



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Contaduría y Administración
Maestría en Administración

GESTIÓN DE MANTENIMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA CENTRADO EN LA
CONTABILIDAD (RCM) EN LAS GRUAS DE PÓRTICO DE LA TERMINAL PORTUARIA DE
CONTENEDORES LÁZARO CARDENAS (LCTPC).

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestro en Administración

Presenta:

Oscar Trujillo Gómez

Dirigido por:

M.I.I. Tiáloc Daniel Espinoza Huerta

SINODALES

M.I.I. Tiáloc Daniel Espinoza Huerta
Presidente

Dr. Crisógono de Santiago Guerrero
Secretario

Dr. Juan José Mendez Palacios
Vocal

M.A. Epigmenio Muñoz Guevara
Suplente

Dr. Juan Manuel Peña Aguilar
Suplente

Dr. Arturo Castañeda Olalde
Director de la Facultad de Contaduría y
Administración

Firma

Firma

Firma

Firma

Firma

Dr. Irineo Torres Pacheco
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Octubre, 2013
México.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE CONTADURÍA Y ADMINISTRACIÓN

**GESTIÓN DE MANTENIMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA
CERRADO EN LA CONTABILIDAD (RCM) EN LAS GRÚAS DE PÓRTICO
DE LA TERMINAL PORTUARIA DE CONTENEDORES LÁZARO
CÁRDENAS (LCTPC)**

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
**MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN CON ESPECIALIDAD
EN ALTA DIRECCIÓN**

PRESENTA:
OSCAR TRUJILLO GÓMEZ

Cd. Lázaro Cárdenas, Mich. Febrero 2014

RESUMEN

La presente investigación surge de la necesidad de mejorar el modelo implantado de la gestión de mantenimiento en las grúas de pórtico de la Terminal Portuaria de Contenedores Lázaro Cárdenas, en donde dicho modelo fue elaborado en base a la experiencia del personal que cuenta con muchos años de laborar en el entorno de la mantenibilidad de los equipos portuarios.

Durante años se ha venido trabajando y desarrollando mejoras en la gestión de mantenimiento con resultados positivos en cuanto a la seguridad y disponibilidad de los equipos.

La confiabilidad y costo son dos factores en el proceso de mantenimiento que se busca mejorar

En la investigación se pretende encontrar bases firmes en el modelo de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad que puedan ser implantadas en la proceso de mantenimiento de tal forma que sea un gran soporte de mejora en la disponibilidad, seguridad, confiabilidad y costo.

El proceso de mantenimiento esta dividido por preventivo y correctivo, ambos factores afectan la confiabilidad y costo de la grúas de pórtico, por lo cual el modelo de mantenimiento Centrado en la confiabilidad aportara mejoras de gestión en cada uno.

RCM en el proceso de preventivo aporta técnicas para cambiar la programación de las actividades en base a la vida útil de los componentes críticos de los sistemas críticos de las grúas, y la planificación de los periodos de inspección en base a los tiempos promedios entre fallas (TPF)

En el proceso de correctivo las técnicas aportadas por RCM se enfocan al análisis, criticidad y clasificación de las fallas que generan tiempos muertos operacionales, disminución de la confiabilidad del equipo e incremento de mantenimiento.

Los recursos humanos, materiales y financieros son los tres factores elementales considerados en la elaboración de este trabajo, , y con la implantación del modelo RCM se tendrá una mejor gestión en cada uno de ellos.

La implantación de RCM al dará como resultado una disminución del stock de refacciones e insumos en el almacén debido a que se tendrá mejor control sobre los máximos y mínimos, reduciendo también los costos de impuestos de almacenaje dando cumplimiento con estos puntos en la mejora de la confiabilidad y reducción de costos de mantenimiento en las grúas de pórtico.

Palabras Claves: Gestión, mantenimiento, grúas, pórtico, seguridad, mantenibilidad, confiabilidad, disponibilidad, preventivo, correctivo, costo, componentes, críticos, análisis, fallas, tiempo muerto, implantación.

SUMMARY

This research arises from the need to improve the management model implemented maintenance gantry cranes of the Container Port Lazaro Cardenas, where the model was developed based on the experience of the staff has many years of work in the vicinity of the port equipment maintainability first maneuver. For 7 years we have been working and developing improvements in maintenance management with positive results in terms of safety and equipment availability. More however the reliability and cost of maintenance is a very important point that is to improve the maintenance process

The research aims to find a firm foundation in the model of Reliability Centered Maintenance that can be implemented in the management of maintenance so that is a great support improved availability, security, reliability and maintenance costs. The maintenance process is divided by preventive and corrective factors affect both the reliability and cost of gantry cranes, so the model of reliability centered maintenance management bring improvements in each.

