En el caso anterior, se puede permitir el fallo, y solucionarlo si se produce. En el caso de fallos importantes, tratamos de buscar síntomas de fallo antes de actuar.

Si un fallo resulta crítico, y por tanto tiene graves consecuencias, se justifica casi cualquier actividad para evitarlo. Tratamos de evitarlo o de minimizar sus efectos limpiando, ajustando, sustituyendo piezas o haciéndole una gran revisión sin esperar a que de ningún síntoma de fallo (Marín Alcaide, 2013).

TIPOS DE TAREAS DE MANTENIMIENTO	TIPO DE FALLA A LOS QUE PUEDE APLICARSE
a) Inspecciones visuales	Todos los fallos
b) Tareas de lubricación	Todos los fallos
c) Verificaciones ON-LINE	Todos los fallos
d) Verificaciones OFF-LINE • Verificaciones sencillas ○ Mediciones de temperatura ○ Mediciones de Vibración ○ Mediciones de Consumo de Corriente, Etc. • Verificaciones con instrumentos complejos ○ Análisis de Vibración ○ Termografías ○ Análisis de la curva de arranque de motores ○ Comprobación de alineación por láser, Etc.	Fallos importantes y críticos
e) Tareas condicionales (según los resultados de las verificaciones anteriores): • Limpiezas según condición • Ajustes según condición • Sustitución de piezas según su estado	
f) Tareas sistemáticas (haya o no haya síntomas de fallo): • Limpiezas sistemáticas • Ajustes sistemáticos • Sustitución sistemática de piezas de desgaste	Sólo fallos críticos
g) Mantenimiento Cero Horas (situación de todos los elementos sometidos a desgaste)	Sólo fallos críticos

Tabla 1 Tipos de tareas de mantenimiento

Fuente: Fernández, 2012

La siguiente tabla trata de aclarar que tipos de tareas de mantenimiento podemos aplicar dependiendo de la criticidad del fallo determinado en el punto anterior.

Determinación de la frecuencia de las tareas de mantenimiento

Según Marín Alcaide (2013) refiere que: Una vez determinadas las tareas, es necesario determinar con qué frecuencia es necesario realizarlas. Existen tres posibilidades para determinar esta frecuencia:

1. Si tenemos datos históricos que nos permitan conocer la frecuencia con la que se produce el fallo, podemos utilizar cualquier técnica estadística que nos permita determinar cada cuanto tiempo se produce el fallo si no actuamos sobre el equipo. Deberemos contar con un número mínimo de valores (recomendable más de 10, aunque cuanto mayor sea la población más exactos serán los resultados). La frecuencia estará en función del coste del fallo y del coste de la tarea de mantenimiento (mano de obra + materiales + pérdida de producción durante la intervención).
2. Si disponemos de una función matemática que permitan predecir la vida útil de una pieza, podemos estimar la frecuencia de intervención a partir de dicha función. Suele ser aplicable para estimar la vida de determinados elementos, como los alabes de una turbina de gas, los cojinetes o rodamientos de un equipo rotativo o la vida de una herramienta de corte.
3. Si no disponemos de las informaciones anteriores, la determinación de la frecuencia con la que deben realizarse las tareas de mantenimiento propuestas debe hacerse en base a la opinión de expertos. Es la más subjetiva, la menos precisa de las formas de determinar la frecuencia de intervención, y, sin embargo, la más utilizada. No siempre es posible disponer de información histórica o de modelos matemáticos que nos permitan predecir el comportamiento de una pieza.

Para dichos casos, podemos hacer uso de los siguientes consejos:

- Es conveniente fijar una frecuencia diaria para tareas de muy bajo coste, como las inspecciones visuales o las lecturas de parámetros
- La frecuencia mensual es aconsejable para tareas que supongan montajes o desmontajes complejos y no esté justificado hacer a diario

- La frecuencia anual se reserva para tareas que necesitan que la planta esté parada, y que no se justifica realizarlas con frecuencia mensual.

Estas frecuencias indicativas no son sino meras guías de referencia. Para cada caso, es conveniente comprobar si la frecuencia propuesta es la más indicada.

Por último, y con el fin de facilitar la elaboración del plan de mantenimiento, es conveniente especificar la especialidad de la tarea (mecánica, eléctrica, predictiva, de operación, de lubricación, etc.)

- Mejoras y modificaciones de la instalación
- Determinados fallos pueden prevenirse más fácilmente modificando la instalación o introduciendo mejoras. Las mejoras pueden ser, entre otras, de los siguientes tipos:
 - Cambios en los materiales. Manteniendo el diseño de las piezas, el único cambio que se realiza es en la calidad de los materiales que se emplean.
 - Cambios en el diseño de una pieza. La geometría de algunas piezas hace que en determinados puntos acumulen tensiones que facilitan su falla. Un simple cambio en el diseño de estas piezas puede hacer que cumplan su función perfectamente y que su probabilidad de rotura disminuya sensiblemente.
- Instalación de sistemas de detección, bien de aviso o bien para evitar que el equipo funcione en condiciones que puedan ser perjudiciales.
- Cambios en el diseño de una instalación. En ocasiones no es una pieza, sino todo un conjunto el que debe ser rediseñado, para evitar determinados modos de fallo.
- Cambios en las condiciones de trabajo del ítem. Por último, en ocasiones la forma de evitar la falla de una pieza o un equipo no es actuar sobre estos, sino sobre el medio que los rodea.
- Cambios en los procedimientos de operación

El personal que opera suele tener una alta incidencia en los problemas que presenta un equipo. Podemos decir, sin lugar a dudas, que esta es la medida más barata y más eficaz en la lucha contra las averías. En general, las tareas de mantenimiento tienen un coste, tanto en mano de obra como en materiales. Las mejoras tienen un coste añadido, relacionado con el diseño y con las pruebas. Pero

un cambio en un procedimiento de operación tiene en general un coste muy bajo, y un beneficio potencial altísimo. Como inconveniente, todos los cambios suelen tener una inercia alta para llevarlos a cabo, por lo que es necesario prestar la debida atención al proceso de implantación de cualquier cambio en un procedimiento.

En ocasiones, para minimizar los efectos de un fallo es necesario adoptar una serie de medidas provisionales si este llegara a ocurrir. Dentro de los cambios en procedimientos de operación, un caso particular es este: instrucciones de operación para el caso de que llegue a ocurrir un fallo en concreto.

Cambios en procedimientos de mantenimiento

Algunas averías se producen porque determinadas intervenciones del personal de mantenimiento no se hacen correctamente. La redacción de procedimientos en los que se indique claramente cómo deben realizarse determinadas tareas, y en los que figuren determinados datos (tolerancias, ajustes, pares de apriete, etc.) es de gran utilidad.

Bien para evitar que determinados fallos ocurran, o bien para resolverlos rápidamente en caso de que sucedan, en ocasiones es necesario prever acciones formativas, tanto para el personal de operación como para el de mantenimiento. La formación en determinados procedimientos, la formación en un riesgo en particular o el repaso de un diagrama unifilar, o el estudio de una avería sucedida en una instalación similar son ejemplos de este tipo de acción.

FASE 7: Obtención del Plan de Mantenimiento y Agrupación de Medidas Preventivas

Determinadas las medidas preventivas para evitar los fallos potenciales de un sistema, el siguiente paso es agrupar estas medidas por tipos (tareas de mantenimiento, mejoras, procedimientos de operación, procedimientos de mantenimiento y formación), lo que luego nos facilitara su implementación.

El resultado de esta agrupación será:

- **Plan de Mantenimiento.** Era inicialmente el principal objetivo buscado. El plan de mantenimiento lo componen el conjunto de tareas de mantenimiento resultante del análisis de fallos. Puede verse que, aunque era el objetivo inicial de este análisis, no es el único resultado útil.

- Lista de mejoras técnicas a implementar. Tras el estudio, tendremos una lista de mejoras y modificaciones, que es conveniente realizar en la instalación. Es conveniente depurar estas mejoras, pues habrá que justificar económicamente ante la Dirección de la planta y los gestores económicos la necesidad de estos cambios.
- Actividades de formación. Las actividades de formación determinadas estarán divididas normalmente en formación para personal de mantenimiento y formación para personal de operación. En algunos casos, es posible que se sugiera formación para contratistas, en tareas en que estos estén involucrados.
- Lista de Procedimientos de operación y mantenimiento a modificar. Habremos generado una lista de procedimientos a elaborar o a modificar que tienen como objetivo evitar fallos o minimizar sus efectos. Como ya se ha comentado, habrá un tipo especial de procedimientos, que serán los que hagan referencia a medidas provisionales en caso de fallo (Marín Alcaide, 2013).

FASE 8: Puesta en Marcha de las Medidas Preventivas Obtenidas

Ya hemos visto que tras el estudio de RCM se obtienen una serie de medidas preventivas, entre las que destaca el Plan de Mantenimiento a desarrollar en la instalación. Pero una vez obtenidas todas estas medidas y agrupadas de forma operativa, es necesario implementarlas.

Puesta en marcha del plan de mantenimiento

Determinado el nuevo plan de mantenimiento, hay que sustituir el plan anterior por el resultante del estudio realizado. Es conveniente repasarlo una vez más, por si se hubieran olvidado tareas. Sobre todo, es necesario comprobar que las tareas recomendadas por los fabricantes han sido tenidas en cuenta, para asegurar que no se olvida en el nuevo plan ninguna tarea importante. Pero una vez revisado, hay que tratar de que la implementación sea lo más rápida posible.

Para alguna de las tareas que se detallen en el nuevo plan es posible que no se disponga en planta de los medios necesarios. Por ello, es necesario que los responsables del mantenimiento se aseguren de que se dispone de los medios técnicos o de los materiales necesarios.

También es imprescindible formar al personal de mantenimiento en el nuevo plan, explicando en que consiste, cuáles son las diferencias con el anterior, y que fallos se pretenden evitar con estos cambios

Implementación de mejoras técnicas

La lista de mejoras obtenida y depurada hay que presentarla a la Dirección de la planta para su realización. Habrá que calcular el coste que supone, solicitar algunos presupuestos y preseleccionar posibles contratistas (en el caso de que no puedan implementarse con personal de la planta). También habrá que exponer y calcular los beneficios que se obtienen de la implementación de cada una de ellas.

Puesta en marcha de las acciones formativas

Para implementar las acciones formativas determinadas en el análisis, no hay más que incluirlas en el Plan de Formación de la planta. La gran diferencia entre las acciones formativas propuestas por el RCM y la mayoría de las que suelen formar parte de los planes de formación suele ser que los propuestos por el RCM tienen como objetivo la solución a problemas tangibles, y, por tanto, se traducen rápidamente en una mejora de los resultados.

Puesta en marcha de cambios en procedimientos de operación y mantenimiento

Para la implementación de estos cambios en procedimientos de operación y mantenimiento es necesario asegurar que todos los implicados conocen y comprenden los cambios. Para ellos es necesario organizar sesiones formativas en los que se explique a todo el personal que tiene que llevarlos a cabo cada uno de los puntos detallados en los nuevos procedimientos, verificando que se han entendido perfectamente. Este aspecto formativo es el más importante para asegurar la implementación efectiva de los cambios en procedimientos.

Diferencias entre un plan de mantenimiento inicial y uno obtenido mediante RCM

Comparando el plan inicial, basado sobre todo en las recomendaciones de los fabricantes, con el nuevo, basado en el análisis de fallos, habrá diferencias notables:

- En algunos casos, habrá nuevas tareas de mantenimiento, allí donde el fabricante no consideró necesaria ninguna tarea
- En otros casos, se habrán eliminado algunas de las tareas por considerarse que los fallos que trataban de evitar son perfectamente asumibles (es más económico esperar el fallo y solucionarlo cuando se produzca que realizar determinadas tareas para evitarlo).

El plan de mantenimiento inicial está basado en las recomendaciones de los fabricantes más aportaciones puntuales de tareas propuestas por los responsables de mantenimiento en base a su experiencia, completadas con las exigencias legales de mantenimiento de determinados equipos (Marín Alcaide, 2013).

El Mantenimiento Centrado en Fiabilidad o RCM va más allá. Tras el estudio de fallos, no solo obtenemos un plan de mantenimiento que trata de evitar los fallos potenciales y previsibles, sino que además aporta información valiosa para elaborar o modificar el plan de formación, el manual de operación y el manual de mantenimiento:

Obsérvese donde se consideran las recomendaciones de los fabricantes en uno y otro caso: si en el plan inicial eran la base, en RCM no son más que una mera consulta final para asegurar que no se ha olvidado nada importante.

4.12. PROPUESTA METODOLOGÍA IMPLEMENTACIÓN DEL RCM

La metodología a utilizar en la implementación del RCM en la Empresa San Martín Contratistas Generales S.A. es la siguiente según el orden indicado:

FASE 1: Selección y Función del Activo Físico

FASE 2: Ficha Técnica del Activo Físico

FASE 3: Árbol Jerárquico de Activos Físicos

FASE 4: Análisis Criticidad

FASE 5: Análisis de Modos de Fallas y sus Efectos –AMFE

FASE 6: Obtención de la Confiabilidad

FASE 7: Estrategias de Mantenimiento

Luego procedemos a desarrollar en las siguientes líneas lo que corresponde a cada una de las fases de implementación del RCM propuesta como nueva metodología para realizar una buena política de gestión de mantenimiento.

FASE 1: Selección y Función del Activo Físico

Para la implementación de la propuesta metodológica RCM primero debemos seleccionar el área de empresa y luego de los activos físicos del área correspondiente seleccionar el equipo o máquina de criticidad uno de acuerdo a un procedimiento estándar de evaluación. Antes de la evaluación debemos tener un inventario de todos los activos físicos de la empresa por áreas.

FASE 2: Ficha Técnica del Activo Físico

Permite conocer los datos técnicos del equipo

- Tipo de equipo.
- Descripción, fabricante.
- Ubicación exacta.
- Costos (M. Preventivo, depreciación, etc.).
- Datos de placa (HP, voltaje, etc.).
- Lectura de su vida útil en la unidad adecuada.
- Actualizaciones o cambios efectuados.
- Referencia a la lista de repuestos y a los planos.
- Referencia a los manuales. Etc.

FASE 3: Árbol Jerárquico de Activos Físicos

WERF (2018), menciona que “la potencialidad de una taxonomía de activos físicos proviene de su concepto de desagregación, jerarquía, clasificación, que implementado correctamente, nos permite registrar en el sistema de gestión y control de mantenimiento. A medida que se profundiza en la jerarquía de las instalaciones industriales, se puede tener información más detallada; la desagregación permite hacer un análisis más preciso, dando más confianza en la toma de decisiones para la gestión de conservación de los activos.

Según norma ISO 14224, la jerarquización o taxonomía es una clasificación sistemática de ítems en grupos genéricos, basándose en factores posiblemente comunes a varios de los elementos como ubicación, uso, equipo de subdivisión, etc.

Comúnmente también son los llamados arboles de equipos, por su característica jerarquizada de acceder a un activo.

La elaboración del árbol jerárquico de activos es útil para llevar a cabo la implantación de la metodología RCM, pero también para otros fines, como elaborar el plan de mantenimiento mediante cualquier otra técnica, desarrollar procedimientos, codificar activos o implantar un software de mantenimiento (Ingeniería del mantenimiento.blogspot.com, 2016).

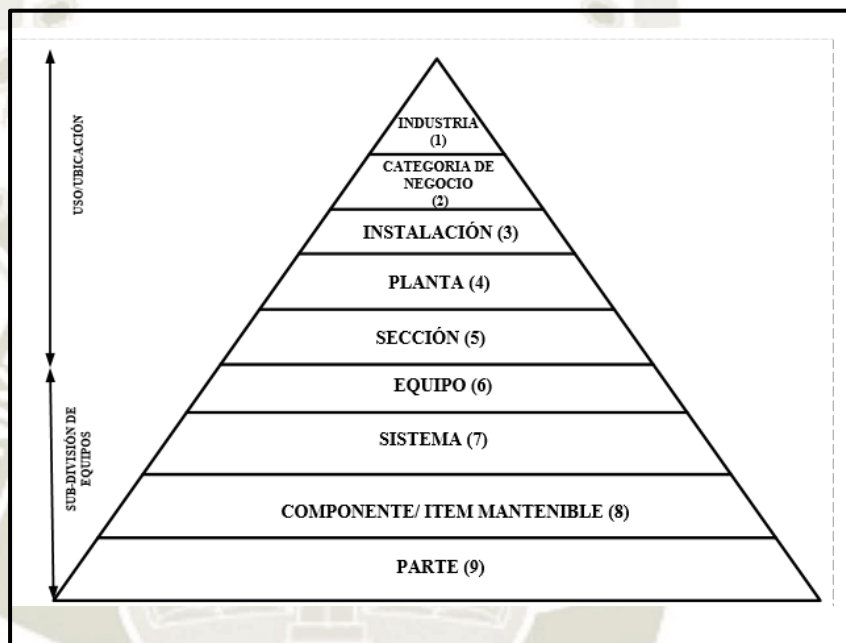


Figura 24 Clasificación de la Taxonomía con niveles taxonómicos

Fuente: Norma ISO 14224

Tabla 2 Aplicación de un 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, hidrocranqueo, 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 metano, 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	Subunidad	Un subsistema necesario para la función del equipo	Subunidad de lubricación, subunidad de enfriamiento, control y monitoreo, subunidad de calentamiento, subunidad de peletización, subunidad de extinción, subunidad de refrigeración, subunidad de reflujo, subunidad de control distribuido
	8	Componente/Ítem Mantenible (MI)	El grupo de piezas del equipo que continuamente 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	Una parte individual del equipo	Sello, tubo, carcasa, accionador, junta, placa de filtro, perno, tuerca, etc.

Fuente: Norma ISO 14224

FASE 4: Análisis Criticidad

El Análisis de Criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, equipos, sistemas o componentes creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional (Huerta Mendoza, 2000).

Los activos físicos de las empresas propuesto se deben estar subdivididos según la norma ISO 14224 en los siguientes niveles: Nivel 1, el Activo Físico; Nivel 2 Sistemas del activo físico; Nivel 3 subsistemas de los activos físicos; Nivel 4 componentes o ítems para mantenimiento y Nivel 5 las partes o consumibles del activo físico. Por consiguiente, se debe realizar una evaluación del activo físico de los sistemas, subsistemas o componentes los denominados críticos por medio de un procedimiento siguiente.

Luego del proceso de evaluación se debe obtener los activos críticos para pasar a la siguiente fase de propuesta de implementación de RCM.

¿Qué es el Análisis de Criticidad?

El análisis de criticidad es una metodología de análisis riesgo, que busca determinar como indica la Figura 25 de mérito de riesgo denominada “Criticidad”. Esta metodología que permite establecer una jerarquía o prioridades de las Instalaciones, Equipos, sistemas; mediante el estudio de la frecuencia o probabilidad de falla y las respectivas consecuencias en seguridad, higiene, ambiente y producción.



Figura 25: Matriz de riesgo
Fuente: R2M, 2012

Metodologías de Análisis de Criticidad

1. Método de los Puntos.
2. Método de Ciliberti: Análisis de Criticidad para Procesos
3. Método de Mantenimiento Basado en Criticidad
4. Método de Análisis de Criticidad Estándar API 580-58
5. Modelo de Factores Ponderados Basados en la Teoría del Riesgo

Las siguientes ecuaciones permiten evaluar la criticidad de los equipos por el método de factores ponderados basados en la teoría de riesgo.

$$\text{RIESGO} = \text{FRECUENCIA} * \text{CONSECUENCIA}$$

$$\text{FRECUENCIA} = \text{Nº FALLOS EN TIEMPO DETERMINADO}$$

$$\text{CONSECUENCIA} = [(\text{IMPACTO OPERACIONAL} * \text{FLEXIBILIDAD}) + \text{COSTO MTTO} + \text{IMPACTO SAH}]$$

Tabla 3 Modelo de factores ponderados basados en la teoría del riesgo

Frecuencia de Fallos	
Mayor a 4 fallas/año	4
3 - 4 Fallas/año	3
1 - 2 Fallas/año	2
No presenta fallas en el año	1

Impacto Operacional	
Salida de operación mayor a 8 horas	10
Impacta en niveles de producción o calidad	6
Impacto operacional por antigüedad de Equipo mayor a 10 años	4
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	2

Flexibilidad	
No existe equipo de Respaldo	4
Hay equipo de respaldo	2
Se tiene equipo/repuesto disponible en almacén	1

Costos de Mantenimiento	
Mayor o igual a 5 000 US\$	2
Inferior a 5 000 US\$	1

Impacto SAH	
Afecta la seguridad humana	8
Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
Provoca daños menores (Accidentes e incidentes)	4
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	3
No provoca ningún tipo de daños a personas o impactos al medio ambiente	0

Fuente: (Peres, 1997)

Tabla 4 Matriz de Riesgos

FRECUENCIA						
		4	3	2	1	
		B	B	A	A	A
		B	B	B	A	A
		C	C	B	B	A
		C	C	C	B	A
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

Fuente: (Peres, 1997)

FASE 5: Análisis de Modos de Fallas y sus Efectos –AMFE

Hemos visto que, al definir las funciones y los parámetros de funcionamiento deseados de cualquier activo físico, definimos los objetivos de mantenimiento para dicho activo. También vimos que definiendo fallas funcionales podemos determinar

exactamente qué queremos decir con falla. Estas dos cuestiones son consideradas por las primeras dos preguntas del proceso RCM.