RCM in the process of providing preventive techniques to change the schedule of activities based on the life of critical components for critical systems cranes, planning and inspection periods based on the average time between failures (TPF) In the process of corrective techniques focus provided by RCM analysis and classification of faults that generate operational downtime, decreased equipment reliability and increased maintenance.

The human, material and financial resources are the three basic factors considered in the preparation of this work, and with the implementation of RCM model will have better management in each of them.

The implementation of RCM to will result in a decrease in the stock of spare parts and supplies in the store because they have better control over the maximum and minimum, while also reducing storage costs imposed in compliance with these points in improving reliability and reduced maintenance costs gantry cranes.

Keywords: Management, maintenance, cranes, portal, security, maintainability, reliability, availability, preventive, corrective, cost components, critical analysis, failures, downtime, implementation.

DEDICATORIAS

A mis hijos Oscar y Monserrat Trujillo González

A mi esposa, Ma. De Lourdes González Barragán.

A mis padres.

Por su apoyo incondicional en todo momento, gracias.

AGRADECIMIENTOS

A todos los docentes tanto de la universidad de Querétaro y del Instituto Tecnológico de Lázaro Cárdenas, que nos impartieron alguna materia, por la dedicación, entusiasmo y compromiso de darnos la mejor formación dentro y fuera de su espacio.

A mi casa de estudios, (ITLAC), por las facilidades que no brindaron durante esta nueva formación académica.

A mi director de tesis y colaboradores por la guía recibida para llegar al final

Gracias□ □ □ □ □ ..

INDICE

	Página
Resumen	i
Summary	ii
Dedicatorias	iii
Agradecimientos	iv
Índice	v
Índice de Tablas	xii
Índice de Figuras	ix
I Introducción	1
II Historia	7
CAPITULO 1	9
1.1 Antecedentes de LC Terminal Portuaria de Contenedores	9
CAPITULO 2	11
2 Grúas de pórtico Quay Crane	11
2.1 Grúas Quay Crane	12
2.2 Descripción de los sistemas principales	13
2.2.1 Sala de máquinas y sala eléctrica	14
2.2.2 Sistema de traslación	15
2.2.3 Carrete enrollador de alta tensión	16
2.2.4 Sistema mecánico de anclaje y anti huracanes	17
2.2.5 Sistema de hoist	18
2.2.6 Trim, List, Skew y protección de cable tenso	19

4.0 Gestión de mantenimiento en LCTPC	51
4.1 Mantenimiento preventivo	51
4.2 Gestión de mantenimiento actual	52
4.2.1 Software de mantenimiento Data Stream o Infor 10	53
4.2.2 Mantenimiento preventivo por fecha calendario	53
4.2.3 Mantenimiento preventivo por horometro	54
4.2.4 Proceso de mantenimiento preventivo	55
4.2.5 Tareas de mantenimiento	58
4.3 Gestión de seguridad	59
4.4 Inspección y rutinas de mantenimiento	66
4.5 Programación del mantenimiento preventivo	66
4.6 Indicadores de mantenimiento preventivo	68
4.6.1 Objetivo de los indicadores de mantenimiento	68
4.6.2 Indicadores utilizados en el departamento de mantenimiento	69
4.7 Mantenimiento correctivo	69
4.7.1 Mantenimiento correctivo no planificado	70
4.8 Mantenimiento correctivo planificado	71
4.8.1 Proceso de mantenimiento correctivo	72
4.9 Mantenimiento predictivo	73
4.9.1 Definición de mantenimiento predictivo	73
4.9.1.1 Ventajas del mantenimiento predictivo	73
4.9.1.2 Gestión actual de mantenimiento predictivo	74
4.10 Administración del recurso humano	76