Las siguientes dos preguntas buscan identificar aquellos modos de falla que sean posibles causantes de cada falla funcional, y determinar los efectos de falla asociados con cada modo de falla. Esto se realiza a través de un análisis de modos de falla y efectos (AMFE) para cada falla funcional (Ardila & Mantilla, 2008)

¿QUÉ ES UN MODO DE FALLA?

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

“Un modo de falla es cualquier evento que causa una falla funcional”

La mejor manera de mostrar la conexión y la diferencia entre los estados de falla y los eventos que podrían causarlos es primero hacer un listado de fallas funcionales, y luego registrar los modos de falla que podrían causar cada falla funcional (Ardila & Mantilla, 2008).

Con los seleccionados activos físicos críticos debemos realizar el análisis de modos de efectos y fallos; para luego proceder a realizar según la Figura 26.

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.

Figura 25 Procedimiento de realización AMFE. **Fuente:** Moubray 2004

La Figura 26 también indica que, como mínimo, la descripción de un modo de falla debe consistir de un sustantivo y un verbo. La descripción debe ser lo suficientemente detallada para poder seleccionar una estrategia de manejo de falla apropiada, pero no tanto como para perder mucho tiempo en el propio proceso de análisis.

Los verbos que se usan para describir los modos de falla deben elegirse cuidadosamente, ya que tienen una influencia muy fuerte en el proceso posterior de selección de políticas de manejo de falla. Por ejemplo, deben usarse con moderación expresiones como "falla" o "rotura" o "mal funcionamiento de", ya que dan muy poca información sobre cuál podría ser la manera adecuada de manejar esta falla. El uso de verbos más específicos permite seleccionar la política más adecuada dentro de un rango completo de posibilidades (Navas, 2012).

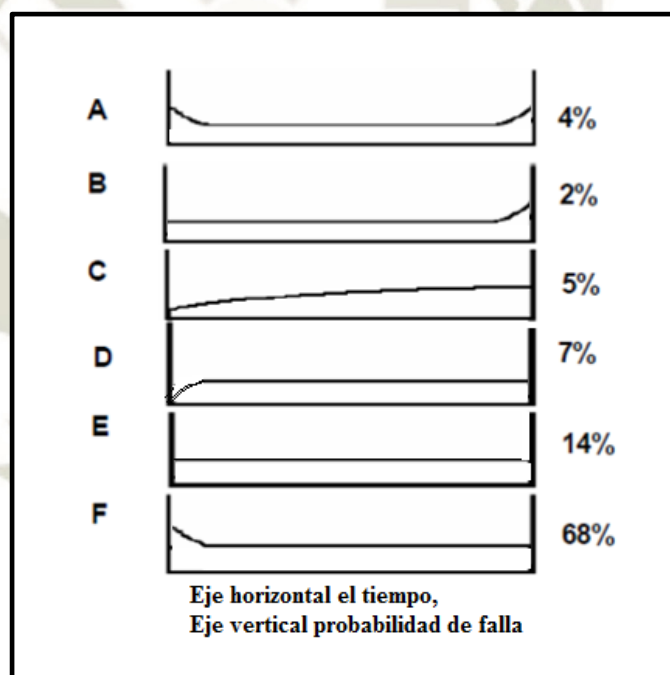


Figura 26 Patrones de falla Industria Aeronáutica
Fuente: Moubray 2004

- Modelo A: Conocido como la curva de la bañera. En este modelo podemos apreciar como empieza con una alta incidencia de falla, continua con una frecuencia de falla creciente o constante y finalmente termina con una zona de desgaste.

- Modelo B: Probabilidad de falla constante o poco ascendente que termina con una zona de desgaste.
- Modelo C: Probabilidad de falla levemente ascendente sin un punto de desgaste definido.
- Modelo D: Probabilidad de falla es baja cuando el componente es completamente nuevo.
- Modelo E: Probabilidad de falla constante en toda su vida (Falla aleatoria)
- Modelo F: Probabilidad de falla en los inicios muy alta (mortalidad infantil) o quedarse en un nivel constante. que a continuación desciende para después aumentar ligeramente o quedarse en un nivel constante (Martinez, 2017).

Por ejemplo, un término como "fallan los acoplamientos" no nos da ninguna pista sobre qué podríamos hacer para anticipar o prevenir la falla. Sin embargo, si decimos "Los pernos de los acoplamientos están flojos" o "Nodo de acoplamiento desgastado por fatiga", se nos hace más sencillo identificar una tarea proactiva que pueda aplicarse.

En el caso de válvulas o interruptores, también debe indicarse si la pérdida de la función se da porque el ítem falla en posición abierta o en posición cerrada: "la válvula se atasca en posición cerrada" da mucha más información que decir "la válvula falla". En muchos casos, es necesario ir un paso más allá para expresar de la manera más clara posible un modo de falla.

Por ejemplo, decir "la válvula se atasca en posición cerrada por corrosión en la rosca principal" es mucho más claro que decir "la válvula se atasca en posición cerrada". De manera similar podríamos necesitar distinguir entre "Se agarrotan los rodamientos por desgaste normal" y "se agarrotan los rodamientos por falta de lubricación adecuada"

Estos temas se tratarán más extensamente en este capítulo, pero antes nos preguntaremos por qué es necesario analizar los modos de falla.

FASE 6: Obtención de la Confiabilidad

Los objetivos del cálculo de la confiabilidad en la gestión de activos son:

- Presentar las metodologías básicas en el área de Ingeniería de Confiabilidad y de Riesgo, con el propósito de reducir la incertidumbre y optimizar la toma de decisiones en el proceso de Gestión Estratégica de Mantenimiento.
- Diseñar las políticas de mantenimiento a utilizar en el futuro.
- Determinar las frecuencias óptimas de ejecución del mantenimiento preventivo.
- Optimizar el uso de los recursos físicos y del talento humano.
- Calcular intervalos óptimos de sustitución económica de equipos.
- Minimizar los costos del departamento (Vasquez Oyarzún, 2008).

Funciones estadísticas de confiabilidad

Para el análisis de problemas de ingeniería, es conveniente utilizar funciones de distribución de probabilidad cuyas características han sido previamente determinadas. La escogencia de la función adecuada para una variable se basa en cualquiera de los siguientes criterios:

- La naturaleza física del problema debe ajustarse a todas las características básicas de una distribución específica.
- Los datos disponibles deben permitir ajustar su gráfica a la de una función de distribución conocida.
- En la selección adecuada de las funciones de distribución juega un papel muy importante el criterio y la apreciación del ingeniero y su conocimiento del comportamiento de las variables.

La función de densidad de probabilidad (*pdf*) y la función de distribución acumulativa (*cdf*) son dos de las más importantes funciones estadísticas usadas en confiabilidad, y están muy relacionadas.

Una vez estas funciones son conocidas, muchas medidas de confiabilidad pueden ser obtenidas, tales como la función de confiabilidad y la rata de falla.

Designaciones

- La función de densidad de probabilidad, *pdf*, como $f(x)$.

- La función de distribución acumulativa, cdf, es $F(x)$. La pdf y cdf dan una completa descripción de la distribución de probabilidad de una variable aleatoria.

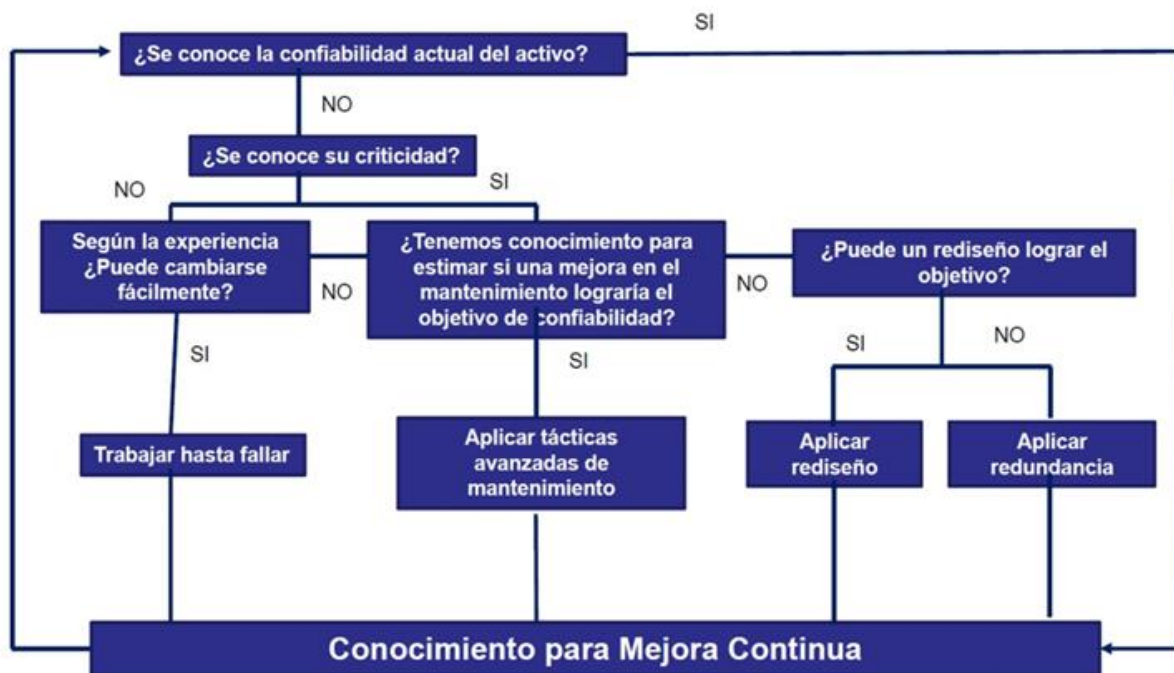


Figura 27 Búsqueda continua de conocimiento de RCM
Fuente: Moubray 2004

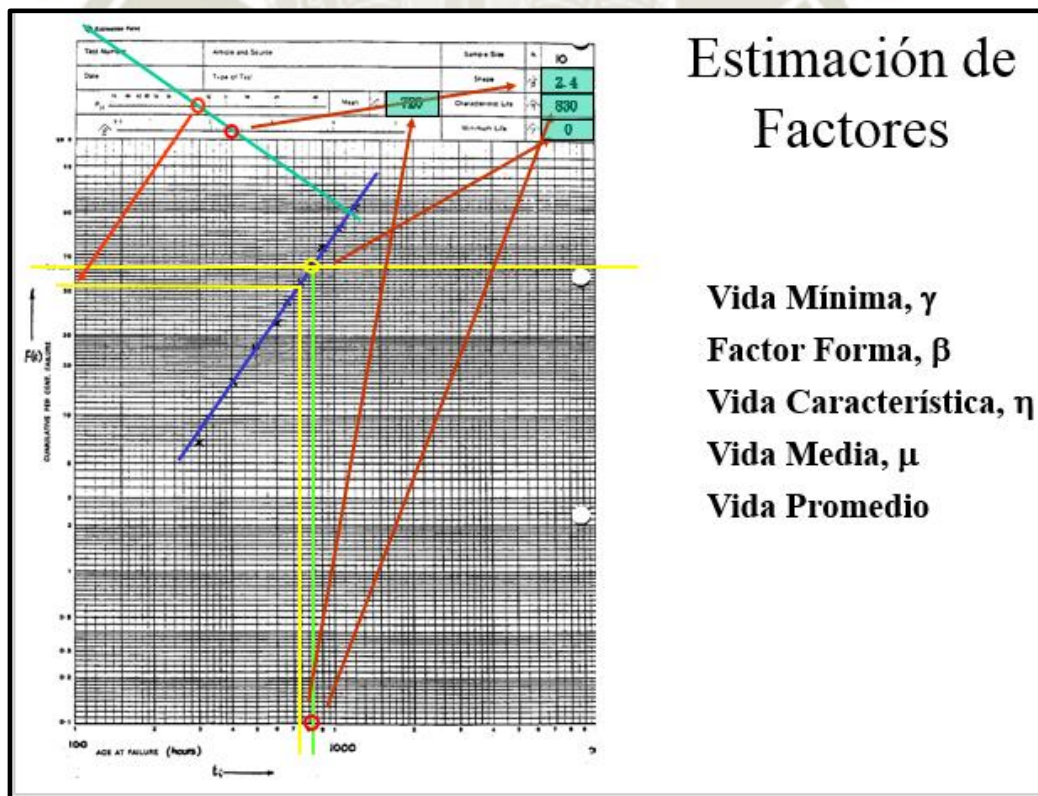


Figura 28 Estimación de parámetros de Weibull
Fuente: Elaboración propia

FASE 7: Estrategias de Mantenimiento

Después de realizado el análisis de modos de fallos y sus efectos con la herramienta propuesta por el mantenimiento basado en la confiabilidad, el apoyo de las bases de la filosofía de gestión de mantenimiento, las estrategias de planeamiento planteadas en la Figura 29 procedemos a realizar el nuevo plan de mantenimiento con sus respectivos intervalos de parámetros, especialistas, recomendaciones y por consiguiente la mejora continua.



Figura 29 Tipos de mantenimiento de apoyo para el RCM.

Fuente: Parra 2004

CAPITULO V

5. IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD

La Empresa San Martin Contratistas Generales S.A. cuenta con una diversidad de activos físicos que se muestra en el Anexo 01 es la siguiente según el orden indicado.

5.1. SELECCIÓN Y FUNCIÓN DEL ACTIVO FÍSICO

Los activos físicos de la empresa indicados en el Anexo 01 son variados y cumplen diferentes funciones para la generación de producción de bienes y servicios internos como externos. Se seleccionó el área de servicios de mantenimiento para designar el equipo más crítico como estudio del presente proyecto de tesis por el quehacer diario que realiza en la empresa que son de servicios de mantenimiento a los equipos que prestan servicios externos. Dentro del área de mantenimiento los equipos destacados tenemos máquinas de soldar de arco eléctrico, máquinas de soldar Tig, maquinas herramientas tornos mecánicos, maquinas herramienta fresadoras, maquinas herramientas CNC, dobladoras de plantas, esmeriles, grúas puentes; +todos estos equipos nos permiten realizar servicios de mantenimiento a otros equipos que realizan proyectos de relevancia en minería, construcción de carreteras, obras civiles, proyectos agrícolas etc. Las funciones planificación y programación son de la especialidad que laboro destaco que la grúa puente es un equipo de mayor criticidad por los siguientes motivos:

1. En el área de mantenimiento es clave el desmontaje, y montaje de máquinas o equipos que tienen gran capacidad.
2. En el área de mantenimiento es obligatorio el traslado de grandes componentes de las máquinas y equipos.
3. Para el área de mantenimiento este equipo permite realizar operaciones con seguridad para el personal.
4. El equipo de la grúa puente permite reducir costos de mantenimiento para la empresa.

Por consiguiente, el equipo seleccionado es el PUENTE GRÚA

FUNCION DEL PUENTE GRÚA: Elevar, transportar y depositar cargas de una posición a otra posición con una velocidad máxima de 20 m/min y una carga máxima de 15 Toneladas.

5.2. FICHA TÉCNICA DEL ACTIVO FÍSICO

FICHA TÉCNICA PUENTE GRÚA			
Datos Generales			
CODIGO EQUIPO	GP-001	FECHA	2010-04-26
EQUIPO	GRÚA PUENTE	UBICACIÓN	TALLER
FABRICANTE	R&M MATERIALS HANDLING INC	AREA	MANTENIMIENTO
MODELO	HP	MAXIMA CAP.	15 TON
CLASE	PUENTE	COLOR	AMARILLO
ESTADO	BUENO		
EQUIPO IZAMIENTO	POLIPASTO		
TIPO POLIPASTO	SX50610150P65HED0S		
NUMERO SERIE	58068099		
POTENCIA IZAMIENTO	19.5 KW		
POTENCIA TRASL. CARRO	2*0.75 KW		
CARRERA DEL GANCHO	8.0 m		
CABLE	16 mm		
VELOCIDAD IZAMIENTO	60.0/1.00 m/min		
VLEOCIDAD TRASL. CARRO	20.0 m/min		
TIPO MOTOR POLIPASTO	MF13Z-106N172P8504E-IP66		
POTENCIA MOTOR	18 KW		
CONTROLES		CARRO TRASLACIÓN	
ALIMENTACION PRINCIPAL	460 V	TIPO MOTOR	MF06LA200-132F95010E-IP66
TENSION DE CONTROL	115 V	TIPO ENGRANAJE	GES342PS3BO-A
TIPO DE CONTROL	2SP	NUMERO SERIE	58054334, 58054337
TIPO DE CABLEADO	IEC	TIPO CARRO	M
CICLOS	60 HZ	ANCHO DE CARRIL	1.70 mm
CARGA COMPENSADA	16,500 Kg	POLEA GARGANTA	69 mm

5.3. JERARQUIZACIÓN

La jerarquización de equipos de planta Consiste en clasificar a los equipos de acuerdo a niveles de jerarquía que van desde un nivel más alto referido al tipo de industria a la que pertenece el ítem hasta el componente de menor jerarquía al cual se le ejecuta el mantenimiento.

El número de subdivisiones dependerá de la complejidad de la unidad de equipo y el uso de los datos. Los datos de confiabilidad deben relacionarse con cada nivel de

subdivisión dentro de la jerarquía del equipo a fin de que tengan validez y puedan compararse.

Un instrumento puede no requerir mayor subdivisión, mientras que un compresor puede requerir varios niveles. Para los datos utilizados en los análisis de disponibilidad, es posible que sólo se necesiten datos de confiabilidad a nivel de unidad de equipo, mientras que el análisis RCM requerirá datos sobre el mecanismo de avería a nivel de la parte mantenible (Durán, 2000).

5.3.1. Taxonomía ISO 14224.

La taxonomía es una clasificación sistemática de ítems en grupos genéricos basados en factores posiblemente comunes a varios ítems (ubicación, uso, subdivisión de equipos, etc.) Una clasificación de datos relevantes a recolectar de conformidad con este Estándar Internacional está representada por una jerarquía como se muestra en la Figura 31. Las definiciones para cada segmento se proporcionan más abajo, además de los ejemplos de diferentes flujos del negocio y tipos de equipos, ilustrados en la Tabla 3 (Tejada Berno, y otros, 2019)

Para nuestra implementación se jerárquico los equipos hasta el Nivel 7 quedando como sigue:

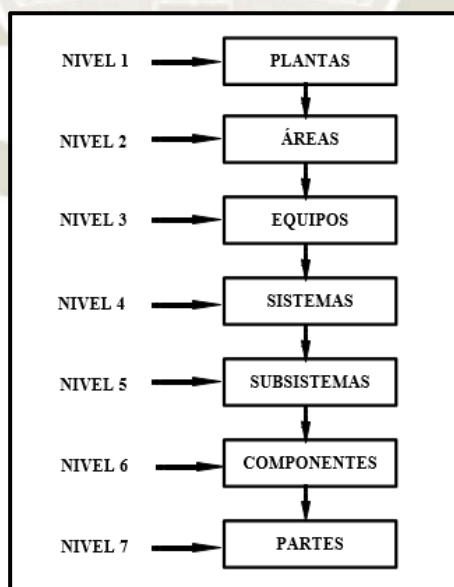


Figura 30 Jerarquización de la organización de los activos físicos de una planta. **Fuente:** Elaboración propia

Tabla 3 Definiciones de Jerarquización

1	2	3	4	5	6	7
Unidad	Unidad Productiva	Planta	Área	Sistema/Equipo	Subsistema	Componente/Ítem Mantenible

Fuente: Elaboración propia

AREA MANTENIMIENTO	SISTEMAS	COMPONENTES	PARTES
PUENTE GRÚA BIRRIEL	Estructura Principal	Vigas Principales	-
		Rieles Guía	-
	Sistema Traslación del Puente	Motor Reductores	Motor eléctrico, reductor, engranajes, ejes, rodamientos.
		Ruedas Conductoras	-
		Rueda Inducidas	-
		Tope de Cabezal	-
	Estructura del Puente	Vigas Testeras	-
		Viga de Carga	-
		Rueda Inducidas	-
	Polipasto	Motor Izamiento	Carcaza, rotor, estator, eje.
		Reductor	Engranajes, carcaza, rodamientos
		Eje de Reductor	-
		Tambor Guía Cable	Cilindro, tapas, rodamientos
		Eje de Tambor	-
		Gancho	-
	Carro Transversal	Motor Reductores	Motor eléctrico, reductor, engranajes, ejes, rodamientos.
		Bastidor Motriz	-
		Ruedas Conductoras	-
	Sistema Eléctrico	Contactores Velocidad	-
		Temporizadores	-
		Guarda Motores	-
		Relés	-
		Rectificadores	-
		Botonera	Carcaza, botones.

5.4. CRITICIDAD

Es una metodología que permite identificar y jerarquizar por su importancia los activos de una instalación sobre las cuales vale la pena dirigir recursos humanos, económicos y tecnológicos. En otras palabras, el proceso de análisis de criticidad ayuda a determinar la importancia y las consecuencias de los eventos potenciales de fallos de los sistemas de producción dentro del contexto operacional en el cual se desempeñan. (Parra, Márquez, & Crespo, 2012).

Para nuestra implementación del RCM y por la cantidad de equipos que se tienen instalados se decide hacer un análisis de criticidad a nivel de equipo (Figura 31) (Martínez, 2017).

Figura 31 Análisis de Criticidad a Nivel de Equipo

1	2	3	4	5	6	7
Unidad	Unidad Productiva	Planta	Área	Sistema/Equipo	Subsistema	Componente/Ítem Mantenible
Planta Lima	Servicios	Mantenimiento	02	Grúa Puente	Traslación	Reductor Lateral
Planta Cañete	Servicios	Mantenimiento	A290	Grúa Puente	Polispasto	Motor Eléctrico

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4 Criterio para la Determinación de Criticidad de Sistemas

		Aspectos y Consecuencias a Evaluar en el Análisis RCM					
		Disponibilidad	Oportunidad de Producción	Costos de Mantenimiento	Calidad	Seguridad	Medio Ambiente
Nivel de Criticidad	Alto	Afecta la disponibilidad de la planta mas de 2 Horas	La tasa de producción decrece debajo de 95%	Costo de reparación afecta el presupuesto >25000 USD	Genera rechazos o reprocesos	La falla puede generar daño a la persona	Impacto externo, con daño localizado, severo o permanente. Cobertura de Medios
	Medio	Afecta la disponibilidad de la planta menos de 2 horas	La tasa de producción decrece hasta 95%	Costo de reparación entre 5000 a 25000 USD.	Genera mínimos rechazos o reprocesos	La falla genera solo daño material	Impacto interno con daños recuperables
	Bajo	No afecta en la disponibilidad	La tasa de producción no reduce	Costo de reparación < a 5000 USD.	No afecta la calidad	Ningún riesgo	Ningún riesgo

Fuente: Elaboración propia

5.4.1. Evaluación de Criticidad a los Sistemas del Puente Grúa el Modelo de Factores Ponderados

5.4.1.1. Sistema: Carro Transversal

Tabla 5 Evaluación: Carro Transversal

Frecuencia de Fallos	
Mayor a 4 fallas/año	4
3 - 4 Fallas/año	3
1 - 2 Fallas/año	2
No presenta fallas en el año	1

Impacto Operacional	
Salida de operación mayor a 8 horas	10
Impacta en niveles de producción o calidad	6
Impacto operacional por antigüedad de Equipo mayor a 10 años	4
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	2

Flexibilidad	
No existe equipo de Respaldo	4
Hay Equipo de respaldo	2
Se tiene equipo/repuesto disponible en almacén	1

Costos de Mantenimiento	
Mayor o igual a 5 000 US\$	2
Inferior a 5 000\$	1

Impacto SAH	
Afecta la seguridad humana	8
Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
Provoca daños menores (Accidentes e incidentes)	4
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	3
No provoca ningún tipo de daños a personas o impactos al medio ambiente	0

Fuente: Elaboración propia

Figura 32 Riesgo: Carro Transversal

FRECUENCIA						
		10	20	30	40	50
	4	B	B	A	A	A
	3	B	B	B	A	A
	2	C	C	B	B	A
	1	C	C	C	B	A
		CONSECUENCIA				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6 Evaluación: Polipasto

Frecuencia de fallos	
Mayor a 4 fallas/año	4
3 - 4 Fallas/año	3
1 - 2 Fallas/año	2
No presenta fallas en el año	1

Impacto Operacional	
Salida de operación mayor a 8 horas	10
Impacta en niveles de producción o calidad	6
Impacto operacional por antigüedad de Equipo mayor a 10 años	4
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	2

Flexibilidad	
No existe equipo de Respaldo	4
Hay Equipo de respaldo	2
Se tiene equipo/repuesto disponible en almacén	1

Costos de Mantenimiento	
Mayor o igual a 5 000 US\$	2
Inferior a 5 000 US\$	1

Impacto SAH	
Afecta la seguridad humana	8
Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
Provoca daños menores (Accidentes e incidentes)	4
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	3
No provoca ningún tipo de daños a personas o impactos al medio ambiente	0

Fuente: Elaboración propia

Figura 33 Riesgo: Polipasto

FRECUENCIA							
		4					
		B	B	A	A	A	
		B	B	B	A	A	
		C	C	B	B	A	
		10	20	30	40	50	
CONSECUENCIA							

Fuente: Elaboración propia

5.4.1.2. Sistema: Grúa Puente de Servicios Capacidad 15 Ton

Tabla 7 Evaluación: Sistema Traslación del Puente

Frecuencia de fallos	
Mayor a 4 fallas/año	4
3 - 4 Fallas/año	3
1 - 2 Fallas/año	2
No presenta fallas en el año	1

Impacto Operacional	
Salida de operación mayor a 8 horas	10
Impacta en niveles de producción o calidad	6
Impacto operacional por antigüedad de Equipo mayor a 10 años	4
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	2

Flexibilidad	
No existe equipo de Respaldo	4
Hay Equipo de respaldo	2
Se tiene equipo/repuesto disponible en almacén	1

Costos de Mantenimiento	
Mayor o igual a 5 000 US\$	2
Inferior a 5 000 US\$	1

Impacto SAH	
Afecta la seguridad humana	8
Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
Provoca daños menores (Accidentes e incidentes)	4
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	3
No provoca ningún tipo de daños a personas o impactos al medio ambiente	0

Fuente: Elaboración propia

Figura 34 Riesgo: Sistema Traslación del Puente

FRECUENCIA						
		10	20	30	40	50
	4	B	B	A	A	A
	3	B	B	B	A	A
	2	C	C	B	B	A
	1	C	C	C	B	A
		CONSECUENCIA				

Fuente: Elaboración propia

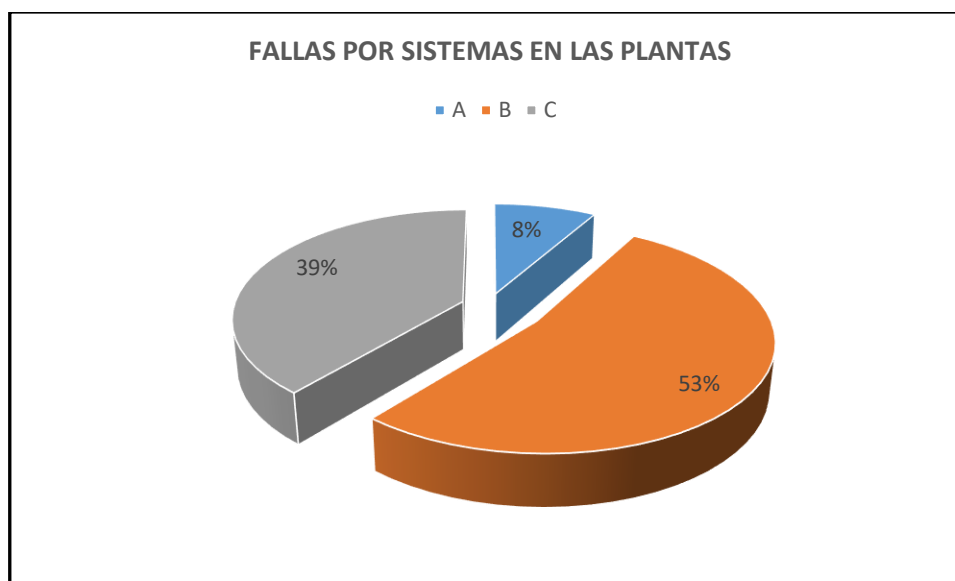
5.4.3. Resultados de la Evaluación de Criticidad en el Área de Mantenimiento

Tabla 8 Resultados de la Evaluación de Criticidad.

ÍTEM	PLANTA	UBICACIÓN TÉCNICA	ÁREA	SISTEMA	CRITICIDAD
1	PLANTA	CAÑETE	A290	GRUA PUENTE-POLIPASTO	B
2	PLANTA	CAÑETE	A290	GRÚA PUENTE – SISTEMA TRASLACIÓN DEL PUENTE	A
3	PLANTA	CAÑETE	A290	GRUA PUENTE- CARRO TRANSVERSAL	C

Fuente: Elaboración propia

Figura 35 Criticidad de Sistemas del Puente Grúa Cap. 15 Ton



PLANTAS DE MANTENIMIENTO	A	B	C	TOTAL
PLANTA LURIN	19	14	3	36
PLANTA CAÑETE	10	7	3	20
TOTAL	29	21	6	56

Fuente: Elaboración propia

Con los resultados, ahora solo nos dedicaremos a los sistemas con mayor criticidad.

5.5. ANÁLISIS DE MODOS FALLAS Y EFECTOS -AMFE

Metodología cuyo propósito es identificar todo lo que puede causar problemas en un activo, facilitando la detección de acciones para reducir el riesgo asociado a una falla.

Un modo de falla es la causa física que ocasiona la pérdida de la función total o parcial de un activo en su contexto operacional.

Fuentes de información de los modos de falla:

- Fabricante o vendedor del equipo.
- Listas genéricas de modos de fallas: SAE JA 1012
- Registros e historiales técnicos.
- Otros usuarios del mismo equipo.
- El personal que opera y mantiene el equipo (Castrejón, 2012).

Para la implementación del RCM armamos el AMEF de los equipos críticos tomando como referencia: **SAE JA 1012 - ISO14224**.

Tabla 9 Hoja de Registro del AMEF del Sistema Traslación del Puente Grúa

RCM: HOJA DE REGISTRO DEL AMEF. SISTEMA: SISTEMA TRASLACIÓN DEL PUENTE SISTEMAS DE LA GRÚA PUENTE DE 15 TN EQUIPOS: REDUCTORES, MOTORES. TALLER DE MANTENIMIENTO									Facilitador: Ing. Eduardo Mendoza Fecha de inicio: 10 de Enero Fecha de Culminación: 30 Abril			PLAN DE MANTENIMIENTO DE GRÚA PUENTE	
#	Estándar de ejecución	#	Falla Funcional	#	Modo de falla	Efecto de Falla	#	Causa Potencial	Frecuencia de ocurrencia del modo de falla	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Personal
1. SISTEMA DE TRASLACIÓN DEL PUENTE													
1	Ser capaz de trasladar al Puente Grúa entre las columnas, en un rango de velocidad 0 a 20 m/min	1.A	No traslada al puente	1.A.1	No hay energía	Evidente: Si, descripción del efecto: No hay energía, no permite movimiento de traslación del puente. Se produce pérdida operacional, el puente grúa queda parado afectando el movimiento y el abastecimiento de materiales. Se tiene una pérdida de US\$ 3,350 por hora de parada	1.A.1.1	Apertura de Breaker de fuerza por corto circuito	Cada 2 años	Sustitución cíclica	Cambio	Cada 3 años	Electricistas
				1.A.2	Falla de control eléctrico	Evidente: No, descripción del efecto: Falla de control eléctrico, no permite movimiento de traslación del puente. Se produce pérdida operacional, La falla de control eléctrico puede hacer que el puente quede parado completamente afectando el movimiento. Se tiene una pérdida de US\$ 3,350 por hora de parada	1.A.2.1	Fusibles de control quemados	Cada 2 años	No realizar mantenimiento programado	Cambio		Electricistas
							1.A.2.2	Circuito de control abierto	Cada 2 años	Reacondicionamiento cíclico	Cambio de terminales	Cada 2 años	Electricistas
							1.A.2.3	Transformador de control quemado	Cada 3 años	No realizar mantenimiento programado	Cambio		Electricistas
							1.A.2.4	Apertura del breaker de control por sobrecarga o cortocircuito	Cada 3 años	No realizar mantenimiento programado	Cambio		Electricistas
							1.A.2.5	Opera el relé de Sobrecarga	Cada 1 año	Sustitución cíclica	Cambio	Cada 2 años	Electricistas
							1.A.2.6	Banco de Resistencia, apertura de dos fases	Cada 1 año	Reacondicionamiento cíclico	Limpieza	Cada 1 semana	Electricistas
							1.A.2.7	Banco de Reactores, apertura de dos fases	Cada 1 año	Reacondicionamiento cíclico	Limpieza	Cada 1 semana	Electricistas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Traslación del Puente Grúa

#	Estándar de Ejecución	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto de Falla	#	Causa Potencial	Frecuencia de ocurrencia del modo de falla	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Personal
1	Ser capaz de trasladar al Puente Grúa entre las columnas, en un rango de velocidad 0 a 20 m/min	1.A	No traslada al puente	1.A.3	Falla de motor eléctrico	Evidente: Si, descripción del efecto: Falla de motor eléctrico, no permite movimiento de traslación del puente. La falla de motor eléctrico hace que el puente grúa quede parado completamente afectando el movimiento. Se tiene una pérdida de US\$ 3,350 por hora de parada	1.A.3.1	Falla de contactor reversible	Cada 1 año	Tarea a condición	Medición del gap	Cada 1 mes	Electricistas
							1.A.3.2	Apertura del breaker de Fuerza por sobrecarga o cortocircuito	Cada 2 años	Sustitución cíclica	Cambio	Cada 4 años	Electricistas
							1.A.3.3	Carbones gastados	Cada 6 meses	Sustitución cíclica	Cambio	Cada 6 meses -	Electricistas
							1.A.3.4	Falla de rodamientos	Cada 1 año	Reacondicionamiento cíclico	Cambio	Cada 1 año	Electricistas
							1.A.3.5	Rotura de eje	Cada 5 años	Tarea a condición	Análisis de Ultrasonido	Cada 1 año	Inspectores
							1.A.3.6	Bobinas de estator en cortocircuito, quemadas.	Cada 3 años	Tarea a condición	Análisis de nivel de aislamiento	Cada 1 año	Electricistas
				1.A.4	Falla de transmisión cardanica	Evidente: Si, descripción del efecto: No existe transmisión hacia las ruedas motrices, una de la rueda gira y la otra es arrastrada. EL trabajo de reemplazo del eje es realizado por 02 trabajadores por un tiempo de 06 horas. Se produce una pérdida de US\$ 3 500	1.A.4.1	El fisuramiento del eje puede darse por efecto de contramarcha de la grúa.	Cada 1 año	Tarea a condición	1. Prueba de static stepless 2. Análisis de ultrasonido	1. Cada 15 días 2. Cada 1 año durante el overhaul	1. Mecánicos 2. Inspectores
							1.A.4.2	Fisuramiento por fatiga del material.	Cada 1 año	Tarea a condición	1. Prueba de static stepless 2. Análisis de ultrasonido	1. Cada 15 días 2. Cada 1 año durante el overhaul	1. Mecánicos 2. Inspectores
							1.A.4.3	Desalineamiento.	Cada 2 años	Tarea a condición	1. Alineamiento laser	Cada 1 año	Inspectores

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Traslación del Puente Grúa

#	Estándar de Ejecución	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto de Falla	#	Causa Potencial	Frecuencia de ocurrencia del modo de falla	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Personal
1	Ser capaz de trasladar al Puente Grúa entre las columnas, en un rango de velocidad 0 a 20 m/min	1.A	No traslada al puente	1.A.5	Falla de rueda motriz lado	Evidente: Si, descripción del efecto: La grúa tiende a cruzarse en su movimiento de traslación, se realiza la prueba de levantar la grúa y si la rueda gira sola es que el eje de la rueda está cizallado. Si los rodamientos están en mal estado la rueda se arrastrará. El trabajo de reemplazo de rueda debe realizarse con 02 trabajadores en un tiempo de 03 horas. Se produce una pérdida de US\$ 4 000	1.A.5.1	Falla por rodamientos amarrados, ya sea por falta de lubricación, mal montaje, vencimiento de su vida útil	Cada 1 año	Tarea a condición	Análisis de estado de rodamientos	Cada 1 año durante el overhaul	Mecánicos
							1.A.5.2	Desalineamiento entre el reductor y la rueda	Cada 1 mes	Tarea a condición	1. Chequeo del Alineamiento	Cada 1 mes	Inspectores
							1.A.5.3	Fisuramiento del eje por efecto de la contramarcha de la grúa	Cada 1 año	Tarea a condición	1. Prueba de static stepless 2. Análisis de ultrasonido	1. Cada 15 días 2. Cada 1 año durante el overhaul	1) Mecánicos 2) Inspectores
							1.A.5.4	Fisuramiento del eje por fatiga del material.	Cada 1 año	Tarea a condición	1. Prueba de static stepless 2. Análisis de ultrasonido	1. Cada 15 días 2. Cada 1 año durante el overhaul	1) Mecánicos 2) Inspectores
							1.A.5.5	Por rozamiento de la rueda con el riel se produce la fractura y pérdida de la pestaña de la rueda.	Cada 1 año	Tarea a condición	1. Medición de span de rieles 2. Medición de paralelismo de la grúa	1 y 2) Cada 1 año con el overhaul	Ingeniería
							1.A.5.6	Ensamble incorrecto de la rueda en el taller	Cada 1 año		ACR al procedimiento		Mecánicos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Traslación del Puente Grúa

#	Estándar de Ejecución	#	Falla Funcional	#	Modo de falla	Efecto de Falla	#	Causa Potencial	Frecuencia de ocurrencia del modo de falla	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Personal
1	Ser capaz de trasladar al Puente Grúa entre las columnas, en un rango de velocidad 0 a 20 m/min	1.A	No traslada al puente	1.A.6	Falla de rueda motriz lado oeste	Evidente: Si, descripción del efecto: La grúa tiende a cruzarse en su movimiento de traslación, se realiza la prueba de levantar la grúa y si la rueda gira sola es que el eje de la rueda está cizallado. Si los rodamientos están en mal estado la rueda se arrastrará. El trabajo de reemplazo de rueda debe realizarse con 02 trabajadores en un tiempo de 03 horas. Se produce una pérdida de US\$ 3 000	1.A.6.1	Falla por rodamientos amarrados, ya sea por falta de lubricación, mal montaje, vencimiento de su vida útil.	Cada 1 año	Tarea a condición	Análisis de estado de rodamientos	Cada 1 año durante el overhaul	Mecánicos
							1.A.6.2	Desalineamiento entre el reductor y la rueda	Cada 1 mes	Tarea a condición	1. Chequeo del Alineamiento	Cada 1 mes	Inspectores
							1.A.6.3	Fisuramiento del eje por efecto de la contramarcha de la grúa	Cada 1 año	Tarea a condición	1. Prueba de static stepless 2. Análisis de ultrasonido	1. Cada 15 días 2. Cada 1 año durante el overhaul	1) Mecánicos 2) Inspectores
							1.A.6.4	Fisuramiento del eje por fatiga del material.	Cada 1 año	Tarea a condición	1. Prueba de static stepless 2. Análisis de ultrasonido	1. Cada 15 días 2. Cada 1 año durante el overhaul	1) Mecánicos 2) Inspectores
							1.A.6.5	Por rozamiento de la rueda con el riel se produce la fractura y pérdida de la pestaña de la rueda.	Cada 1 año	Tarea a condición	1. Medición de span de rieles 2. Medición de paralelismo de la grúa	1 y 2. Cada 1 año con el overhaul	Ingeniería
							1.A.6.6	Ensamble incorrecto de la rueda en el taller	Cada 1 año		ACR al procedimiento		Mecánicos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Traslación del Puente Grúa

#	Estándar de ejecución	#	Falla Funcional	#	Modo de falla	Efecto de Falla	#	Causa Potencial	Frecuencia de ocurrencia del modo de falla	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Personal
1	Ser capaz de trasladar al Puente Grúa entre las columnas, en un rango de velocidad 0 a 20 m/min	1.A	No traslada al puente	1.A.7	Falla de sistema de freno	Evidente: Si, descripción del efecto: Los frenos están en contacto constante con el tambor de freno, no existe luz entre la zapata y el tambor, hay recalentamiento de ambos componentes. El trabajo de calibración de la luz se realiza con dos trabajadores en 01 hora. El sistema de freno puede fallar de dos formas no frena o queda con las zapatas cerradas ocasionando una traslación lenta o parada total del puente grúa, afectando el movimiento. Se produce una pérdida de US\$ 1,350	1.A.7.1	No se dio la luz adecuada para el correcto accionamiento de las zapatas de freno	Semanal	Tarea a condición	Medición del gap	Cada 5 días	Mecánicos
							1.A.7.2	Mal accionamiento del pistón que acciona las zapatas	Cada 1 año	Tarea a condición	Análisis de estado del pistón	Cada 1 año durante el overhaul	Mecánicos
				1.A.8	Falla de ruedas conducidas	Evidente: Si, Descripción del efecto: La grúa tiende a cruzarse en su movimiento de traslación, se realiza la prueba de levantar la grúa y si la rueda gira sola es que el eje de la rueda está cizallado. Si los rodamientos están en mal estado la rueda se arrastrará. El trabajo de reemplazo de rueda debe realizarse con 02 trabajadores en un tiempo de 03 horas. Se produce una pérdida de US\$ 1 050	1.A.8.1	Falla por rodamientos amarrados, ya sea por falta de lubricación, mal montaje, vencimiento de su vida útil	Cada 1 año	Tarea a condición	Análisis de estado de rodamientos	Cada 1 año durante el overhaul	Mecánicos
							1.A.8.2	Fisuramiento del eje por fatiga del material.	Cada 3 años	Tarea a condición	1. Prueba de static stepless 2. Análisis de ultrasonido	1. Cada 15 días 2. Cada 1 año durante el overhaul	1) Mecánicos 2) Inspectores
							1.A.8.3	Por rozamiento de la rueda con el riel se produce la fractura y perdida de la pestaña de la rueda.	Cada 1 año	Tarea a condición	1. Medición de span de rieles 2. Medición de paralelismo de la grúa	1 y 2. Cada 1 año con el overhaul	Ingeniería
							1.A.8.4	Ensamble incorrecto de la rueda en el taller	Cada 1 año		ACR al procedimiento		Mecánicos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Traslación del Puente Grúa