4.10.1 Organigrama del departamento de mantenimiento	77
4.10.2 Descripción del puesto y responsabilidades	78
CAPITULO 5	79
5. La cultura de la confiabilidad	79
5.1 La Nueva era del mantenimiento	79
5.2 Definición de la Cultura de la Confiabilidad	79
5.2.1 Prioridad	80
5.2.2 Enfoque	81
5.2.3 Pro acción	81
5.3 Confiabilidad Operacional	84
5.4 Ingeniería de Confiabilidad en la Organización	89
5.4.1 Confiabilidad Humana	91
5.4.2 Estrategias de Confiabilidad humana	93
5.5 Nivel de confiabilidad de sus activos	96
CAPITULO 6	98
6. Introducción al RCM	98
6.1 La probabilidad de ocurrencia de fallas	101
6.2 Objetivos del RCM y la gestión de confiabilidad	102
6.3 Implementación práctica del RCM y gestión de confiabilidad	103
6.4 Diferentes tipos de RCM	104
6.5 Modelos de decisión	107
6.5.1 Estimación de la confiabilidad o la probabilidad de fallas	109
6.5.2 Estimación de las consecuencias	112

6.5.3 El Diagnóstico Integral en el Proceso de Confiabilidad	112
6.6 Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF □ FMEA)	113
6.7 Árbol lógico de decisión del RCM	116
6.7.1 Factibilidad Técnica	116
6.7.2 Efectividad	116
6.7.3 Aplicabilidad factibilidad económica	117
CAPITULO 7	118
7. Evaluación del proceso productivo	118
7.1 Análisis de la organización donde se implementara la metodología	118
7.2 Análisis de los activos o sistemas que tenga la organización	126
7.2.1 Clases de equipos	129
7.2.2 Sistemas	129
7.2.3 Sub sistemas	130
7.2.4 Ítem mantenible □ componente de detalle	130
7.2.5 Clasificación de las fallas. Modo de falla	130
7.3 Equipos de Trabajo	131
CAPITULO 8	133
8. Implantación del RCM	133
8.1 Funciones y los modelos ideales de rendimiento del recurso	134
8.1.1 Funciones	135
8.2 Fallas Funcionales	143
8.2.1 Falla Total y Parcial	145
8.2.2 Límites Superiores e Inferiores	146

Tabla 8.7.3 Formato de análisis de costo de riesgo beneficio □ □ □ □ □ □ 280

Tabla 10.1 Fallas y tiempos muertos 2010 y 2011 □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ . 281

INDICE DE FIGURAS

Figuras	Páginas
Figura 2.1.1 Grúa Panamax.....	196
Figura 2.1.2. Grúa Post Panamax.....	197
Figura 2.1.3 Super-Post Panamax.....	198
Figura 2.2.2. Trucks del sistema de gantry.....	199
Figura 2.2.3 Carrete enrollador de alta tensión.....	200
Figura 2.2.4 Sistema mecánico de anclaje y anti huracanes.....	201
Figura 2.2.5-A Sistema de Hoist.....	202
Figura 2.2.5-B Sistema de reenvío.....	203
Figura 2.2.6-A Trim, List, Skew y protección de cabe tenso.....	204
Figura 2.2.6-B sistema de snag.....	205
Figura 2.2.7 Sistema de pesaje.....	206
Figura 2.2.8-A Sistema de Brazo.....	207
Figura 2.2.8.B Sistema de reenvío de la pluma.....	208
Figura 2.2.9-A Sistema de Trolley.....	209
Figura 2.2.9-B Motor-Reductor Sistema de Trolley.....	210
Figura 2.2.9-C Sistema de reenvío de Trolley.....	211
Figura 2.2.10-A Sistema tensor de los cables del sistema de Trolley.....	212
Figura 2.2.10-B Sistema tensor de los cables del sistema de Trolley.....	213
Figura 2.2.11 Plataforma del carro.....	214
Figura 2.2.12 Cabina del operador.....	215

Figura 2.2.13 Grúa puente en sala de maquinas	216
Figura 2.2.14 Sistema de cambio de cable	217
Figura 2.2.15 Headblock/spreader	218
Figura 2.2.16-A Spreader telescopico	219
Figura 2.2.16-B Elementos del spreader	220
Figura 2.2.16-C Sistema hidráulico del spreader	221
Figura 2.2.16-D Sistema Telescópico del Spreader	222
Figura 2.2.16-E Twistlock del Spreader	223
Figura 2.2.16-F Flipper del Spreader	224
Figura 2.2.16-G Sistema Eléctrico Spreader	225
Figura 2.2.17 Pasillos y escaleras de acceso	227
Figura 3.3 Origen de las fallas	228
Figura 3.4 Curva de la bañera	229
Figura 3.6 El porqué del mantenimiento	230
Figura 4.2.4-A Solicitud de Equipo	231
Figura 4.3 Equipo de Protección Personal	232
Figura 4.10 Cronograma del Departamento de Mantenimiento LCTPC	243
Figura 5.3 Confiabilidad Operacional	244
Figura 5.4.1 Elementos de la Confiabilidad Humana	245
Figura 5.4.2 Estrategias de la Confiabilidad Humana	246
Figura 6.2-A Grafica de fallas	247
Figura 6.2.-B Patrones de fallas	248
Figura 6.3 Falla funcional	249