#	Estándar de Ejecución	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto de Falla	#	Causa Potencial	Frecuencia de ocurrencia del modo de falla	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Personal
1	Ser capaz de trasladar al Puente Grúa entre las columnas, en un rango de velocidad 0 a 20 m/min	1.A	No traslada al puente	1.A.9	Falla de reductor lateral lado este	Evidente: Si, descripción del efecto: Existe ruido extraño al interior del reductor y la falla se manifiesta en donde solo gira uno de los ejes ya sea el de alta o el de baja velocidad esto se produce por cizallamiento del eje. También puede producirse por trabamamiento de los ejes produciéndose alta temperatura en la zona. El trabajo de cambio del reductor se realiza con dos trabajadores en un lapso de 06 horas. Se produce una pérdida de US\$ 5 000	1.A.9.1	Falla por rodamientos amarrados, ya sea por falta de lubricación, mal montaje, vencimiento de su vida útil	Cada 2 años	Tarea a condición	Análisis de estado de rodamientos	Cada 1 año durante el overhaul	Mecánicos
							1.A.9.2	Dientes de los piñones rotos por causa de un trabamamiento	Cada 1 año	Tarea a condición	Inspección con líquidos penetrantes	Cada 1 año durante el overhaul	Inspectores
							1.A.9.3	Fisuramiento del eje por fatiga del material.	Cada 1 año	Tarea a condición	Análisis con ultrasonido	Cada 1 año durante el overhaul	Inspectores
							1.A.9.4	Desalineamiento	Cada 1 mes	Tarea a condición	Alineamiento	Cada 1 mes	Inspectores
							1.A.9.5	Fuga excesiva de aceite	Cada 6 meses	Tarea a condición	Inspección visual	Diaria (por el operador)	Operador
							1.A.9.6	Ensamble incorrecto del reductor	Cada 1 año		ACR al procedimiento		Mecánicos
				1.A.10	Falla de acoplamiento flotante lado este	Evidente: Si, descripción del efecto: No existe transmisión hacia las ruedas motrices, una de las ruedas gira y la otra es arrastrada, debido a que el acoplamiento ha fallado, la grúa pierde velocidad y fuerza. El trabajo de reemplazo de coupling es realizado por 02 trabajadores por un tiempo de 03 horas. Se produce una pérdida de US\$ 1 050	1.A.10.1	Desalineamiento entre ejes.	Cada 6 meses	Tarea a condición	Alineamiento	Cada 1 mes	Inspectores
							1.A.10.2	Fatiga de material	Cada 2 años	Tarea a condición	Análisis de ultrasonido	Cada 1 año durante el overhaul	Inspectores

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Traslación del Puente Grúa

#	Estándar de Ejecución	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto de Falla	#	Causa Potencial	Frecuencia de ocurrencia del modo de falla	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Personal
1	Ser capaz de trasladar al Puente Grúa entre las columnas, en un rango de velocidad 0 a 20 m/min	1.A	No traslada al puente	1.A.11	Falla de reductor lateral lado oeste	Evidente: Si, descripción del efecto: Existe ruido extraño al interior del reductor y la falla se manifiesta en donde solo gira uno de los ejes ya sea el de alta o el de baja velocidad esto se produce por cizallamiento del eje. También puede producirse por trabamamiento de los ejes produciéndose alta temperatura en la zona. El trabajo de cambio del reductor se realiza con cuatro a cinco trabajadores en un lapso de 06 horas. Se produce una pérdida de US\$ 4 500.	1.A.11.1	Falla por rodamientos amarrados, ya sea por falta de lubricación, mal montaje, vencimiento de su vida útil	Cada 2 años	Tarea a condición	Análisis de estado de rodamientos	Cada 1 año durante el overhaul	Mecánicos
							1.A.11.2	Dientes de los piñones rotos por causa de un trabamamiento	Cada 1 año	Tarea a condición	Inspección con líquidos penetrantes	Cada 1 año durante el overhaul	Inspectores
							1.A.11.3	Fisuramiento del eje por fatiga del material.	Cada 1 año	Tarea a condición	Análisis con ultrasonido	Cada 1 año durante el overhaul	Inspectores
							1.A.11.4	Desalineamiento entre motor-reductor-eje	Cada 1 mes	Tarea a condición	Alineamiento	Cada 1 mes	Inspectores
							1.A.11.5	Por fuga excesiva de aceite	Cada 6 meses	Tarea a condición	Inspección visual	Diaria (por el operador)	Operador
							1.A.11.6	Ensamble incorrecto del reductor	Cada 1 año		ACR al procedimiento		Mecánicos
				1.A.12	Falla de acoplamiento flotante lado oeste	Evidente: Si, descripción del efecto: No existe transmisión hacia las ruedas motrices, una de las ruedas gira y la otra es arrastrada, debido a que el acoplamiento ha fallado, la grúa pierde velocidad y fuerza. El trabajo de reemplazo de coupling es realizado por 02 trabajadores por un tiempo de 03 horas. Se produce una pérdida de US\$ 1000	1.A.12.1	Desalineamiento entre ejes.	Cada 6 meses	Tarea a condición	Alineamiento	Cada 1 mes	Inspectores
							1.A.12.2	Fatiga de material	Cada 2 años	Tarea a condición	Análisis de ultrasonido	Cada 1 año durante el overhaul	Inspectores

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Traslación del Puente Grúa

#	Estándar de Ejecución	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto de Falla	#	Causa Potencial	Frecuencia de ocurrencia del modo de falla	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Personal
1	Ser capaz de trasladar al Puente Grúa entre las columnas, en un rango de velocidad 0 a 20 m/min.	1.A	No traslada al puente	1.A.13	Falla de reductor central del puente	Evidente: Si, descripción del efecto: Existe ruido extraño al interior del reductor y la falla se manifiesta en donde solo gira uno de los ejes ya sea el de alta o el de baja velocidad esto se produce por cizallamiento del eje. También puede producirse por trabamamiento de los ejes produciéndose alta temperatura en la zona. Ocasiona una parada total del puente grúa afectando el movimiento. el trabajo de cambio del reductor se realiza con cuatro a dos trabajadores en un lapso de 06 horas. Se produce una pérdida de US\$ 5000	1.A.13.1	Falla por rodamientos amarrados, ya sea por falta de lubricación, mal montaje, vencimiento de su vida útil	Cada 2 años	Tarea a condición	Análisis de estado de rodamientos	Cada 1 año durante el overhaul	Mecánicos
							1.A.13.2	Dientes de los piñones rotos por causa de un trabamamiento	Cada 1 año	Tarea a condición	Inspección con líquidos penetrantes	Cada 1 año durante el overhaul	Inspectores
							1.A.13.3	Fisuramiento del eje por fatiga del material.	Cada 1 año	Tarea a condición	Análisis con ultrasonido	Cada 1 año durante el overhaul	Inspectores
							1.A.13.4	Desalineamiento entre motor-reductor-eje	Cada 1 mes	Tarea a condición	Alineamiento	Cada 1 mes	Inspectores
							1.A.13.5	Por fuga excesiva de aceite	Cada 6 meses	Tarea a condición	Inspección visual	Diaria (por el operador)	Operador
							1.A.13.6	Ensamble incorrecto del reductor	Cada 1 año		ACR al procedimiento		Mecánicos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Traslación del Puente Grúa

#	Estándar de Ejecución	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto de Falla	#	Causa Potencial	Frecuencia de ocurrencia del modo de falla	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Personal
1	Ser capaz de trasladar al Puente Grúa entre las columnas, en un rango de velocidad 0 a 20 m/min	1.B	Traslada a una velocidad de fuera del rango	1.B.1	Falla de control eléctrico	Evidente: No, descripción del efecto: Falla de control eléctrico, no permite movimiento de traslación del puente. Se produce pérdida operacional, La falla de control eléctrico puede hacer que el puente se traslade a una velocidad fuera del rango afectando el movimiento. Se tiene una pérdida de US\$3,350 por hora de parada	1.B.1.1	Master switch defectuoso	Cada 3 meses	Reacondicionamiento cíclico	Cambio	Cada 4 meses anual - overhaul	Electricistas
							1.B.1.2	Circuito de reactores saturables de control abierto	Cada 5 años	No realizar mantenimiento programado	Reparación		Electricistas
							1.B.1.3	Transformador de ánodos abierto o quemado	Cada 2 años	No realizar mantenimiento programado	Cambio		Electricistas
							1.B.1.4	SCR's abierto o cruzado	Cada 2 años	No realizar mantenimiento programado	Cambio		Electricistas
							1.B.1.5	Módulo de control electrónico defectuoso	Cada 3 años	No realizar mantenimiento programado	Cambio		Electricistas
				1.B.2	Falla de motor eléctrico	Evidente: Si, descripción del efecto: Falla de motor eléctrico, ocasiona que la traslación del puente se realice a una velocidad fuera del rango. La falla de motor eléctrico hace que este gire fuera de sus parámetros de velocidad afectando el movimiento. Se tiene una pérdida de US\$ 3,350 por hora de parada	1.B.2.1	Banco de Resistencia, apertura de una fase	Cada 3 años	No realizar mantenimiento programado	Reparación		Electricistas
							1.B.2.2	Banco de Reactores, apertura de una fase	Cada 3 años	No realizar mantenimiento programado	Reparación		Electricistas
							1.B.2.3	Falla de bobinado del rotor	Cada 3 años	No realizar mantenimiento programado	Reparación		Electricistas
							1.B.2.4	Carbones gastados	Cada 6 meses	Sustitución cíclica	Cambio	Cada 6 meses - Anual-overhaul	Electricistas
							1.B.2.5	Falla de rodamientos	Cada 1 año	Reacondicionamiento cíclico	Cambio	Cada 1 año	Electricistas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Traslación del Puente Grúa

#	Estándar de Ejecución	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto de Falla	#	Causa Potencial	Frecuencia de ocurrencia del modo de falla	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Personal
1	Ser capaz de trasladar al Puente Grúa entre las columnas, en un rango de velocidad 0 a 20 m/min	1.B	Traslada a una velocidad de fuera del rango	1.B.3	Falla de rueda motriz lado este	Evidente: Si, descripción del efecto: La grúa tiende a cruzarse en su movimiento de traslación, se realiza la prueba de levantar la grúa y si la rueda gira sola es que el eje de la rueda está cizallado. Si los rodamientos están en mal estado la rueda se arrastrará y perderá velocidad de funcionamiento. El trabajo de reemplazo de rueda debe realizarse con 04 trabajadores en un tiempo de 03 horas. Se produce una pérdida de US\$ 1000	1.B.3.1	Falla por rodamientos amarrados, ya sea por falta de lubricación, mal montaje, vencimiento de su vida útil	Cada 1 año	Tarea a condición	Análisis de estado de rodamientos	Cada 1 año durante el overhaul	Mecánicos
							1.B.3.2	Desalineamiento entre el reductor y la rueda	Cada 2 años	Tarea a condición	1.Chequeo del Alineamiento	Cada 1 mes	Inspectores
							1.B.3.3	Fisuramiento del eje por efecto de la contramarcha de la grúa	Cada 3 años	Tarea a condición	1. Prueba de static stepless 2. Análisis de ultrasonido	1. Cada 15 días 2. Cada 1 año durante el overhaul	1) Mecánicos 2) Inspectores
							1.B.3.4	Fisuramiento del eje por fatiga del material.	Cada 3 años	Tarea a condición	1. Prueba de static stepless 2. Análisis de ultrasonido	1. Cada 15 días 2. Cada 1 año durante el overhaul	1) Mecánicos 2) Inspectores
							1.B.3.5	Por rozamiento de la rueda con el riel se produce la fractura y pérdida de la pestaña de la rueda.	Cada 1 año	Tarea a condición	1. Medición de span de rieles 2. Medición de paralelismo de la grúa	1 y 2. Cada 1 año con el overhaul	Ingeniería
							1.B.3.6	Ensamble incorrecto de la rueda en el taller	Cada 1 año		ACR al procedimiento		Mecánicos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Traslación del Puente Grúa

#	Estándar de Ejecución	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto de Falla	#	Causa Potencial	Frecuencia de ocurrencia del modo de falla	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Personal
1	Ser capaz de trasladar al Puente Grúa entre las columnas, en un rango de velocidad 0 a 20 m/min	1.B	Traslada a una velocidad de fuera del rango	1.B.4	Falla de rueda motriz lado oeste	Evidente: Si, descripción del efecto: La grúa tiende a cruzarse en su movimiento de traslación, se realiza la prueba de levantar la grúa y si la rueda gira sola es que el eje de la rueda está cizallado. Si los rodamientos están en mal estado la rueda se arrastrará y perderá velocidad de funcionamiento. El trabajo de reemplazo de rueda debe realizarse con 02 trabajadores en un tiempo de 03 horas. Se produce una pérdida de US\$ 1000.	1.B.4.1	Falla por rodamientos amarrados, ya sea por falta de lubricación, mal montaje, vencimiento de su vida útil	Cada 1 año	Tarea a condición	Análisis de estado de rodamientos	Cada 1 año durante el overhaul	Mecánicos
							1.B.4.2	Desalineamiento entre el reductor y la rueda	Cada 2 años	Tarea a condición	1. Chequeo del Alineamiento	Cada 1 mes	Inspectores
							1.B.4.3	Fisuramiento del eje por efecto de la contramarcha de la grúa	Cada 3 años	Tarea a condición	1. Prueba de static stepless 2. Análisis de ultrasonido	1. Cada 15 días 2. Cada 1 año durante el overhaul	1) Mecánicos 2) Inspectores
							1.B.4.4	Fisuramiento del eje por fatiga del material.	Cada 3 años	Tarea a condición	1. Prueba de static stepless 2. Análisis de ultrasonido	1. Cada 15 días 2. Cada 1 año durante el overhaul	1) Mecánicos 2) Inspectores
							1.B.4.5	Por rozamiento de la rueda con el riel se produce la fractura y pérdida de la pestaña de la rueda.	Cada 1 año	Tarea a condición	1. Medición de span de rieles 2. Medición de paralelismo de la grúa	1 y 2. Cada 1 año con el overhaul	Ingeniería
							1.B.4.6	Ensamble incorrecto de la rueda en el taller	Cada 1 año		ACR al procedimiento		Mecánicos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Traslación del Puente Grúa

#	Estándar de Ejecución	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto de Falla	#	Causa Potencial	Frecuencia de ocurrencia del modo de falla	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Personal
1	Ser capaz de trasladar al Puente Grúa entre las columnas, en un rango de velocidad 0 a 20 m/min	1.B	Traslada a una velocidad de fuera del rango	1.B.5	Falla de sistema de freno	Evidente: Si, descripción del efecto: Las zapatas de freno están en contacto constante con el tambor de freno, no existe luz entre la zapata y el tambor, hay recalentamiento de ambos componentes. El trabajo de calibración de la luz se realiza con dos trabajadores en 01 hora. El sistema de freno puede fallar de dos formas no frena o queda con las zapatas cerradas ocasionando una traslación lenta del puente grúa, afectando el movimiento. Se produce una pérdida de US\$ 3,350	1.B.5.1	No se dio la luz adecuada para el correcto accionamiento de las zapatas de freno	Semanal	Tarea a condición	Medición del gap	Cada 5 días	Mecánicos
							1.B.5.2	Mal accionamiento del pistón que acciona las zapatas	Cada 1 año	Tarea a condición	Análisis de estado del pistón	Cada 1 año durante el overhaul	Mecánicos
				1.B.6	Falla de ruedas conducidas	Evidente: SI, Descripción del efecto: La grúa tiende a cruzarse en su movimiento de traslación, se realiza la prueba de levantar la grúa y si la rueda gira sola es que el eje de la rueda está cizallado. Si los rodamientos están en mal estado la rueda se arrastrará y provocará pérdida de la velocidad de funcionamiento. El trabajo de reemplazo de rueda debe realizarse con 04 trabajadores en un tiempo de 03 horas. Se produce una pérdida de US\$ 1000.	1.B.6.1	Falla por rodamientos amarrados, ya sea por falta de lubricación, mal montaje, vencimiento de su vida útil	Cada 1 año	Tarea a condición	Análisis de estado de rodamientos	Cada 1 año durante el overhaul	Mecánicos
							1.B.6.2	Fisuramiento del eje por fatiga del material.	Cada 3 años	Tarea a condición	1) Prueba de static stepless 2) Análisis de ultrasonido	1) Cada 15 días 2) Cada 1 año durante el overhaul	1) Mecánicos 2) Inspectores
							1.B.6.3	Por rozamiento de la rueda con el riel se produce la fractura y pérdida de la pestaña de la rueda.	Cada 1 año	Tarea a condición	1) Medición de span de rieles 2) Medición de paralelismo de la grúa	1 y 2) Cada 1 año con el overhaul	Ingeniería
							1.B.6.4	Ensamble incorrecto de la rueda en el taller	Cada 1 año		ACR al procedimiento		Mecánicos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Traslación del Puente Grúa

#	Estándar de Ejecución	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto de Falla	#	Causa Potencial	Frecuencia de ocurrencia del modo de falla	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Personal
1	Ser capaz de trasladar al Puente Grúa entre las columnas, en un rango de velocidad 0 a 20 m/min	1.B	Traslada a una velocidad de fuera del rango	1.B.7	Falla de reductor lateral lado este	Evidente: Si, descripción del efecto: Existe ruido extraño al interior del reductor y la falla se manifiesta en donde solo gira uno de los ejes ya sea el de alta o el de baja velocidad esto se produce por cizallamiento del eje. También puede producirse por trabamiento de los ejes produciéndose alta temperatura en la zona. Esto conlleva a una disminución de la velocidad de funcionamiento El trabajo de cambio del reductor se realiza con dos trabajadores en un lapso de 04 horas. Se produce una pérdida de US\$ 3 500.	1.B.7.1	Falla por rodamientos amarrados, ya sea por falta de lubricación, mal montaje, vencimiento de su vida útil	Cada 2 años	Tarea a condición	Análisis de estado de rodamientos	Cada 1 año durante el overhaul	Mecánicos
							1.B.7.2	Dientes de los piñones rotos por causa de un trabamiento	Cada 1 año	Tarea a condición	Inspección con líquidos penetrantes	Cada 1 año durante el overhaul	Inspectores
							1.B.7.3	Fisuramiento del eje por fatiga del material.	Cada 1 año	Tarea a condición	Análisis con ultrasonido	Cada 1 año durante el overhaul	Inspectores
							1.B.7.4	Desalineamiento entre motor-reductor-eje	Cada 1 mes	Tarea a condición	Alineamiento	Cada 1 mes	Inspectores
							1.B.7.5	Fuga excesiva de aceite	Cada 6 meses	Tarea a condición	Inspección visual	Diaria (por el operador)	Operador
							1.B.7.6	Ensamble incorrecto del reductor	Cada 1 año		ACR al procedimiento		Mecánicos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Traslación del Puente Grúa

#	Estándar de Ejecución	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto de Falla	#	Causa Potencial	Frecuencia de ocurrencia del modo de falla	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Personal
1	Ser capaz de trasladar al Puente Grúa entre las columnas, en un rango de velocidad 0 a 20 m/min	1.B	Traslada a una velocidad de fuera del rango	1.B.8	Falla de reductor lateral lado oeste	Evidente: Si, descripción del efecto: Existe ruido extraño al interior del reductor y la falla se manifiesta en donde solo gira uno de los ejes ya sea el de alta o el de baja velocidad esto se produce por cizallamiento del eje. También puede producirse por trabamamiento de los ejes produciéndose alta temperatura en la zona. Esto conlleva a una disminución de la velocidad de funcionamiento El trabajo de cambio del reductor se realiza con cuatro a cinco trabajadores en un lapso de 04 horas. Se produce una pérdida de US\$ 3 500.	1.B.8.1	Falla por rodamientos amarrados, ya sea por falta de lubricación, mal montaje, vencimiento de su vida útil	Cada 2 años	Tarea a condición	Análisis de estado de rodamientos	Cada 1 año durante el overhaul	Mecánicos
							1.B.8.2	Dientes de los piñones rotos por causa de un trabamamiento	Cada 1 año	Tarea a condición	Inspección con líquidos penetrantes	Cada 1 año durante el overhaul	Inspectores
							1.B.8.3	Fisuramiento del eje por fatiga del material.	Cada 1 año	Tarea a condición	Análisis con ultrasonido	Cada 1 año durante el	Inspectores
							1.B.8.4	Desalineamiento entre motor-reductor-eje	Cada 1 mes	Tarea a condición	Alineamiento	Cada 1 mes	Inspectores
							1.B.8.5	Fuga excesiva de aceite	Cada 6 meses	Tarea a condición	Inspección visual	Diaria (por el operador)	Operador
							1.B.8.6	Ensamble incorrecto del reductor	Cada 1 año		ACR al procedimiento		Mecánicos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Traslación del Puente Grúa