Figura 6.5-A Modelos de decisión	250
Figura 6.5-B Análisis de riesgo	251
Figura 6.5-C Diagnostico integrado	252
Figura 6.5.2 Modelo de gravedad de una falla	253
Figura 6.5.3 Cultura de la confiabilidad	254
Figura 6.7 árbol lógico de decisión RCM	255
Figura 7.1-A Diagrama de análisis de criticidad	256
Figura 7.2 Esquema jerárquico del equipo	260
Figura 7.2.5 Análisis de subsistema	264
Figura 7.3 Equipos de trabajo RCM	265
Figura 8.1.1-A Diagrama funcional	266
Figura 8.1.1-B Funciones Primarias y secundarias	267
Figura 8.1.1-C Margen de deterioro	268
Figura 8.3.3 Diferentes Niveles de Causalidad.....	271
Figura 8.3.3.1 Diagrama de árbol ACR	272
Figura 8.4-A Diferentes consecuencias de fallas	273
Figura 8.4-B Árbol lógico de decisión de RCM	274
Figura 8.5.2 Tareas predictivas	275
Figura 8.5.2.1 curva P-F	276
Figura 8.5.2.2-A El intervalo P-F	277
Figura 8.5.2.2-B . Intervalo P-F largo y corto	278
Figura 8.5.3-A Patrones de falla	279
Figura 10.2 Fallas y tiempos muertos mensuales 2010	282

Figura 10.3 Historial de fallas ... 283

Figura 10.4 Incrementos de fallas y tiempos muertos 2010 y 2011 284

Figura 11 Incremento de 35.1% en movimiento de teu's 2010 Vs 2011 252

I INTRODUCCIÓN

Los mantenedores están enfocados directamente a la realización de las actividades preventivas programadas y planificadas. El análisis de fallas es una actividad que es realizada por el personal técnico y administrativo del departamento de mantenimiento, el cual lleva un enfoque de mejorar la gestión de mantenimiento.

Las actividades del preventivo tradicional en los equipos de recién adquisición están basadas en las recomendaciones de los fabricantes a través de los manuales de uso, operación y mantenimiento de los equipos, y se van realizando adecuaciones en base al historial de los equipos, sistemas y componentes, condiciones operativas, climatológicas y sobre todo a la experiencia del personal de mantenimiento, por tal motivo las actividades y su periodo de realización suelen cambiar con el objetivo de mejorarlas evitando hacer actividades en lapsos de tiempos muy cortos o muy largos que afecten la disponibilidad de los equipos y con ello su confiabilidad ante el área operativa.

El objetivo del departamento de mantenimiento es cumplir con la disponibilidad y confiabilidad de los equipos demandantes por el área operativa, al menor costo posible.

Rey, (2001:66) opina que no existe mantenimiento absoluto pero para cada equipo y para cada momento dado se debe planear para llegar a una solución entre los parámetros de calidad, coste y plazos de entrega de equipo.

Para poder mejorar en este aspecto es necesario encontrar un modelo de mantenimiento que ayude a disminuir los incrementos de fallas y tiempos muertos que se han tenido respecto del 2010 al 2011. El incremento del 61.96% de las fallas ocurridas y del 74.06% de los tiempos muertos, como la muestran las tablas y figuras 10.1, 2,3 y 4, y como toda información estadística confiable es para tomar decisiones en el momento oportuno, se considera necesario hacer un análisis de fallas más eficaz que permita de forma considerable la disminución o eliminación de las fallas mas criticas en los equipos o sistemas.

Un nuevo modelo de mantenimiento está siendo estudiado para su implementación y posteriormente de ser aprobado para su implantación, que permitirá brindar una mejor confiabilidad de los equipos reduciendo con estos los costos de mantenimiento al realizar la planeación de las actividades preventivas bajo el criterio de vida útil de los componentes, es decir, se tendrá que trabajar con el historial de los componentes más críticos para tener el dato exacto de su vida útil, y en base a eso programar su reemplazo.

Esto permitirá conocer con mayor exactitud el tiempo promedio entre fallas (TPEF) para definir los periodos de inspección a los sistemas, a lo cual en la actualidad no están programadas bajo este criterio.