#	Estándar de Ejecución	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto de Falla	#	Causa Potencial	Frecuencia de ocurrencia del modo de falla	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Personal
1	Ser capaz de trasladar al Puente Grúa entre las columnas, en un rango de velocidad 0 a 20 m/min	1.B	Traslada a una velocidad de fuera del rango	1.B.9	Falla de reductor central del puente	Evidente: Si, Descripción del efecto: Existe ruido extraño al interior del reductor y la falla se manifiesta en donde solo gira uno de los ejes ya sea el de alta o el de baja velocidad esto se produce por cizallamiento del eje. También puede producirse por trabamamiento de los ejes produciéndose alta temperatura en la zona. Esto conlleva a una disminución de la velocidad de funcionamiento El trabajo de cambio del reductor se realiza con cuatro a cinco trabajadores en un lapso de 04 horas. Se produce una pérdida de US\$ 3 500.	1.B.9.1	Falla por rodamientos amarrados, ya sea por falta de lubricación, mal montaje, vencimiento de su vida útil	Cada 2 años	Tarea a condición	Análisis de estado de rodamientos	Cada 1 año durante el overhaul	Mecánicos
							1.B.9.2	Dientes de los piñones rotos por causa de un trabamamiento	Cada 1 año	Tarea a condición	Inspección con líquidos penetrantes	Cada 1 año durante el overhaul	Inspectores
							1.B.9.3	Fisuramiento del eje por fatiga del material.	Cada 1 año	Tarea a condición	Análisis con ultrasonido	Cada 1 año durante el overhaul	Inspectores
							1.B.9.4	Desalineamiento entre motor-reductor-eje	Cada 1 mes	Tarea a condición	Alineamiento	Cada 1 mes	Inspectores
							1.B.9.5	Fuga excesiva de aceite	Cada 6 meses	Tarea a condición	Inspección visual	Diaria (por el operador)	Operador
							1.B.9.6	Ensamble incorrecto del reductor	Cada 1 año		ACR al procedimiento		Mecánicos
		1.C	Traslada el puente grúa en un solo sentido	1.C.1	Falla de control eléctrico	Evidente: No, descripción del efecto: Falla de control eléctrico, puede producir movimiento en un solo sentido de traslación del puente. Afecta el movimiento de las otras dos grúas y el normal abastecimiento de materiales. Se produce una pérdida de US\$ 3,350 por hora	1.C.1.1	Contactos auxiliares defectuosos del contactor reversible	Cada 6 meses	Sustitución cíclica	Cambio	Cada 6 meses anual - overhaul	Electricistas
							1.C.1.2	Contactor reversible defectuoso	Cada 1 año	Tarea a condición	Medición del gap	Cada 1 mes	Electricistas
							1.C.1.3	Falla Master switch	Cada 6 meses	Sustitución cíclica	Cambio	Cada 6 meses anual -	Electricistas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Polipasto

#	Estándar de ejecución	#	Falla Funcional	#	Modo de falla	Efecto de Falla	#	Causa Potencial	Frecuencia de ocurrencia del modo de falla	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Personal
<u>SISTEMA DE TRASLACIÓN DEL POLIPASTO</u>													
2	Ser capaz de trasladar el polipasto entre los ejes y una velocidad de 30 m/min	2.A	No traslada el polipasto	2.A.1	No hay energía	Evidente: Si, descripción del efecto: No hay energía, no permite movimiento de traslación del polipasto. El polipasto queda parado y dependiendo de su ubicación lateral puede afectar el movimiento y el normal abastecimiento de materiales. Se produce una pérdida de US\$ 3,350 por hora de parada	2.A.1.1	Apertura de Breaker de fuerza por corto circuito	Cada 2 años	Sustitución cíclica	Cambio	Cada 3 años	Electricistas
				2.A.2	Falla de control eléctrico	Evidente: Si, descripción del efecto: Falla de control eléctrico, no permite movimiento de traslación del polipasto. El polipasto queda parado y dependiendo de su ubicación lateral puede afectar el movimiento y el normal abastecimiento de materiales. Se produce una pérdida de US\$ 3,350 por hora de parada	2.A.2.1	Fusibles de control quemados	Cada 2 años	No realizar mantenimiento programado	Cambio		Electricistas
							2.A.2.2	Circuito de control abierto	Cada 2 años	Reacondicionamiento cíclico	Cambio de terminales	Cada 2 años	Electricistas
							2.A.2.3	Transformador de control quemado	Cada 3 años	No realizar mantenimiento programado	Cambio		Electricistas
							2.A.2.4	Apertura del breaker de control por sobrecarga o cortocircuito	Cada 3 años	No realizar mantenimiento programado	Cambio		Electricistas
							2.A.2.5	Opera el relé de Sobrecarga	Cada 1 año	Sustitución cíclica	Cambio	Cada 2 años	Electricistas
							2.A.2.6	Banco de Resistencia, apertura de dos fases	Cada 1 año	Reacondicionamiento cíclico	Limpieza	Cada 1 semana	Electricistas
							2.A.2.7	Banco de Reactores, apertura de dos fases	Cada 1 año	Reacondicionamiento cíclico	Limpieza	Cada 1 semana	Electricistas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Polipasto

#	Estándar de Ejecución	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto de Falla	#	Causa Potencial	Frecuencia de ocurrencia del modo de falla	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Personal
2	Ser capaz de trasladar el polipasto con una velocidad de 30 m/min	2.A	No traslada el polipasto	2.A.3	Falla de motor eléctrico	Evidente: Si, descripción del efecto: Falla de motor eléctrico, no permite movimiento de traslación del polipasto. La falla de motor eléctrico hace que polipasto y quede parado completamente afectando el movimiento de la otra grúa. Se tiene una pérdida de US\$ 3,350 por hora de parada	2.A.3.1	Falla de contactor reversible	Cada 1 año	Tarea a condición	Medición del gap	Cada 1 mes	Electricistas
							2.A.3.2	Apertura del breaker de Fuerza por sobrecarga o cortocircuito	Cada 2 años	Sustitución cíclica	Cambio	Cada 7 años	Electricistas
							2.A.3.3	Carbones gastados	Cada 6 meses	Sustitución cíclica	Cambio	Cada 6 meses -	Electricistas
							2.A.3.4	Falla de rodamientos	Cada 1 año	Reacondicionamiento cíclico	Cambio	Cada 1 año	Electricistas
							2.A.3.5	Rotura de eje	Cada 5 años	Tarea a condición	Análisis de Ultrasonido	Cada 1 año	Inspectores
							2.A.3.6	Bobinas de estator en cortocircuito, quemadas.	Cada 3 años	Tarea a condición	Análisis de nivel de aislamiento	Cada 1 año	Electricistas
				2.A.4	Falla de transmisión cardanica	Evidente: Si, descripción del efecto: No existe transmisión hacia la rueda motriz norte y el polipasto y no puede desplazarse. El trabajo de reemplazo del eje es realizado por 04 trabajadores por un tiempo de 06 hora. Se produce una pérdida de US\$ 1250.	2.A.4.1	La fisura miento del eje puede darse por efecto de contramarcha del trolley.	Cada 1 año	Tarea a condición	1. Prueba de static stepless 2. Análisis de ultrasonido	1. Cada 15 días 2. Cada 1 año durante el overhaul	1) Mecánicos 2) Inspectores
							2.A.4.2	Fisuramiento por fatiga del material.	Cada 1 año	Tarea a condición	1. Prueba de static stepless 2. Análisis de ultrasonido	1. Cada 15 días 2. Cada 1 año durante el overhaul	1) Mecánicos 2) Inspectores
							2.A.4.3	Desalineamiento.	Cada 2 años	Tarea a condición	1. Alineamiento laser	1. Cada 1 mes 1. Cada 1 año durante el overhaul	Inspectores

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Polipasto

#	Estándar de Ejecución	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto de Falla	#	Causa Potencial	Frecuencia de ocurrencia del modo de falla	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Personal
2	Ser capaz de trasladar el polipasto entre los extremos con una velocidad de 30 m/min	2.A	No traslada el polipasto	2.A.5	Falla de rueda motriz lado norte	Evidente: Si, descripción del efecto: El polipasto de la grúa tiende a cruzarse en su movimiento de traslación, se realiza la prueba de levantar el polipasto y si la rueda gira sola es que el eje de la rueda está cizallado. Si los rodamientos están en mal estado la rueda se arrastrará. El trabajo de reemplazo de rueda debe realizarse con 04 trabajadores en un tiempo de 02 horas. Se produce una pérdida de US\$ 1700.	2.A.5.1	Falla por rodamientos amarrados, ya sea por falta de lubricación, mal montaje, vencimiento de su vida útil	Cada 1 año	Tarea a condición	Análisis de estado de rodamientos	Cada 1 año durante el overhaul	Mecánicos
							2.A.5.2	Desalineamiento entre el reductor y la rueda	Cada 2 años	Tarea a condición	1. Chequeo del Alineamiento	Cada 1 mes	Inspectores
							2.A.5.3	Fisuramiento del eje por efecto de la contramarcha del trolley	Cada 3 años	Tarea a condición	1. Prueba de static stepless 2. Análisis de ultrasonido	1) Cada 15 días 2) Cada 1 año durante el overhaul	1) Mecánicos 2) Inspectores
							2.A.5.4	Fisuramiento del eje por fatiga del material.	Cada 3 años	Tarea a condición	1) Prueba de static stepless 2) Análisis de ultrasonido	1) Cada 15 días 2) Cada 1 año durante el overhaul	1) Mecánicos 2) Inspectores
							2.A.5.5	Por rozamiento de la rueda con el riel se produce la fractura y perdida de la pestaña de la rueda.	Cada 1 año	Tarea a condición	1) Medición de span de rieles 2) Medición de paralelismo de la grúa	1 y 2) Cada 1 año con el overhaul	Ingeniería
							2.A.5.6	Ensamble incorrecto de la rueda en el taller	Cada 1 año		ACR al procedimiento		Mecánicos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Grúa Punte

#	Estándar de Ejecución	#	Falla Funcional	#	Modo de falla	Efecto de Falla	#	Causa Potencial	Frecuencia de ocurrencia del modo de falla	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Personal
2	Ser capaz de trasladar el polipasto entre los ejes con una velocidad de 30 m/min	2.A	No traslada el polipasto	2.A.6	Falla de rueda motriz lado sur	Evidente: Si, descripción del efecto: El polipasto de la grúa tiende a cruzarse en su movimiento de traslación, se realiza la prueba de levantar el polipasto y si la rueda gira sola es que el eje de la rueda está cizallado. Si los rodamientos están en mal estado la rueda se arrastrará. El trabajo de reemplazo de rueda debe realizarse con 04 trabajadores en un tiempo de 02 horas. Se produce una pérdida de US\$ 1700.	2.A.6.1	Falla por rodamientos amarrados, ya sea por falta de lubricación, mal montaje, vencimiento de su vida útil	Cada 1 año	Tarea a condición	Análisis de estado de rodamientos	Cada 1 año durante el overhaul	Mecánicos
							2.A.6.2	Desalineamiento entre el reductor y la rueda	Cada 2 años	Tarea a condición	1. Chequeo del Alineamiento	Cada 1 mes	Inspectores
							2.A.6.3	Fisuramiento del eje por efecto de la contramarcha de la grúa	Cada 3 años	Tarea a condición	1. Prueba de static stepless 2. Análisis de ultrasonido	1. Cada 15 días 2. Cada 1 año durante el overhaul	1) Mecánicos 2) Inspectores
							2.A.6.4	Fisuramiento del eje por fatiga del material.	Cada 3 años	Tarea a condición	1. Prueba de static stepless 2. Análisis de ultrasonido	1. Cada 15 días 2. Cada 1 año durante el overhaul	1) Mecánicos 2) Inspectores
							2.A.6.5	Por rozamiento de la rueda con el riel se produce la fractura y pérdida de la pestaña de la rueda.	Cada 1 año	Tarea a condición	1. Medición de span de rieles 2. Medición de paralelismo de la grúa	1 y 2. Cada 1 año con el overhaul	Ingeniería
							2.A.6.6	Ensamble incorrecto de la rueda en el taller	Cada 1 año		ACR al procedimiento		Mecánicos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Grúa Puente

#	Estándar de Ejecución	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto de Falla	#	Causa Potencial	Frecuencia de ocurrencia del modo de falla	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Personal
2	Ser capaz de trasladar el polipasto entre los extremos con una velocidad de 30 m/min.	2.A	No traslada el polipasto	2.A.7	Falla de sistema de freno	Evidente: Si, descripción del efecto: Las zapatas de freno están en contacto constante con el tambor de freno, no existe luz entre la zapata y el tambor, hay recalentamiento de ambos componentes. El trabajo de calibración de la luz se realiza con dos trabajadores en 01 hora. El sistema de freno puede fallar de dos formas no frena o queda con las zapatas cerradas ocasionando el no izaje. Se produce una pérdida de US\$ 3,350	2.A.7.1	Motor del mecanismo del pistón quemado, originando trip del breaker de fuerza del motor eléctrico por sobrecarga	Cada 3 años	Reacondicionamiento cíclico	Cambio de pistón	Cada 1 año durante el overhaul	Electricistas
							2.A.7.2	Pérdida de alimentación por cables partidos	Cada 1 año	Tarea a condición	Inspección visual	Cada 1 semana	Electricistas
							2.A.7.3	No se dio la luz adecuada para el correcto accionamiento de las zapatas de freno	Cada 6 meses	Tarea a condición	Medición del gap	Cada 1 mes	Electricistas
							2.A.7.4	Mal accionamiento del pistón que acciona las zapatas	Cada 1 año	Tarea a condición	Inspección visual	Cada 1 semana	Electricistas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Polipasto

#	Estándar de ejecución	#	Falla Funcional	#	Modo de falla	Efecto de Falla	#	Causa Potencial	Frecuencia de ocurrencia del modo de falla	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Personal
2	Ser capaz de trasladar el polipasto entre los ejes con una velocidad de 30 m/min.	2.A	No traslada el polipasto	2.A.8	Falla de ruedas conducidas	Evidente: Si, descripción del efecto: El polipasto tiende a cruzarse en su movimiento de traslación, se realiza la prueba de levantar el polipasto y si la rueda gira sola es que el eje de la rueda está cizallado. Si los rodamientos están en mal estado la rueda se arrastrará. El trabajo de reemplazo de rueda debe realizarse con 02 trabajadores en un tiempo de 02 horas. Se produce una pérdida de US\$ 4 700. Se produce una pérdida de US\$ 1700.	2.A.8.1	Falla por rodamientos amarrados, ya sea por falta de lubricación, mal montaje, vencimiento de su vida útil	Cada 1 año	Tarea a condición	Análisis de estado de rodamientos	Cada 1 año durante el overhaul	Mecánicos
							2.A.8.2	Fisuramiento del eje por fatiga del material.	Cada 3 años	Tarea a condición	1. Prueba de static stepless 2. Análisis de ultrasonido	1. Cada 15 días 2. Cada 1 año durante el overhaul	1) Mecánicos 2) Inspectores
							2.A.8.3	Por rozamiento de la rueda con el riel se produce la fractura y perdida de la pestaña de la rueda.	Cada 1 año	Tarea a condición	1. Medición de span de rieles 2. Medición de paralelismo de la grúa	1 y 2. Cada 1 año con el overhaul	Ingeniería
							2.A.8.4	Ensamble incorrecto de la rueda en el taller	Cada 1 año		ACR al procedimiento		Mecánicos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Polipasto

#	Estándar de Ejecución	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto de Falla	#	Causa Potencial	Frecuencia de ocurrencia del modo de falla	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Personal
2	Ser capaz de trasladar el polipasto entre los ejes con una velocidad de 30 m/min.	2.A	No traslada el polipasto	2.A.9	Falla de reductor vertical	Evidente: Si, descripción del efecto: Existe ruido extraño al interior del reductor y la falla se manifiesta en donde solo gira el eje de alta velocidad esto se produce por cizallamiento de alguno de los ejes. También puede producirse por trabamamiento de los ejes produciéndose alta temperatura en la zona. El trabajo de cambio del reductor se realiza con tres trabajadores en un lapso de 04 horas. Se produce una pérdida de US\$ 1500.	2.A.9.1	Falla por rodamientos amarrados, ya sea por falta de lubricación, mal montaje, vencimiento de su vida útil	Cada 2 años	Tarea a condición	Análisis de estado de rodamientos	Cada 1 año durante el overhaul	Mecánicos
							2.A.9.2	Dientes de los piñones rotos por causa de un trabamamiento	Cada 1 año	Tarea a condición	Inspección con líquidos penetrantes	Cada 1 año durante el overhaul	Inspectores
							2.A.9.3	Fisuramiento del eje por fatiga del material.	Cada 1 año	Tarea a condición	Análisis con ultrasonido	Cada 1 año durante el overhaul	Inspectores
							2.A.9.4	Desalineamiento entre motor-reductor-eje	Cada 1 mes	Tarea a condición	Alineamiento	Cada 1 mes	Inspectores
							2.A.9.5	Fuga excesiva de aceite	Cada 6 meses	Tarea a condición	Inspección visual	Diaria (por el operador)	Operador
							2.A.9.6	Ensamble incorrecto del reductor	Cada 1 año		ACR al procedimiento		Mecánicos
				2.A.10	Falla en las pistas de rodadura	Evidente: Si, descripción del efecto: El span entre pistas es mayor al del polipasto ocasionaría un amarraamiento. Esto conlleva a que el polipasto y no se pueda trasladar, efectuando el movimiento. Se produce una pérdida de US\$ 850 por hora	2.A.10.1	Pistas deterioradas por el uso	Cada 4 años	Sustitución cíclica	Cambio de pistas	Cada 4 años	Mecánicos
							2.A.10.2	Pistas deterioradas por el desalineamiento del polipasto	Cada 4 años	Tarea a condición	Medición de cuadratura del polipasto	Cada 1 año durante el overhaul	Ingeniería

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Polipasto

#	Estándar de ejecución	#	Falla Funcional	#	Modo de falla	Efecto de Falla	#	Causa Potencial	Frecuencia de ocurrencia del modo de falla	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Personal
2	Ser capaz de trasladar el polipasto entre los extremos con un span de 26.8 m y una velocidad de 40 pies/min.	2.B	Traslada al polipasto a una velocidad de fuera del rango	2.B.1	Falla de control eléctrico	Evidente: No, descripción del efecto: Falla de control eléctrico, no permite movimiento de traslación del polipasto. Se produce pérdida operacional, La falla de control eléctrico ocasiona que el polipasto se traslade a una velocidad fuera del rango afectando el movimiento. Se tiene una pérdida de US\$ 650 por hora de parada	2.B.1.1	Master switch defectuoso	Cada 3 meses	Reacondicionamiento cíclico	Cambio	Cada 4 meses anual - overhaul	Electricistas
							2.B.1.2	Circuito de reactores saturables de control abierto	Cada 5 años	No realizar mantenimiento programado	Reparación		Electricistas
							2.B.1.3	Transformador de ánodos abierto o quemado	Cada 2 años	No realizar mantenimiento programado	Cambio		Electricistas
							2.B.1.4	SCR's abierto o cruzado	Cada 2 años	No realizar mantenimiento programado	Cambio		Electricistas
							2.B.1.5	Módulo de control electrónico defectuoso	Cada 3 años	No realizar mantenimiento programado	Cambio		Electricistas
				2.B.2	Falla de motor eléctrico	Evidente: Si, Descripción del efecto: Falla de motor eléctrico, ocasiona que la traslación del polipasto se realice a una velocidad fuera del rango. La falla de motor eléctrico hace que este gire fuera de sus parámetros de velocidad afectando el movimiento. Se tiene una pérdida de US\$ 3,350 por hora de parada	2.B.2.1	Banco de Resistencia, apertura de una fase	Cada 3 años	No realizar mantenimiento programado	Reparación		Electricistas
							2.B.2.2	Banco de Reactores, apertura de una fase	Cada 3 años	No realizar mantenimiento programado	Reparación		Electricistas
							2.B.2.3	Falla de bobinado del rotor	Cada 3 años	No realizar mantenimiento programado	Reparación		Electricistas
							2.B.2.4	Carbones gastados	Cada 6 meses	Sustitución cíclica	Cambio	Cada 6 meses - Anual-overhaul	Electricistas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Polipasto

#	Estándar de Ejecución	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto de Falla	#	Causa Potencial	Frecuencia de ocurrencia del modo de falla	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Personal
2	Ser capaz de trasladar el Polipasto entre los ejes con una velocidad de 30 m/min.	2.B	Traslada al trolley a una velocidad de fuera del rango	2.B.3	Falla de rueda motriz lado norte	Evidente: Si, descripción del efecto: El polipasto de la grúa tiende a cruzarse en su movimiento de traslación, se realiza la prueba de levantar el polipasto, si los rodamientos están en mal estado la rueda se arrastrará y esto ocasionará que se desplace a una velocidad fuera del rango. El trabajo de reemplazo de rueda debe realizarse con 02 trabajadores en un tiempo de 02 horas. Se produce una pérdida de US\$ 1700.	2.B.3.1	Falla por rodamientos amarrados, ya sea por falta de lubricación, mal montaje, vencimiento de su vida útil	Cada 1 año	Tarea a condición	Análisis de estado de rodamientos	Cada 1 año durante el overhaul	Mecánicos
							2.B.3.2	Desalineamiento entre el reductor y la rueda	Cada 2 años	Tarea a condición	1. Chequeo del Alineamiento	Cada 1 mes	Inspectores
							2.B.3.3	Fisuramiento del eje por efecto de la contramarcha de la grúa	Cada 3 años	Tarea a condición	1. Prueba de static stepless 2. Análisis de ultrasonido	1. Cada 15 días 2. Cada 1 año durante el overhaul	1) Mecánicos 2) Inspectores
							2.B.3.4	Fisuramiento del eje por fatiga del material.	Cada 3 años	Tarea a condición	1. Prueba de static stepless 2. Análisis de ultrasonido	1. Cada 15 días 2. Cada 1 año durante el overhaul	1) Mecánicos 2) Inspectores
							2.B.3.5	Por rozamiento de la rueda con el riel se produce la fractura y pérdida de la pestaña de la rueda.	Cada 1 año	Tarea a condición	1. Medición de span de rieles 2. Medición de paralelismo de la grúa	1 y 2. Cada 1 año con el overhaul	Ingeniería
							2.B.3.6	Ensamble incorrecto de la rueda en el taller	Cada 1 año		ACR al procedimiento		Mecánicos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Polipasto

#	Estándar de Ejecución	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto de Falla	#	Causa Potencial	Frecuencia de ocurrencia del modo de falla	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Personal
2	Ser capaz de trasladar el polipasto entre los extremos con un span de 26.8 m y una velocidad de 30 m/min.	2.B	Traslada al polipasto a una velocidad de fuera del rango	2.B.4	Falla de rueda motriz lado sur	Evidente: Si, descripción del efecto: El polipasto de la grúa tiende a cruzarse en su movimiento de traslación, se realiza la prueba de levantar el polipasto, si los rodamientos están en mal estado la rueda se arrastrará y esto ocasionará que se desplace a una velocidad fuera del rango. El trabajo de reemplazo de rueda debe realizarse con 02 trabajadores en un tiempo de 02 horas. Se produce una pérdida de US\$ 1700.	2.B.4.1	Falla por rodamientos amarrados, ya sea por falta de lubricación, mal montaje, vencimiento de su vida útil	Cada 1 año	Tarea a condición	Análisis de estado de rodamientos	Cada 1 año durante el overhaul	Mecánicos
							2.B.4.2	Desalineamiento entre el reductor y la rueda	Cada 2 años	Tarea a condición	1. Verificación de alineamiento	Cada 1 mes	Inspectores
							2.B.4.3	Fisuramiento del eje por efecto de la contramarcha de la grúa	Cada 3 años	Tarea a condición	1. Prueba de static stepless 2. Análisis de ultrasonido	1. Cada 15 días 2. Cada 1 año durante el overhaul	1) Mecánicos 2) Inspectores
							2.B.4.4	Fisuramiento del eje por fatiga del material.	Cada 3 años	Tarea a condición	1. Prueba de static stepless 2. Análisis de ultrasonido	1. Cada 15 días 2. Cada 1 año durante el overhaul	1) Mecánicos 2) Inspectores
							2.B.4.5	Por rozamiento de la rueda con el riel se produce la fractura y pérdida de la pestaña de la rueda.	Cada 1 año	Tarea a condición	1. Medición de span de rieles 2. Medición de paralelismo de la grúa	1 y 2. Cada 1 año con el overhaul	Ingeniería
							2.B.4.6	Ensamble incorrecto de la rueda en el taller	Cada 1 año		ACR al procedimiento		Mecánicos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Polipasto

#	Estándar de Ejecución	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto de Falla	#	Causa Potencial	Frecuencia de ocurrencia del modo de falla	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Personal
2	Ser capaz de trasladar el polipasto entre los extremos con un span de 26.8 m y una velocidad de 30 m/min.	2.B	Traslada al polipasto a una velocidad de fuera del rango	2.B.5	Falla de sistema de freno	Evidente: Si, descripción del efecto: Las zapatas de freno están en contacto constante con el tambor de freno, no existe luz entre la zapata y el tambor, hay recalentamiento de ambos componentes. El trabajo de calibración de la luz se realiza con dos trabajadores en 01 hora. El sistema de freno puede fallar de dos formas no frena o queda con las zapatas cerradas ocasionando una traslación lenta o parada total del polipasto, afectando el movimiento de las otras grúas y la atención a los convertidores. Se produce una pérdida de US\$ 1350.	2.B.5.1	No se dio la luz adecuada para el correcto accionamiento de las zapatas de freno	Cada 6 meses	Tarea a condición	Medición del gap	Cada 1 mes	Electricistas
							2.B.5.2	Mal accionamiento del pistón que acciona las zapatas	Cada 1 año	Tarea a condición	Inspección visual	Cada 1 semana	Electricistas
				2.B.6	Falla de ruedas conducidas	Evidente: Si, descripción del efecto: El trolley tiende a cruzarse en su movimiento de traslación, se realiza la prueba de levantar el trolley, si los rodamientos están en mal estado la rueda se arrastrará y ocasionará un desplazamiento a una velocidad fuera del rango. El trabajo de reemplazo de rueda debe realizarse con 04 trabajadores en un tiempo de 02 horas. Se produce una pérdida de US\$ 1600.	2.B.6.1	Falla por rodamientos amarrados, ya sea por falta de lubricación, mal montaje, vencimiento de su vida útil	Cada 1 año	Tarea a condición	Análisis de estado de rodamientos	Cada 1 año durante el overhaul	Mecánicos
							2.B.6.2	Fisuramiento del eje por fatiga del material.	Cada 3 años	Tarea a condición	1) Prueba de static stepless 2) Análisis de ultrasonido	1) Cada 15 días 2) Cada 1 año durante el overhaul	1) Mecánicos 2) Inspectores
							2.B.6.3	Por rozamiento de la rueda con el riel se produce la fractura y perdida de la pestaña de la rueda.	Cada 1 año	Tarea a condición	1) Medición de span de rieles 2) Medición de paralelismo de la grúa	1 y 2) Cada 1 año con el overhaul	Ingeniería
							2.B.6.4	Ensamble incorrecto de la rueda en el taller	Cada 1 año		ACR al procedimiento		Mecánicos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Grúa Punte

#	Estándar de Ejecución	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto de Falla	#	Causa Potencial	Frecuencia de ocurrencia del modo de falla	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Personal
2	Ser capaz de trasladar el polipasto entre los extremos con un span de 26.8 m y una velocidad de 40 pies/min	2.B	Trasladar al polipasto a una velocidad de fuera del rango	2.B.7	Falla de reductor vertical	Evidente: Si, descripción del efecto: Existe ruido extraño al interior del reductor y la falla se manifiesta por trabamiento de los ejes por causa de deterioro de los rodamientos produciéndose alta temperatura en la zona. El trabajo de cambio del reductor se realiza con cuatro a cinco trabajadores en un lapso de 05 horas. Se produce una pérdida de US\$ 3 500.	2.B.7.1	Falla por rodamientos amarrados, ya sea por falta de lubricación, mal montaje, vencimiento de su vida útil	Cada 2 años	Tarea a condición	Análisis de estado de rodamientos	Cada 1 año durante el overhaul	Mecánicos
							2.B.7.2	Dientes de los piñones rotos por causa de un trabamiento	Cada 1 año	Tarea a condición	Inspección con líquidos penetrantes	Cada 1 año durante el overhaul	Inspectores
							2.B.7.3	Fisuramiento del eje por fatiga del material.	Cada 1 año	Tarea a condición	Análisis con ultrasonido	Cada 1 año durante el overhaul	Inspectores
							2.B.7.4	Desalineamiento entre motor-reductor-eje	Cada 1 mes	Tarea a condición	Alineamiento	Cada 1 mes	Inspectores
							2.B.7.5	Fuga excesiva de aceite	Cada 6 meses	Tarea a condición	Inspección visual	Diaria (por el operador)	Operador
							2.B.7.6	Ensamble incorrecto del reductor	Cada 1 año		ACR al procedimiento		Mecánicos
				2.B.8	Falla en las pistas de rodadura	Evidente: Si, descripción del efecto: El span entre pistas es mayor al del polipasto ocasionaría un amarramiento del polipasto. Esto conlleva a que el polipasto se traslade a una velocidad del rango, efectuando el movimiento de las otras grúas y la atención a los convertidores. Se produce una pérdida de US\$ 450 por hora	2.B.8.1	Pistas deterioradas por el uso	Cada 4 años	Sustitución cíclica	Cambio de pistas	Cada 4 años	Mecánicos
							2.B.8.2	Pistas deterioradas por el desalineamiento del polipasto	Cada 4 años	Tarea a condición	Medición de cuadratura del polipasto	Cada 1 año durante el overhaul	Ingeniería

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36 Continuación de la Hoja de Registro del AMEF del Sistema Polipasto

#	Estándar de ejecución	#	Falla Funcional	#	Modo de falla	Efecto de Falla	#	Causa Potencial	Frecuencia de ocurrencia del modo de falla	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Personal
2	Ser capaz de trasladar el polipasto entre los ejes extremos con una velocidad de 30 m/min.	2.C	Traslada al polipasto en un solo sentido	2.C.1	Falla de control eléctrico	Evidente: No, descripción del efecto: Falla de control eléctrico, puede producir movimiento en un solo sentido de traslación del polipasto. Afecta el movimiento de las otras dos grúas y el normal abastecimiento de materiales entre Reverberos y Convertidores. Se produce una pérdida de US\$ 350 por hora	2.C.1.1	Contactos auxiliares defectuosos del contactor reversible	Cada 6 meses	Sustitución cíclica	Cambio	Cada 6 meses anual - overhaul	Electricistas
							2.C.1.2	Contactor reversible defectuoso	Cada 1 año	Tarea a condición	Medición del gap	Cada 1 mes	Electricistas
							2.C.1.3	Falla Master switch	Cada 6 meses	Reacondicionamiento cíclico	Cambio	Cada 6 meses anual -	Electricistas

Fuente: Elaboración propia

5.6. CÁLCULO DE LA CONFIABILIDAD

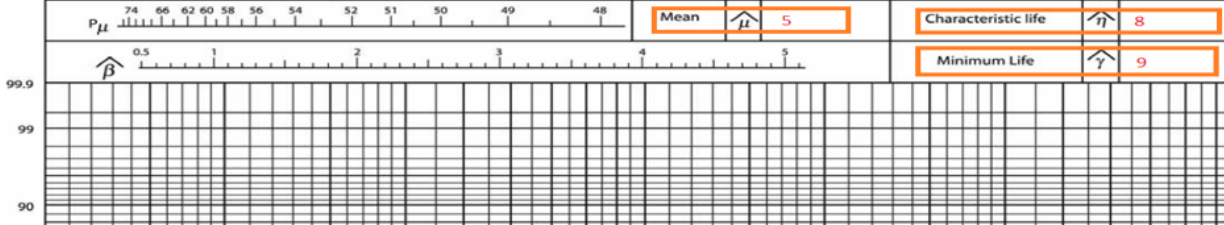
Calculamos la confiabilidad del activo con la hoja Weibull.

Figura 36 Hoja Weibull

Estimation Point 10

Test Number 1	Article and Source 2	Sample Size N 6
Date 3	Type of Test 4	Shape $\hat{\beta}$ 7
Mean $\hat{\mu}$ 5		Characteristic life $\hat{\eta}$ 8
		Minimum Life $\hat{\gamma}$ 9

99.9
99
90



Fuente: Elaboración propia

- Numero de prueba.
- Máquina, sistema o componente a evaluar.
- Fecha.
- Tipo de test
- Tiempo de medio de fallas
- Tamaño de la muestra.
- Beta (B), es el parámetro de forma.
- Eta (η), parámetro de escala o vida característica.
- Gamma (Υ), parámetro de posición.
- Punto de referencia para graficar nuestras rectas en el gráfico, con este punto de referencia para hallar los valores correspondientes (Córdova, 2014).

Tabulamos los datos en una hoja de cálculo para hallar:

$$\text{Rango de la Mediana} = \frac{i-0.3}{n+0.4}$$

i: Numero de posición

n: Cantidad de Datos

$$\text{Confiabilidad de Weibull; } R(t) = e^{-\left(\frac{t-y}{n}\right)^B}$$

Para nuestra aplicación decidimos tabular los datos obteniendo lo siguiente:

Tabla 38 Datos de historial de sus respectivos mantenimientos a la grúa puente.

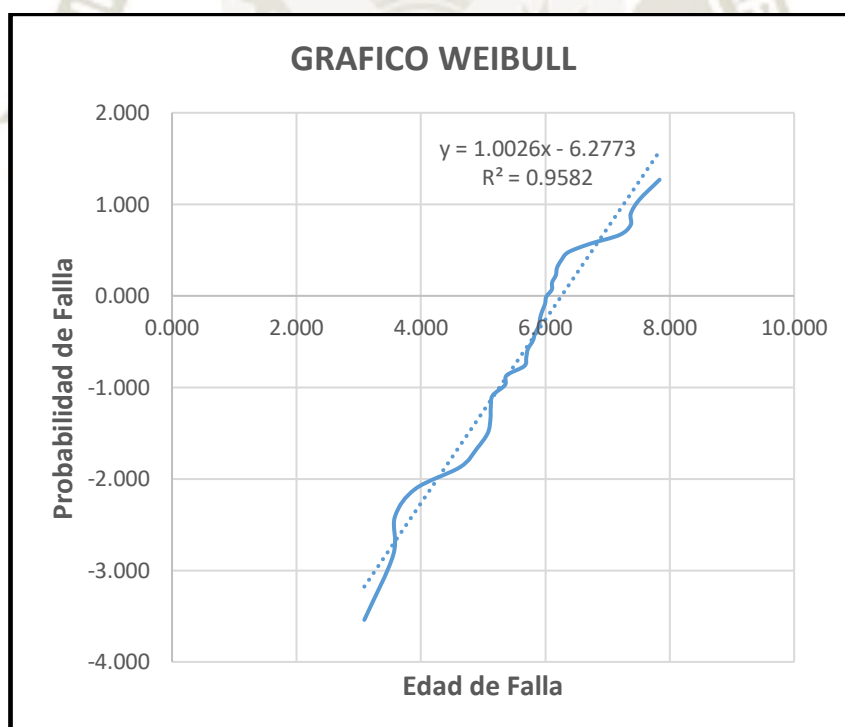
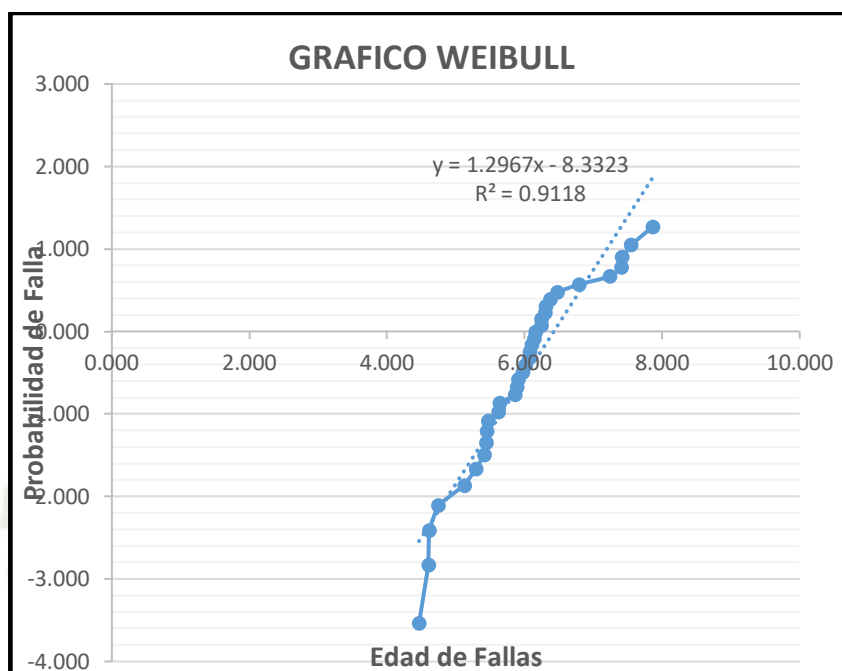
7
Componente/Ítem Mantenible
Reductor lateral Grúa 1
GXI187

ITEM	EDAD DE FALLAS (HR)	%F(t)	LN (t)	LN(LN(1/1-F(t)))	(t-Y)	LN(t-Y)	LN(LN(1/1-F(t)))
1	87	2.86%	4.466	-3.541	22	3.091	-3.541
2	100	5.71%	4.605	-2.833	35	3.555	-2.833
3	101	8.57%	4.615	-2.412	36	3.584	-2.412
4	115	11.43%	4.745	-2.109	50	3.912	-2.109
5	168	14.29%	5.124	-1.870	103	4.635	-1.870
6	199	17.14%	5.293	-1.671	134	4.898	-1.671
7	225	20.00%	5.416	-1.500	160	5.075	-1.500
8	232	22.86%	5.447	-1.349	167	5.118	-1.349
9	233	25.71%	5.451	-1.213	168	5.124	-1.213
10	238	28.57%	5.472	-1.089	173	5.153	-1.089
11	276	31.43%	5.620	-0.975	211	5.352	-0.975
12	282	34.29%	5.642	-0.868	217	5.380	-0.868
13	353	37.14%	5.866	-0.767	288	5.663	-0.767
14	362	40.00%	5.892	-0.672	297	5.694	-0.672
15	370	42.86%	5.914	-0.581	305	5.720	-0.581
16	395	45.71%	5.979	-0.493	330	5.799	-0.493
17	408	48.57%	6.011	-0.408	343	5.838	-0.408
18	430	51.43%	6.064	-0.326	365	5.900	-0.326
19	436	54.29%	6.078	-0.245	371	5.916	-0.245
20	449	57.14%	6.107	-0.166	384	5.951	-0.166
21	467	60.00%	6.146	-0.087	402	5.996	-0.087
22	475	62.86%	6.163	-0.010	410	6.016	-0.010
23	513	65.71%	6.240	0.068	448	6.105	0.068
24	515	68.57%	6.244	0.146	450	6.109	0.146
25	543	71.43%	6.297	0.225	478	6.170	0.225
26	552	74.29%	6.314	0.306	487	6.188	0.306
27	587	77.14%	6.375	0.389	522	6.258	0.389
28	648	80.00%	6.474	0.476	583	6.368	0.476
29	889	82.86%	6.790	0.567	824	6.714	0.567
30	1397	85.71%	7.242	0.666	1332	7.194	0.666
31	1657	88.57%	7.413	0.774	1592	7.373	0.774
32	1660	91.43%	7.415	0.899	1595	7.375	0.899
33	1897	94.29%	7.548	1.052	1832	7.513	1.052
34	2596	97.14%	7.862	1.268	2531	7.836	1.268

Fuente: Elaboración propia

Graficamos en el diagrama Weibull tiempo de falla vs F(t) para obtener los otros valores y determinar la estrategia de mantenimiento.

Figura 37 Gráfica de puntos y estimación de parámetros en hoja Weibull.



Fuente: Elaboración propia

Obtenemos los parámetros de Weibull como son: $\beta = 1.00$; $\Upsilon = 65$ Horas, $\eta = 588.70$ horas, MTBF = 588.06 horas.