La implementación del sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad, demuestra que existe una metodología diferente que mejora los resultados obtenidos al momento, haciendo profesionales a los gestores del mantenimiento.

El recurso humano como en cualquier empresa es el factor mas importante, y de lo cual los beneficios que se generaran con la implementación del sistema de

mantenimiento centrado en la confiabilidad son muy importantes y significativos, puesto que disminuirá directamente la aplicación de la mano de obra una vez implementado el sistema y que este trabajando en forma controlada, y este tiempo podrá ser utilizado en la aplicación de análisis directamente sobre el comportamiento de la vida útil de las refacciones que impactan directamente en la productividad del equipo cuando fallan por fatiga. Esto provocara una gran motivación directamente hacia el personal que conforma el departamento de mantenimiento en todos sus niveles, como también hacia el área operativa al contar con equipos con mayor confiabilidad para la realización de sus actividades operativas. Ocasionado un mejor ambiente laboral en el entorno.

Y no siendo menos importante por mencionarla al último, se reducen los costos de mantenimiento a los equipos, participando activamente el departamento de mantenimiento en la competitividad de la empresa.

Planteamiento del problema:

Los estadísticos de las gráficas 10.1, 10.2, 10.3 y 10.4, muestran que durante el 2010 se suscitaron 101 fallas en las grúas de pórtico, el cual genero 47.8 hrs de tiempo muerto, este tiempo muerto representa las horas que las grúas dejaron de operar frente a buque, ocasionando demoras y replanteamientos de estrategias por parte del área operativa para poder cumplir con el programa de carga y descarga en el tiempo establecido.

En el 2012 el número de fallas de las grúas de pórtico fue de 163 fallas, generando un tiempo muerto de 64.54 horas.(incremento de 62 fallas)

El incremento de las fallas fue de 61.96% en el 2011, mientras que el de los tiempos muertos fue de 74.06%.

Estos valores estadísticos muestran áreas de oportunidad en los procesos de preventivo, y que es necesario nuevas estrategias que ayuden en la eliminación y reducción de las de los equipos, sistemas y componentes críticos fallas frente a operación.

Las grúas están perdiendo confiabilidad en el aspecto de seguridad y disponibilidad con este incremento de fallas y costos de mantenibilidad al estar cambiando componentes críticos en acciones correctivas, cuando esta actividad deberá ser realizada mediante la programación de actividades preventivas o predictivas.

Como lo muestran la figura 11 , el incremento de teu's movidos fue aproximadamente de un 35.1 % entre el 2010 con 4 Quay Crane y el 2011 con 6 Quay Crane a partir del mes de Marzo.

Si bien es cierto que existió una gran diferencia entre la cantidad de teu's movidos entre 2010 y 2011, ese no es un factor justificable para el gran incremento de fallas en el 2011 y el cual la imagen de la empresa ante los clientes se ve afectada en forma negativa al afectar las áreas de buque, patio y ferrocarril.

Por tal motivo la pregunta es, ¿Qué cambios se deben de tener en la gestión de mantenimiento que permitan que las grúas sean más confiables operacionalmente, seguras en cuanto al medio ambiente y menos costoso su mantenimiento?

Objetivo General:

Mejorar la gestión de mantenimiento mediante un nuevo modelo que permita realizar los preventivos en base a la vida útil de los componentes críticos y que la programación de las actividades esté en base al tiempo promedio entre falla (TPEF), realizar un buen análisis de las fallas ocurridas turno a turno en las grúas con el propósito de disminuirlas en el mayor porcentaje y controlarlas en el menor porcentaje. Y con ellos mejorar la confiabilidad, seguridad y reducción de costos de la gestión de mantenimiento, de tal forma que el departamento de mantenimiento participe considerablemente en la rentabilidad de la empresa.

Objetivos específicos:

1. Aumentar la confiabilidad de los equipos
2. Eliminar o disminuir las fallas críticas en los equipos
3. Reducir los costos de mantenimiento
4. Planificar las actividades de mantenimiento y control mediante RCM
5. Aumentar las actividades predictivas y disminuir las preventivas
6. Aumentar la seguridad operativa y del personal mantenedor
8. Mejorar el clima laboral

Hipótesis.

Se pretende incrementar la eficiencia del mantenimiento al aplicar los criterios del modelo de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, en la gestión de mantenimiento en los procesos de Preventivo, Correctivo e incorporar dos nuevos procesos a la gestión actual que a la fecha aún no tienen controlados que son los procesos de Mantenimiento Predictivo y Autónomo.