β	1.297			β	1.003	
η	617.60			η	588.70	HORAS
γ	0			γ	65	HORAS
R	0.9549			R	0.9789	
R IDEAL	1			R IDEAL	1	
DELTA R	0.0451			DELTA R	0.0211	
$1+1/\beta$	1.7712				1.9974	
MTBF	570.69				588.06	HORAS

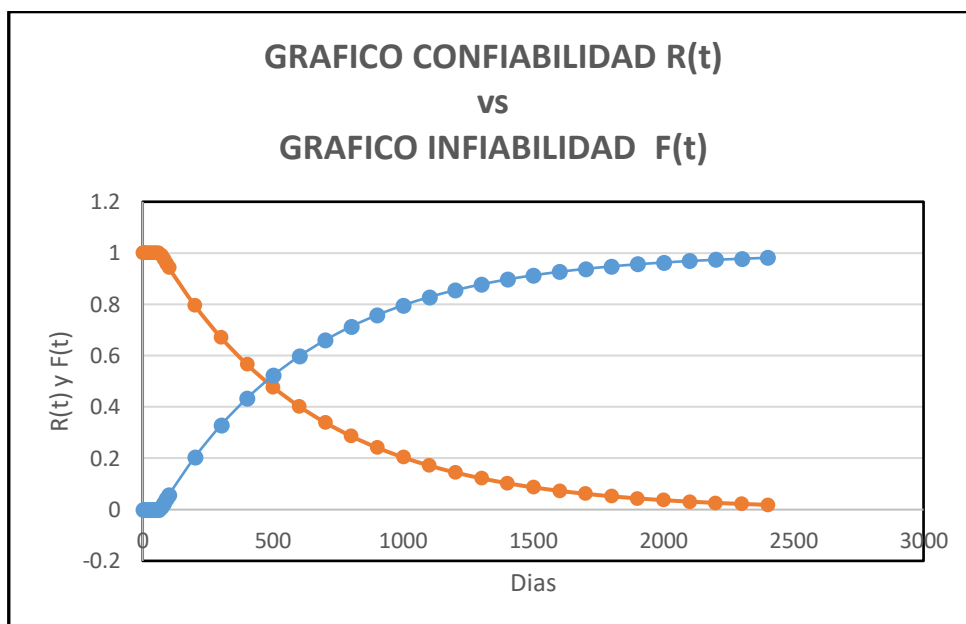
Tabulamos y graficamos nuestra curva de confiabilidad y infiabilidad

Tabla 39 Tabulación de confiabilidad y infiabilidad

ITEM	TIEMPO (Días)	CALCULO EXPONENTE	CONFIABILIDAD R(t)	INFIABILIDAD F(t)
1	0		1.0000	0.0000
2	10		1.0000	0.0000
3	20		1.0000	0.0000
4	30		1.0000	0.0000
5	40		1.0000	0.0000
6	50		1.0000	0.0000
7	60		1.0000	0.0000
8	70	0.00837266	0.9917	0.0083
9	80	0.02520089	0.9751	0.0249
10	90	0.04206589	0.9588	0.0412
11	100	0.05895173	0.9428	0.0572
12	200	0.22830796	0.7959	0.2041
13	300	0.39808641	0.6716	0.3284
14	400	0.5680888	0.5666	0.4334
15	500	0.73824584	0.4780	0.5220
16	600	0.90852132	0.4031	0.5969
17	700	1.07889288	0.3400	0.6600
18	800	1.24934529	0.2867	0.7133
19	900	1.41986749	0.2417	0.7583
20	1000	1.59045113	0.2038	0.7962
21	1100	1.7610896	0.1719	0.8281
22	1200	1.93177762	0.1449	0.8551
23	1300	2.10251083	0.1221	0.8779
24	1400	2.27328555	0.1030	0.8970
25	1500	2.44409869	0.0868	0.9132
26	1600	2.61494758	0.0732	0.9268
27	1700	2.78582988	0.0617	0.9383
28	1800	2.95674356	0.0520	0.9480
29	1900	3.12768681	0.0438	0.9562
30	2000	3.29865803	0.0369	0.9631
31	2100	3.46965576	0.0311	0.9689
32	2200	3.64067872	0.0262	0.9738
33	2300	3.81172572	0.0221	0.9779
34	2400	3.98279568	0.0186	0.9814

Fuente: Elaboración propia

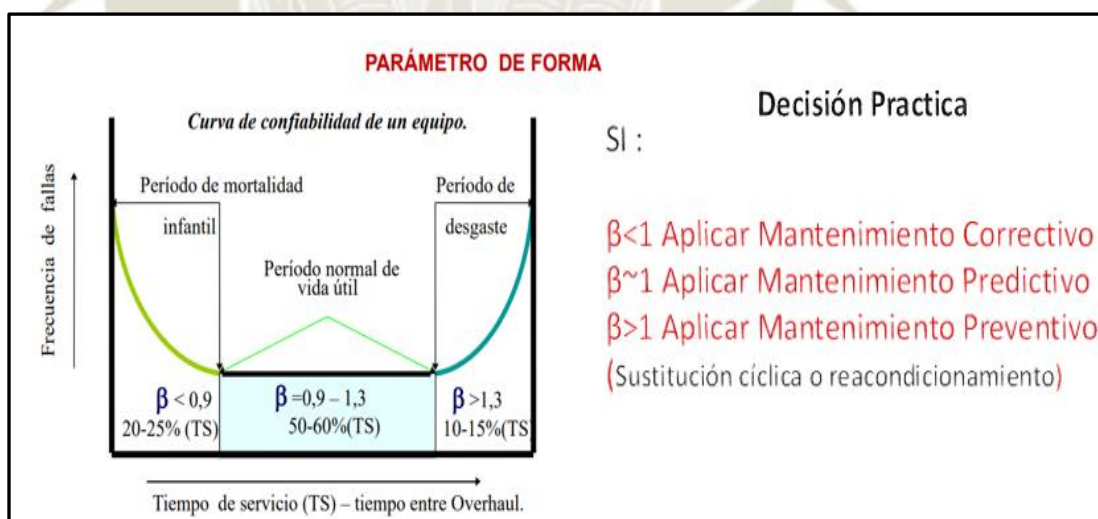
Figura 38 Curva de confiabilidad y probabilidad de fallo.



Fuente: Elaboración Propia

Además de la curva de la bañera tenemos:

Figura 39 Curva de la bañera. Tasa de fallos.



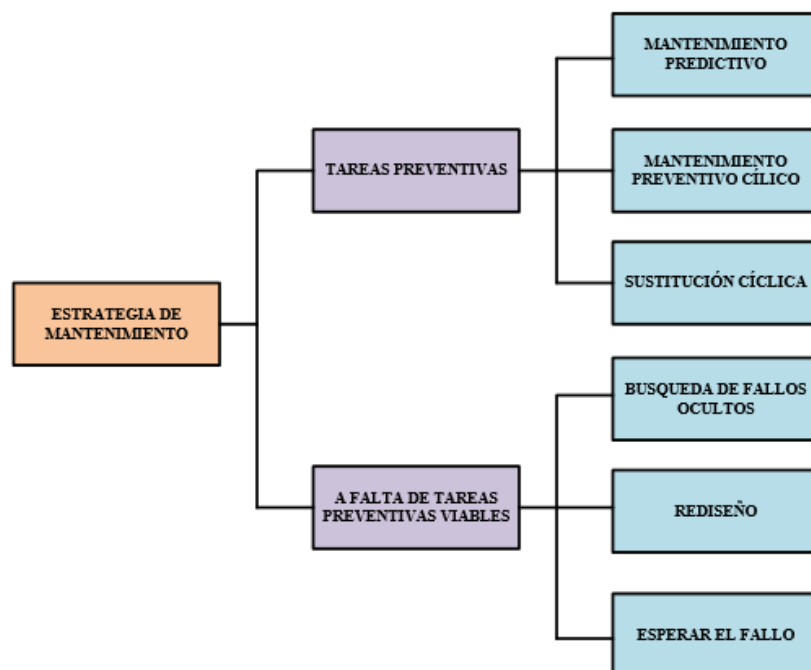
Fuente: Elaboración propia

Nuestro $\beta > 1$ la decisión práctica es aplicar mantenimiento preventivo. Con esta información podemos armar nuestro plan de mantenimiento.

5.7. PLAN ESTRATÉGICO DE MANTENIMIENTO

De acuerdo al análisis realizado en los ítems anteriores de AMEF realizamos nuestra propuesta de plan estratégico de mantenimiento

Figura 40 Estrategias de gestión de mantenimiento



Fuente: Parra, 2014

TABLA 40 Plan de mantenimiento Proactivo Sistema Traslacion del Puente Grúa

[illegible]

CONCLUSIONES

- Con la aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad se diseñó un plan de mantenimiento proactivo para la grúa puente, perteneciente a la Empresa San Martín Contratistas Generales S.A.
- Para cumplir nuestros objetivos planteados es necesario llevar un seguimiento estricto del plan de mantenimiento implementado, para esto es recomendable evaluar el proceso, después de ello analizar a detalle cuántos factores interactúan e impactan en la implementación del RCM.
- En la empresa tiene indicadores de gestión definidos es necesario comparar con otras empresas de mismo rubro para así realizar una mejora continua y eliminación de riesgos en la operación y así investigar las variaciones del antes y después de la implementación del RCM a dicho activo físico.
- Por medio del Análisis de Modos y Efectos de Fallas, se pudo identificar cada una de las funciones de los sistemas con sus correspondientes fallas de función, modos de fallas y efecto de falla, permitiendo posteriormente el análisis de las consecuencias de las fallas y la selección de las tareas de mantenimiento.
- El análisis de RCM al sistema crítico de la grúa puente permitió que las actividades no planificadas bajó las cuales se realizaban las labores de mantenimiento, pasaran a ser actividades planificadas con un 76 % de actividades proactivas y un 24 % de actividades correctivas.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar estrictamente con la aplicación del RCM en todas las actividades realizadas por la empresa, para poder mantener y superar la mínima disponibilidad mecánica en el puente grúa y demás equipos de la empresa.
- Se recomienda programar las capacitaciones y charlas a los integrantes nuevos que ingresen a la empresa y explicarles el objetivo del mantenimiento centrado en la confiabilidad y así poder mejorar la disponibilidad de los equipos.
- Se recomienda evaluar constantemente las fallas críticas y así poder evitar las paradas inesperadas, manteniendo siempre actualizado el historial de los equipos, reduciendo así los costos de mantenimiento



BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, J. (2003). *Ingeniería de Confiabilidad*. Costa Rica: Tecnológica de Costa Rica.
- Andreani, A. (2009). *Ingeniería y Gestión de Confiabilidad Operacional en Plantas Industriales*. Chile: Ril Editores Santiago de Chile.
- Aragon Peñarrieta, V. J. (2017). *Diseño de un sistema de mantenimiento para equipos móviles para la empresa transportes fuentes Operador Logístico S.R.L.* 2016. Arequipa.
- Ardila, G., & Mantilla, J. (2008). *Diseño de la estrategia de mantenimiento basada en Rcm*. Bucaramanga:
https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/131/digital_15507.pdf?isAllowed=y&sequence=1.
- Benito Alberto, S. (2016). *Diseño de un plan de mantenimiento mediante metodología RCM para una línea de valorización de PEBD*.
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/30282/fichero/Dise%C3%B1o+de+un+plan+de+mantenimiento+mediante+metodolog%C3%ADa+RCM+para+una+l%C3%ADnea+de+valorizaci%C3%B3n+de+PEB.pdf>.
- Cáceres Malpica, C. D. (2016). *La aplicación del rcm para mejorar la disponibilidad mecanica de la maquina secadora circular 2400x de la empresa cooperacion Jarcon S.A.C.* Huancayo:
<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1645/TESIS%20-C%c3%a1ceres%20Malpica%2c%20Claude%20Derrick.pdf?isAllowed=y&sequence=1>.
- Campos Barrientos, J. (2019). *"Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)"*. Lima.
- Castrejón. (2012). *Taller Criticidad Fmeca*. <https://es.scribd.com/doc/131723812/Taller-Criticidad-Fmeca-2012>.
- Córdova. (2014). *Weibull Metodo Grafico - Ejemplo sencillo*. Obtenido de Confiando en la Ingenieria: <http://confiandoenlaingenieria.blogspot.com/2014/04/weibull-metodo-grafico-ejemplo-sencillo.html>

=La+fiabilidad+es+la+probabilidad+de+que+un+aparato+o+dispositivo+trabaje+correcta
mente+durante+un+tiempo+determinado+y+en+las+condiciones+de+servicio+que
+se+encuentre.+La+fiabilidad+no+.

Da Costa Burga, M. (2010). *APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD A MOTORES A GAS DE DOS TIEMPOS EN POZOS DE ALTA PRODUCCION*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Durán, F. (2000). *ISO_14224 Norma Internacional*.

<https://es.scribd.com/doc/45285559/ISO-14224>.

García Pedraza, L. (2019). *La fiabilidad en la técnica agrícola. Generalidades y problemas resueltos*. <https://www.monografias.com/trabajos94/fiabilidad-tecnica-agricola-generalidades-y-problemas-resueltos/fiabilidad-tecnica-agricola-generalidades-y-problemas-resueltos.shtml>.

Gómez Espejo, B. R. (2011). *PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN TECNOLOGÍA RCM PARA EL AREA DE SERVICIO DE LA EMPRESA CARGILL DE VENEZUELA S.R.L PLANTA CATIA LA MAR*. Universidad Simón Bolívar.

Guzmán Charrasqui, C. A. (2013). *Plan De Análisis De Modos / Efectos De Falla Y Plan De Mantenimiento Para Una Máquina Industrial Lavadora De Prendas*. Santiago De Cali: Universidad Autonoma De Occidente Facultad De Ingenieria Departamento De Energetica Y Mecanica Programa De Ingenieria Mecanica.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, L. (2003). *Metodología de la Investigación*. México: Mc Graw Hill.

Huerta Mendoza. (2000). *El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional // Criticality analysis , a methodology to improve the operational reliability*.

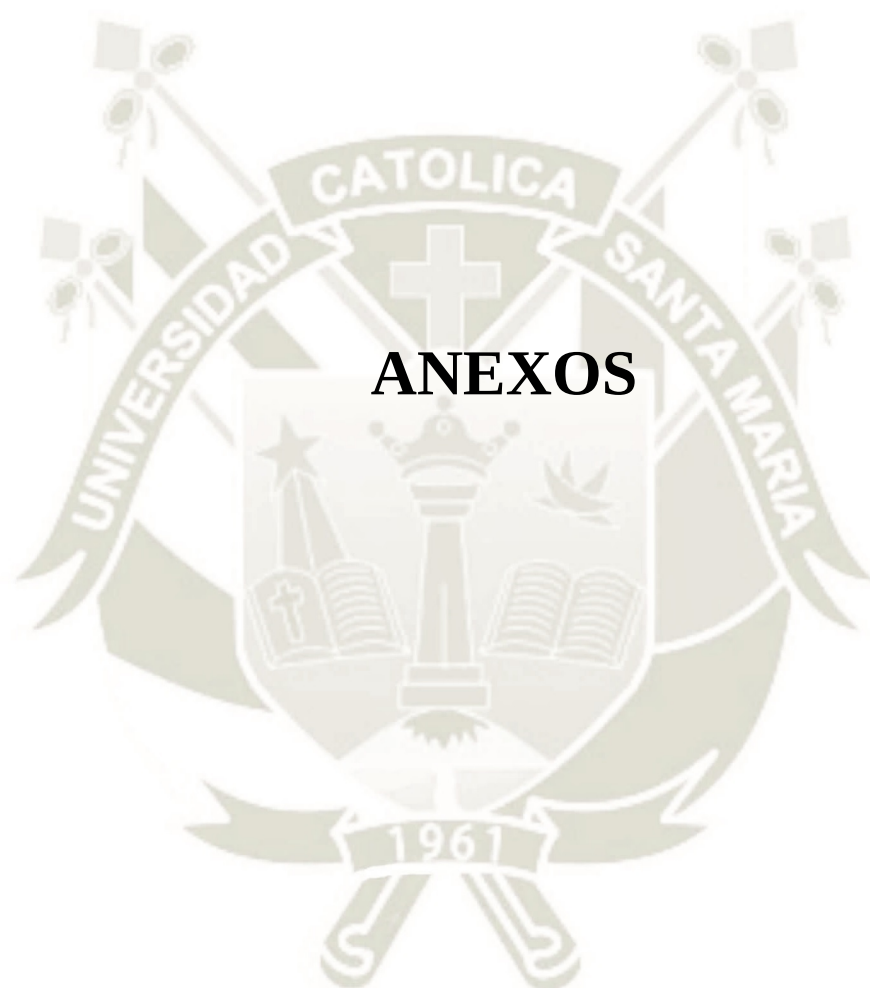
<http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/view/364>.

Ingenieria del mantenimiento.blogspot.com. (2016). *IRIM - Instituto RENOVETEC de Ingeniería del Mantenimiento*.

<http://ingenieriadelmantenimiento.blogspot.com/2016/03/ejemplo-de-arbol-jerarquico-de-activos.html?showComment=1508973779622>.

- Integra Markets. (2017). *Gestion y Planificacion del Mantenimiento Industrial*.
<https://es.slideshare.net/gafpe/gestion-y-planificacion-del-mantenimiento-industrial>.
- Lopez Chiotti, R. E. (2018). *Aplicacion de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la productividad de la maquinaria pesada portuaria en la empresa apm terminal, Callao 2017*.
http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/23263/Lopez_CRE.pdf?sequen
=.
- Macián Martínez, V., Tormos Martínez, B., Peidro Barrachina, J., & Olmeda González, P. (2002). *Mantenimiento de Motores Diesel*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Marín Alcaide, J. R. (2013). *Diseño de un plan de mantenimiento mediante metodología rcm para una máquina de desmoldeo de queso fresco*.
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/30182/direccion/Dise%F1o+de+un+plan+de+mantenimiento+mediante+metodologia+RCM+para+una+m%E1quina+de+desmoldeo+de+queso+fresco.pdf%252F>.
- Martinez, J. (2017). *Rcm Mantenimineto Y Confiabilidad*.
<https://es.slideshare.net/JorgeMartinez589/4-rcm-mantenimineto-y-confiabilidad>.
- Mora, G. (2003). *Matenimiento, Planeación, Ejecución y Control*. México: Alfa Omega.
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Segunda Edición*. Argentina: Bidles Ltd.
- Navas. (2012). *desarrollo e implementacion de un sistema de gestion de mantenimiento centrado en confialidad para una empresa manufacturera de fideos*. Quito:
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7794/1/CD-4089.pdf>.
- Ñaupas, P., Mejía, E., Novoa, E., & Villagómez, A. (2013). *Metodología de Investigación Científica Elaboración de Tesis*. Perú: Printed in Perú.
- Palomares Quintanilla, E. D. (2015). *Implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (Rcm) al sistema de izaje mineral, de la compañía minera milpo, unidad "el porvenir*. Lima:
http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/3214/1/palomares_qe.pdf.

- Parra, C., Márquez, A., & Crespo, M. (2012). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos. Primera Edición*. Argentina: Ingeman.
- Patrick, C., & O'Connor, J. (1991). *Ingeniería de Confiabilidad Práctica. Cuarta Edición*. España.
- Peres, C. M. (1997). *Camino hacia el RCM-Mantenimiento centrado en Confiabilidad*. SOPORTE&CIA.LTDA.
- Pérez. (2019). *Atención al cliente*. <https://www.monografias.com/trabajos95/atencion-cliente-empresa/atencion-cliente-empresa.shtml>.
- Sirena A., g., Suárez P., R., & Ascencio V., M. (2009). *IMPLEMENTACIÓN DEL RCM EN EL PLANEAMIENTO Y GESTIÓN ESTRATÉGICA DEL ÁREA DE MANTENIMIENTO DE LA EMPRESA DE TRANSPORTES HAGEMSA S.A.C.* Perú: TECSUP.
- Tejada Berno, M. A., Larico Puño, Y., Rosas Saldarriaga, A. F., Mandujano Zegarra, D. A., Leon Acosta, S., & Cornejo Coaguila, L. (2019). *Proyecto:diseño de puente grúa de 6 toneladas*. <https://www.coursehero.com/file/46140802/grua-puentedocx/>.
- Tovar, G. (2005). *Fundamentos del Análisis de Falla*. Colombia: Prentice Hall.
- Vasquez Oyarzún, D. E. (2008). *Aplicacion del mantenimiento centrado en la confiabilidad rcm en motores detroit 16v-149ti en codelco division andina*. Valdivia: <https://docslide.es/documents/arbol-de-decisiones-rcm.html>.



ANEXOS

ANEXO 01:
ACTIVOS FÍSICOS EMPRESA SAN
MARTÍN CONTRATISTAS
GENERALES S.A.