Las medidas de eficiencia pueden ser agrupadas en cuatro categorías.

1. Costo de mantenimiento: Los costos referidos en esta parte son los costos directos de mantenimiento, mano de obra, materiales y contratistas.

2. Mano de obra: Estos costos son típicamente entre un tercio y dos tercios del total de los costos de mantenimiento, esta variación depende del ramo de la industria. En este contexto se deben incluir los gastos de mano de obra contratada por la empresa.

3. Repuesto y materiales: Estos son los costos de materiales que son utilizados en la realización de los mantenimientos a los equipos.

4. Planificación y control. Cuando bien se planifican las actividades de mantenimiento, se crea una afectación a todos los otros aspectos de la efectividad y eficiencia del mantenimiento, desde la utilización global de mano de obra de mantenimiento hasta la duración de las paradas individuales

II HISTORIA

Corral, (2008), menciona que el transporte marítimo tiene sus orígenes en la civilización cretense, cuyos principios se remontan al tercer milenio A. C. Fueron los primeros en recorrer el Mediterráneo y llegaron a tener una flota poderosa, comerciaron con otros pueblos ubicados en tierras de los actuales países de Italia y España, produjeron vino, aceite, artículos de cerámica, etc. que vendían al extranjero; la intensidad de su comercio le hizo adquirir la hegemonía en todo el Mediterráneo Oriental.

Esto provocó que muchos otros pueblos realizaran actividades de comercio a través del mar llegando hasta la actualidad donde el comercio mundial en su mayor parte lo realiza mediante contenedores. Estos contenedores son transportados en barcos porta contenedores que desde su inicio a la fecha han sido modificados para cada vez alcanzar mayor número de contenedores a transportar.

Mantenimiento es un conjunto de técnicas que se utilizan para conservar equipos e instalaciones industriales en servicio durante el mayor tiempo posible con el máximo rendimiento.

Dentro de estas técnicas las utilizadas mayormente en las instalaciones de la Terminal Portuaria de contenedores Lázaro Cárdenas son del tipo preventivo y correctivo.

Dentro de las técnicas preventivas se definen dos clases que se diferencian claramente por sus contenidos y que a nivel global la empresa ha tomado como patrón: mantenimiento eléctrico y mantenimiento mecánico.

El mantenimiento eléctrico engloba toda la parte eléctrica de la grúa, incluyendo la parte electrónica, así como la parte de alta tensión, dado que la grúa está alimentada por un alto voltaje.

La parte mecánica, ésta englobada por la parte mecánica, hidráulica y neumática que hay instalada en la grúa portacontenedores.

CAPITULO 1

1.1 Antecedentes de Lázaro Cárdenas Terminal Portuaria de Contenedores

Lázaro Cárdenas Terminal Portuaria de Contenedores, S.A. de C.V. (LCTPC) es una terminal especializada en el manejo de contenedores que realiza carga y descarga de contenedores por vía terrestre y marítima, así como el manejo, almacenaje y custodia de contenedores entre otros servicios logísticos.

Localizada en la ciudad de Lázaro Cárdenas, en el año 2003 e inicia operaciones administrativas el 19 de noviembre del 2003. Fue adquirida por el corporativo Hutchinson Port Holdings (HPH), líder en inversión, desarrollo y operación portuaria con interés en más de 15 países a lo largo de Asia, Medio Oriente, África, Europa, América y Australia.

El 29 de mayo del 2004 comienzan operaciones de carga y descarga de contenedores con la línea naviera CP Ships, teniendo un arribo semanal. El primer buque fue el Lykes Deliverer con 393 contenedores movidos. El 29 de agosto de ese mismo año atracan de buques semanales de la empresa marítima Maersk Sealand.

Concluido en el 2012 la segunda etapa de la terminal, con 06 grúas de pórtico con un frente de agua sobre el canal Norte del puerto, que consta de una superficie total de 122 hectareas, con 1,480 m de frente de agua y una capacidad dinámica de hasta 2.6 millones de TEU's. Esta nueva terminal se desarrolla en tres grandes fases, de las cuales, la primera fase de la Nueva Terminal de Contenedores, única en su tipo, inició operaciones el pasado 28 de Noviembre del 2007.

MISION.

Ser líder en operaciones portuarias y de logística, generando estabilidad a nuestro entorno.

VISION.

Posicionarnos dentro de las 50 principales terminales portuarias a nivel mundial, ofreciendo servicios logísticos integrales, respaldados con infraestructura y personal de alto desempeño que generen confianza y rentabilidad.

POLÍTICA DE CALIDAD

En LCTPC ofrecemos servicios portuarios de logística con un sólido compromiso hacia nuestros clientes, a través del desarrollo del capital humano, la innovación y la mejora continua.

VALORES: Respeto, honestidad, pasión, trabajo en equipo e innovación.

Extraído el 15 Octubre, 2011 de <http://www.lctpc.com.mx/>

CAPITULO 2

2. Grúas de pórtico Quay Crane

Una grúa de pórtico de tipo Quay Crane , es un diseño único de ingeniería en el manejo de carga y descarga de contenedores en la terminal, este tipo de grúas son utilizadas en lo que comúnmente el área de operaciones le llaman primera maniobra, y la razón de esta denominación es porque trabajan directamente sobre la carga y descarga de los contenedores en las celdas de los barcos.

Las grúas de pórtico se clasifican generalmente por su capacidad de carga, y el tamaño de los barcos de contenedores que pueden cargar y descargar contenedores.

Las características varían dependiendo del tipo y modelos de la grúa, pero su principio de funcionamiento en la parte operativa es similar.

En la parte técnica los nuevos modelos contienen tecnología de punta en cuanto al control eléctrico, electrónico, mecánico e hidráulico de los sistemas que conforman la grúa.

El personal encargado del mantenimiento a las grúas de pórtico primera maniobra es un especialista ya que está capacitado en la cuestión operativa y técnica de la grúa.

2.1 Grúas Quay Crane

2.1.1 Panamax: Grúa que pueden cargar y descargar contenedores de un barco (13 contenedores de manga. Alcance delantero: hasta 42 m. Bajo spreader hasta 30.5 m.). (Vea Figura 2.1.1 en anexo capítulo 2)

2.1.2 Post Panamax. Grúa que pueden cargar y descargar contenedores de un barco contenedor normalmente alrededor de 18 filas de contenedores de ancho. (17 contenedores en manga. Alcance delantero: hasta 48 m. Bajo spreader 35 m.). (Vea figura 2.1.2 en anexo capítulo 2)

2.1.3 Super-Post Panamax. Grúa que pueden cargar y descargar contenedores de un barco contenedor normalmente alrededor de 18 a 22 filas de contenedores de ancho. (18-22 contenedores de manga. Alcance delantero: hasta 62 m. Bajo spreader: hasta 41 m.) (Vea Figura 2.1.3 en anexo capítulo 2)

Extraído el 15 Octubre, 2011 de

<http://www.paceco.es/actividadesproductos/PRODUCTOSESP/gruaportainer.htm>

2.2 Descripción de los sistemas principales.

Las grúas de pórtico están conformadas por los siguientes sistemas.

1. Sistema de Hoist
2. Sistema de Brazo
3. Sistema de Trolley
4. Sistema de Gantry
5. Sistema Spreader
6. Sistemas Auxiliares
 - 6.1 Trim List Skew
 - 6.2 Elevador
 - 6.3 Cuarto eléctrico de control
 - 6.4 Luces de trabajo y alumbrado de la estructura
 - 6.5 Transformadores de alta tensión en cuarto de maquinas
 - 6.6 Anillos rozantes
 - 6.7 Grúa de puente de la sala de maquinas
 - 6.8 Sistema Hidráulico
 - 6.9 Unidad de Poder
 - 6.10 Sistema de comunicación

Los elementos críticos de los sistemas de hoist, trolley y brazo se encuentra ubicados en la sala de máquinas, dentro de esta sala también se encuentran los

transformadores de potencia en donde llega la alimentación de los anillos rozantes. El cuarto de control eléctrico también está ubicado dentro de la sala de máquinas.

2.2.1 Sala de máquinas y sala eléctrica

El cuarto de máquinas de la grúa proporciona un lugar seguro a los mecanismos que requieren un lugar cerrado protegidos del polvo, humedad, de los sistemas de hoist, brazo, trolley, así como a la sala eléctrica.

Puesto que en la sala de máquinas se encuentran los motores eléctricos, los frenos, el carrete enrollador de los cables de acero, los transformadores de potencia. Estos componentes son resguardados de las condiciones climáticas del exterior proporcionando una mayor confiabilidad para la operación de la grúa. También proporciona un ambiente de trabajo seguro y confortable al personal del departamento de mantenimiento en las diferentes intervenciones de correctivos, preventivos o inspecciones.