TABLA: ACTIVOS FISICOS DE LA EMPRESA SAN MARTIN CONTRATISTAS GENERALES S.A

ITEM	NOMBRE DEL EQUIPO	MARCA	MODELO	CANT	CRITICIDAD
1	CAMION FUERA DE CARRETERA	CATERPILLAR	775F	20	1
2	CAMION FUERA DE CARRETERA	CATERPILLAR	777F	44	1
3	CAMION FUERA DE CARRETERA	CATERPILLAR	785C	22	1
4	CAMION FUERA DE CARRETERA	CATERPILLAR	785D	40	1
5	CAMION FUERA DE CARRETERA	CATERPILLAR	793C	2	1
6	CAMION FUERA DE CARRETERA	CATERPILLAR	793D	1	1
7	CAMION FUERA DE CARRETERA	KOMATSU	HD 1500-7	69	1
8	CARGADOR FRONTAL	CATERPILLAR	150H	4	2
9	CARGADOR FRONTAL	CATERPILLAR	236B	4	2
10	CARGADOR FRONTAL	CATERPILLAR	236B3	4	2
11	CARGADOR FRONTAL	JCB	467ZX	4	2
12	CARGADOR FRONTAL	JOHN DEERE	624K	1	2
13	CARGADOR FRONTAL	JOHN DEERE	644K	4	2
14	CARGADOR FRONTAL	JOHN DEERE	744K	5	2
15	CARGADOR FRONTAL	JHON DEERE	744K-II	3	2
16	CARGADOR FRONTAL	CATERPILLAR	950H	1	2
17	CARGADOR FRONTAL	CATERPILLAR	962H	7	2
18	CARGADOR FRONTAL	CATERPILLAR	966H	36	2
19	CARGADOR FRONTAL	CATERPILLAR	980G	4	2
20	CARGADOR FRONTAL	CATERPILLAR	980H	5	2
21	CARGADOR FRONTAL	CATERPILLAR	988H	5	2
22	CARGADOR FRONTAL	CATERPILLAR	992G	1	2
23	CARGADOR FRONTAL	CATERPILLAR	992K	2	2
24	CARGADOR FRONTAL	CATERPILLAR	994F	4	2
25	CARGADOR FRONTAL	DOOSAN	DL420A	4	2
26	CARGADOR FRONTAL	VOLVO	L120F	4	2
27	CARGADOR FRONTAL	VOLVO	L150F	2	2
28	CARGADOR FRONTAL	VOLVO	L150G	5	2

TABLA: ACTIVOS FISICOS DE LA EMPRESA SAN MARTIN CONTRATISTAS GENERALES S.A

ITEM	NOMBRE DEL EQUIPO	MARCA	MODELO	CANT	CRITICIDAD
29	CARGADOR FRONTAL	VOLVO	L150H	8	2
30	CARGADOR FRONTAL	NEW HOLLAND	L223	8	2
31	CARGADOR FRONTAL	LIEBHERR	L566	8	2
32	CARGADOR FRONTAL	KOMATSU	WA-470	3	2
33	CARGADOR FRONTAL	KOMATSU	WA-500	10	2
34	RODILLO	CATERPILLAR	CS-533E	3	2
35	EXCAVADORA	CATERPILLAR	340	3	2
36	EXCAVADORA	CATERPILLAR	140W-S	4	2
37	EXCAVADORA	JOHN DEERE	310SK	4	2
38	EXCAVADORA	JOHN DEERE	310SL	12	2
39	EXCAVADORA	CATERPILLAR	320D2L	8	2
40	EXCAVADORA	CATERPILLAR	336DL	38	2
41	EXCAVADORA	CATERPILLAR	349DL	2	2
42	EXCAVADORA	JOHN DEERE	350G	8	2
43	EXCAVADORA	CATERPILLAR	374DL	12	2
44	EXCAVADORA	CATERPILLAR	374FL	9	2
45	EXCAVADORA	CATERPILLAR	385CL	3	2
46	EXCAVADORA	CATERPILLAR	390DL	3	2
47	EXCAVADORA	CATERPILLAR	390FL	3	2
48	EXCAVADORA	JCB	3C	7	2
49	EXCAVADORA	CATERPILLAR	420E	4	2
50	EXCAVADORA	CATERPILLAR	420F	7	2
51	EXCAVADORA	CATERPILLAR	420F2	5	2
52	EXCAVADORA	CATERPILLAR	420F2-BE	3	2
53	EXCAVADORA	DOOSAN	DX340LCA	4	2
54	EXCAVADORA	DOOSAN	DX-700LC	2	2
55	EXCAVADORA	CATERPILLAR	EC210BL	4	2
56	EXCAVADORA	CATERPILLAR	EC380BL	4	2

TABLA: ACTIVOS FISICOS DE LA EMPRESA SAN MARTIN CONTRATISTAS GENERALES S.A

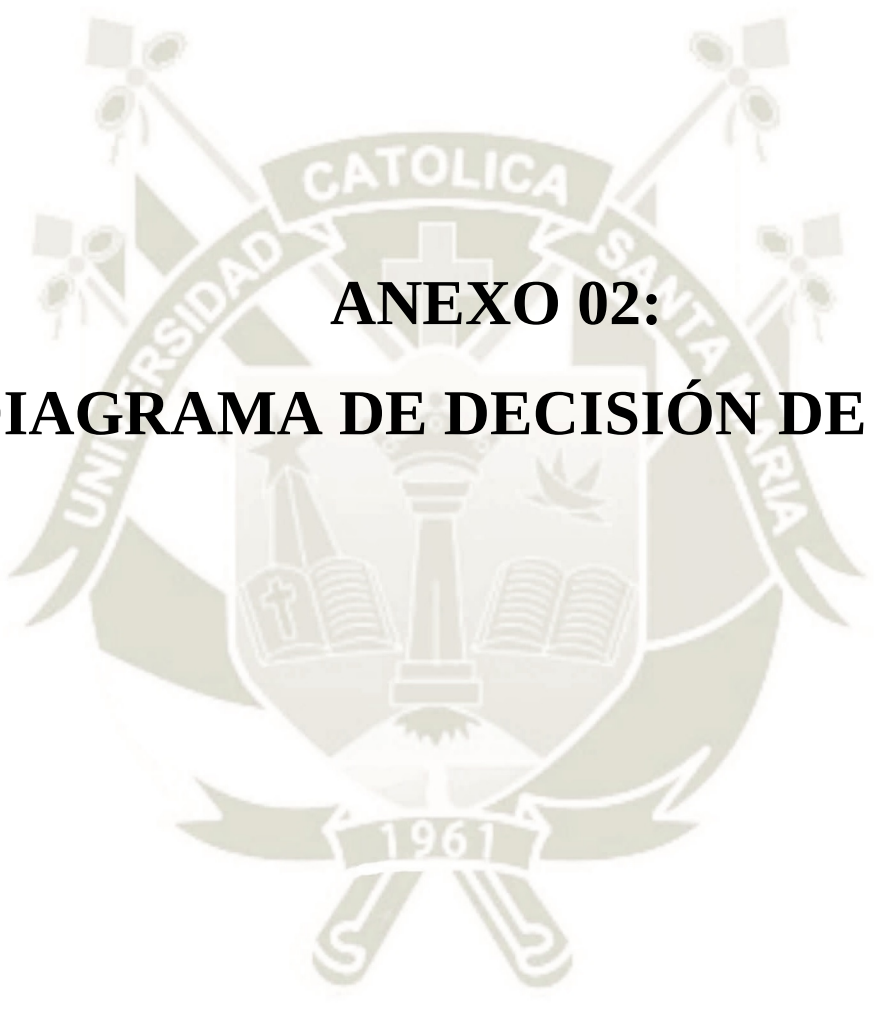
ITEM	NOMBRE DEL EQUIPO	MARCA	MODELO	CANT	CRITICIDAD
57	EXCAVADORA	VOLVO	EC380DL	14	2
58	EXCAVADORA	KOMATSU	PC 450 LC-8	3	2
59	EXCAVADORA	KOMATSU	PC350LC-8	14	2
60	EXCAVADORA	HYUNDAI	R300LC-9S	7	2
61	EXCAVADORA	HYUNDAI	R380LC	8	2
62	EXCAVADORA	HYUNDAI	R520LC-9S	8	2
63	EXCAVADORA	LIEBHERR	R916	2	2
64	EXCAVADORA	HYUNDAI	ROBEX 500 LC	4	2
65	EXCAVADORA	KOMATSU	WB97R-5EO	3	2
66	MOTONIVELADORA	CATERPILLAR	140H	3	3
67	MOTONIVELADORA	CATERPILLAR	140K	16	3
68	MOTONIVELADORA	CATERPILLAR	140M	4	3
69	MOTONIVELADORA	CATERPILLAR	160H	4	3
70	MOTONIVELADORA	WACKER	160K	9	3
71	MOTONIVELADORA	JOHN DEERE	670G	3	3
72	MOTONIVELADORA	VOLVO	G940	4	3
73	MOTONIVELADORA	KOMATSU	GD555-5	2	3
74	MOTONIVELADORA	KOMATSU	GD655-3EO	2	3
75	PALA FRONTAL	CATERPILLAR	6040FS	12	1
76	PALA FRONTAL	CATERPILLAR	6050FS	4	1
77	PALA FRONTAL	O&K	RH120E FS	4	1
78	PALA FRONTAL	TEREX	RH90C 800	4	1
79	PERFORADORA	DITCH WITCH	AT42M1	1	1
80	PERFORADORA	DRILTECH MISSION	D75KS	12	1
81	PERFORADORA	INGERSOLL RAND	DM-45E	9	1
82	PERFORADORA	ATLAS COPCO	DM45HP	2	1
83	PERFORADORA	ATLAS COPCO	DML	16	1
84	PERFORADORA	ATLAS COPCO	DML-HP	2	1

TABLA: ACTIVOS FISICOS DE LA EMPRESA SAN MARTIN CONTRATISTAS GENERALES S.A

ITEM	NOMBRE DEL EQUIPO	MARCA	MODELO	CANT	CRITICIDAD
85	PERFORADORA	SANDVIK	DP-1100	4	1
86	PERFORADORA	SANDVIK	DR 460	4	1
87	PERFORADORA	SANDVIK	DX700	16	1
88	PERFORADORA	SANDVIK	DX800	6	1
89	PERFORADORA	JOHN DEERE	JD-1400E	4	1
90	PERFORADORA	JUNJIN	JD-2000	3	1
100	PERFORADORA	JOHN DEERE	JE2000	3	1
101	PERFORADORA	ATLAS COPCO	ROC L8	3	1
102	PERFORADORA	SOOSAN	STD 14E	2	1
103	RODILLO	HITACHI	3411	8	1
104	RODILLO	HAMM	3520HT	3	3
105	RODILLO	BOMAG	BW120	4	3
106	RODILLO	BOMAG	BW211D-40	11	3
107	RODILLO	BOMAG	BW219DH-4	2	3
108	RODILLO	BOMAG	BW226 DI-4 BVC	1	3
109	RODILLO	CATERPILLAR	CB 534D 5	4	3
110	RODILLO	DYNAPAC	CC1200	8	3
111	RODILLO	CATERPILLAR	CS533E	3	3
112	RODILLO	CATERPILLAR	CS54B	5	3
113	RODILLO	CATERPILLAR	CS56	3	3

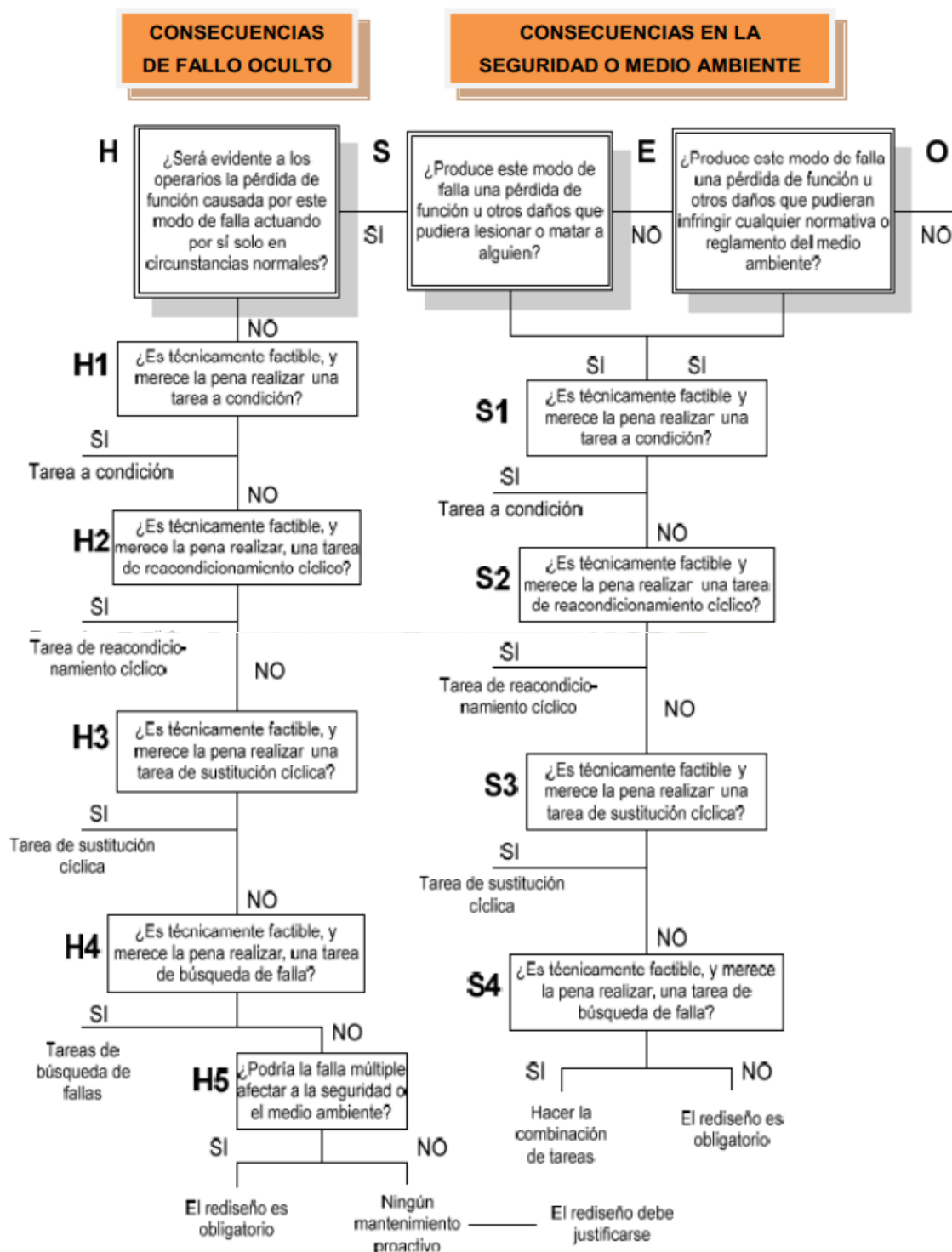
TABLA: ACTIVOS FISICOS DE LA EMPRESA SAN MARTIN CONTRATISTAS GENERALES S.A

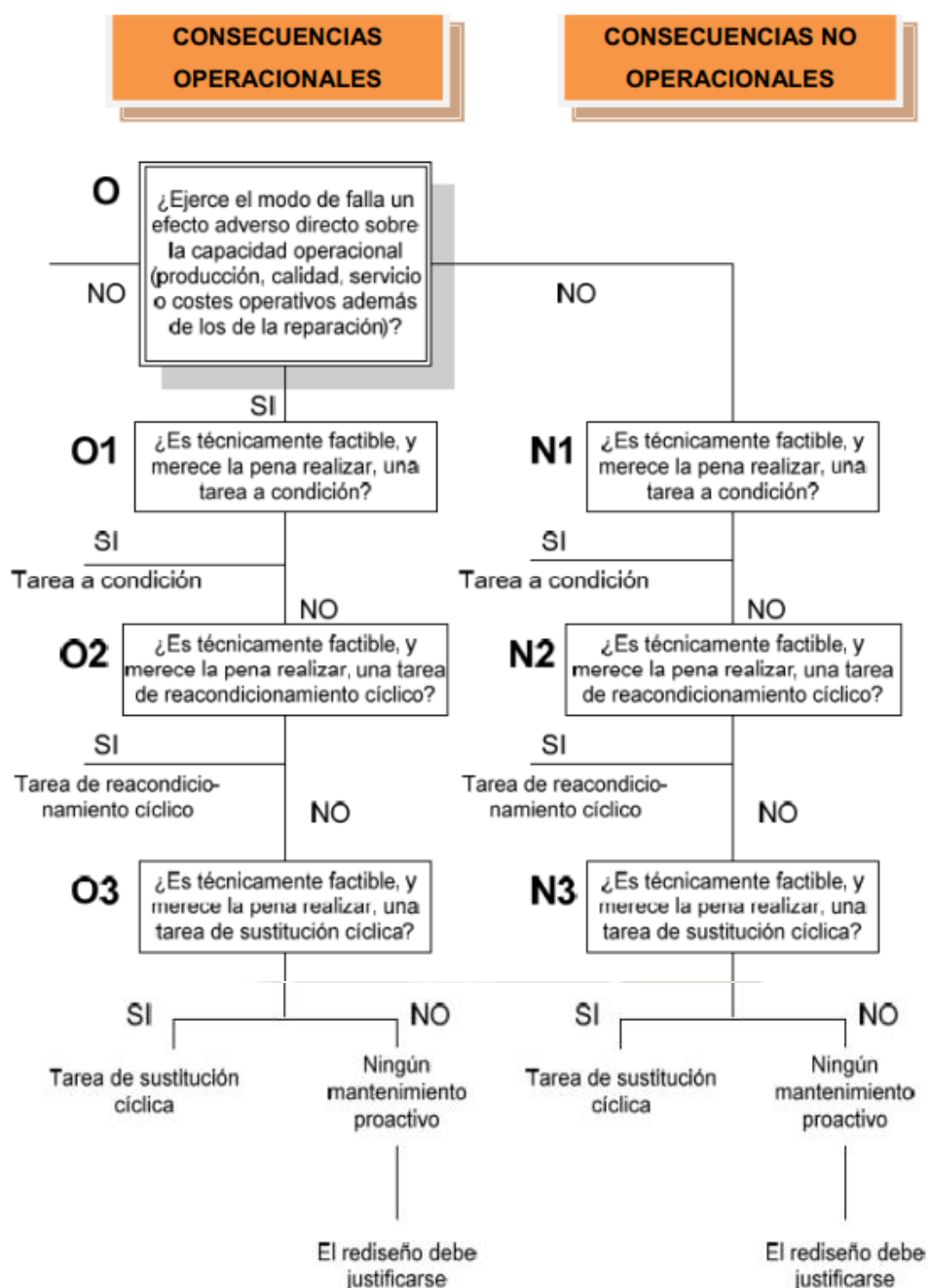
ITEM	NOMBRE DEL EQUIPO	MARCA	MODELO	CANT	CRITICIDAD
114	RODILLO	HAMM	GRW 280-24	4	3
115	RODILLO	3411	HAMM	2	3
116	RODILLO	WACKER NEUSON	RD27 - 120	4	3
117	RODILLO	JCB	VM115	2	3
118	TRACTOR	KOMATSU	D65-AX-16	3	2
119	TRACTOR	KOMATSU	D65EX	11	2
120	TRACTOR	KOMATSU	D65X	3	2
121	TRACTOR	CATERPILLAR	D6T	19	2
122	TRACTOR	CAT	D8R	8	2
123	TRACTOR	CATERPILLAR	D8T	50	2
124	TRACTOR	CATERPILLAR	D9T	6	2
125	VOLQUETE	MERCEDES BENZ	ACTROS 3344K	50	2
126	VOLQUETE	MERCEDES BENZ	ACTROS 4143K	4	2
127	VOLQUETE	MERCEDES BENZ	ACTROS 4144K	114	2
128	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6X4	45	2
129	VOLQUETE	VOLVO	FMX 6X4R	52	2
130	VOLQUETE	SCANIA	P420 B6X4	1	2
131	VOLQUETE	SCANIA	P460CB6X4EHZ	10	2
132	VOLQUETE	VOLVO	FM 6X4R	39	2
133	VOLQUETE	VOLVO	FH 6X4 T	3	2
134	PUENTE GRUA	POTAIN	MCI85A	1	1
135	PUENTE GRUA	POTAIN	MCI85A	1	1
136	TORNO MECANICO	REXON	M1589	2	2
137	FRESADORA HORIZONTAL	HELLER	FU1120/1250	2	2
138	MAQUINA HERRAMIENTA CNC	DOOSAN	5623D410	1	2
139	ESMERILES	BLCK DEKER	DK1020	5	2
140	DOBLADORA	BAILEIGH	BK5610	1	2
141	MAQUINAS DE SOLDAR	LINCOLN ELECTRIC	LE1989	5	2
142	MAQUINAS DE SOLDAR TIG	ESAB	2020/2050	3	2



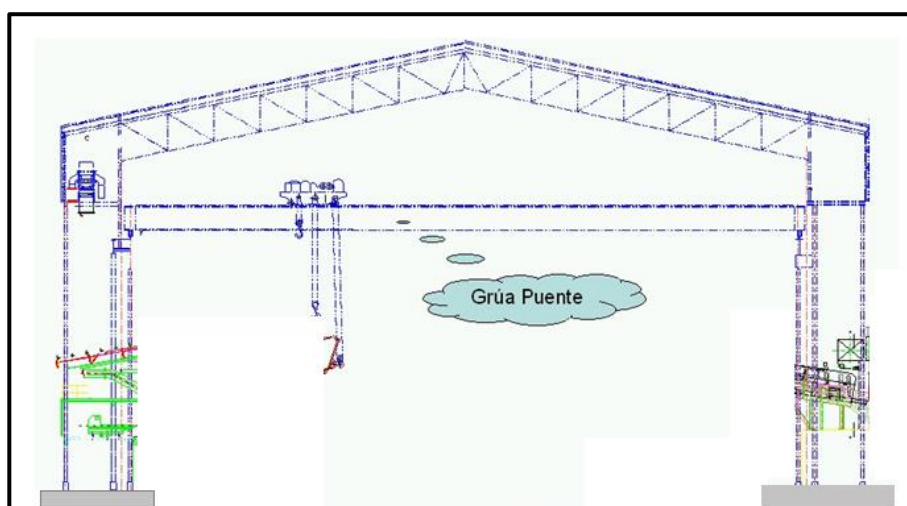
ANEXO 02:

DIAGRAMA DE DECISIÓN DE RCM

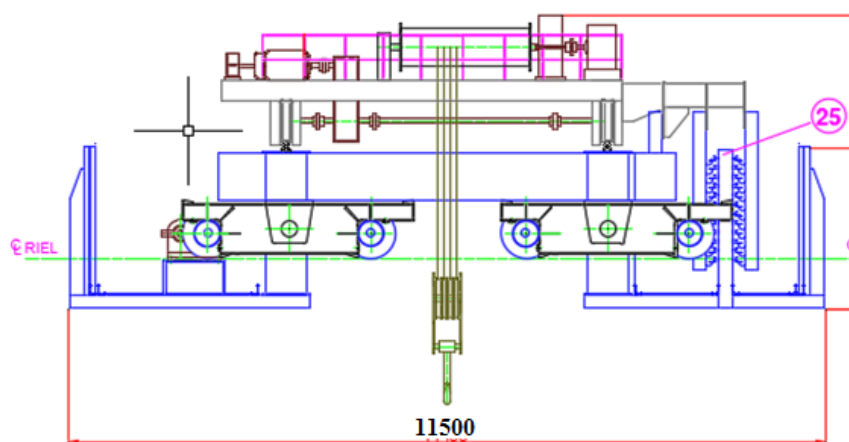




ANEXO 03:
GRÚA PUENTE DE 15 TON



VISTA LATERAL



VISTA FOTOGRAFICA N° 1

PUENTE GRUA 15 TON EMPRESA SAN MARTIN CONTRATISTAS GENERALES S.A.



Fuente: Elaboración propia

VISTA FOTOGRAFICA N° 2

PUENTE GRUA 15 TON EMPRESA SAN MARTIN CONTRATISTAS GENERALES S.A.



Fuente: Elaboración propia

VISTA FOTOGRAFICA N° 3

PUENTE GRUA 15 TON EMPRESA SAN MARTIN CONTRATISTAS GENERALES S.A



Fuente: Elaboración propia