El cuarto eléctrico contiene los paneles eléctricos, los variadores, PLCs y sus elementos asociados. El acceso a esta sala es restringido exclusivamente para personal de mantenimiento, y cualquier otro personal externo que requiera entrar a la sala eléctrica deberá hacerlo acompañado por algún personal asignado de mantenimiento, con el propósito de cuidar y supervisar que sean respetadas las medidas de seguridad e higiene del lugar.

La temperatura de la sala eléctrica se mantiene entre 20 y 25 grados centígrados mediante equipos de aire acondicionado. Además posee equipos reservas de aire acondicionado por si la temperatura sube por encima de los 25 grados debido a la falla de algún equipo, automáticamente estos equipos de reserva se ponen en

marcha para mantener la temperatura ideal para los sistemas electrónicos ubicados en esa área.

Calloni (2007:236) expresa en su libro que el mantenimiento eléctrico no solo apunta a la continuidad operativa, sino también y prioritariamente a la seguridad eléctrica para personas en el caso de riesgos de electrocución y equipos o sistemas ocasionados por cortos o incendios.

2.2.2 Sistema de Traslación. (Gantry).

La grúa de pórtico está montada sobre rieles por donde se realiza su desplazamiento. El mecanismo está compuesto de cuatro trucks que soportan la grúa sobre los rieles, cada truck contiene 10 ruedas de las cuales 6 son conductoras. Estas 6 ruedas llevan acopladas sus motores de corriente alterna y sus reductores. Tal como lo muestra la figura No. 2.2.2. Anexo capítulo 2.

Componentes del sistema de Gantry

- 1.- Block de ruedas conductoras
- 2.- Block de ruedas conducidas con freno
- 3.- Disco freno
- 4- Motor de corriente alterna
- 5.- Acoplamiento
- 6.- Reductor
- 7.- Freno rueda y de motor

La fuerza motriz del motor de gantry, se transmite a través del acoplamiento con la caja reductora hacia la rueda. La dirección de traslación puede ser alterada cambiando la dirección de rotación del motor eléctrico, esto dependerá de la dirección hacia donde quería ser desplazada la grúa, dependiendo de las necesidades operativas.

Un freno de disco lleva instalado cada motor al final del eje. Los frenos están diseñados para poder detener el movimiento de gantry con una velocidad del viento de hasta 35 m/s.

2.2.3 Carrete enrollador de alta tensión

La grúa es alimentada desde una subestación a través de un cable de potencia ubicado en un carrete enrollador que permite el movimiento de la grúa.

La figura 2.2.3 anexo capítulo 2, muestra la alimentación a la grúa por un cable de 20kV a través de un enrollador como se muestra en la figura 2.2.3. Esta alimentación pasa a través de un conjunto de anillos rozantes en un seccionador, llegando a los transformadores de potencia, de donde estos distribuyen La alimentación proporcionada a todos los componentes eléctricos que se encuentran en el cuarto de máquinas. Lugar donde se ubican los elementos principales de los sistemas de hoist, brazo y trolley, paneles de control. A los paneles de control eléctrico electrónico ubicados en la sala de máquinas.

El funcionamiento del carrete enrollador está relacionado con el movimiento de gantry, ya que va soltando o recogiendo cable según la posición y dirección a la que se desplace sobre el muelle. El cable de alta tensión está escondido sobre una canaleta en

el cantil del muelle y por medio de un componente conocido como patín de la grúa el cable de alta tensión va saliendo de este conducto.

Cabe mencionar que existe un límite de desplazamiento de las grúas de pórtico y este depende de la longitud del cable, información que debe de ser bien conocida por el personal de operaciones para que dentro de su planeación de operación de cada una de las grúas de pórtico de la empresa. (6 grúas de pórtico en la actualidad) planifique el alcance que tendrá cada grúa frente a barco y asignar que en que bodegas del buque podrá trabajar.

2.2.4 Sistema mecánico de anclaje y anti huracanes

Como medida de seguridad, disponen cada una de 4 anclajes los cuales están montados bajo las vigas portales del sistema de gantry tanto del lado mar como en lado tierra. Los bulones de anclaje son bajados o subidos manualmente por el personal del departamento de mantenimiento. Estos anclajes son colocados cuando la grúa no está en operación. Ver figura No. 2.2.4 -A y 2.2.4 -B anexo capítulo 2

El tamaño de estas grúas y su peso provoca que en tiempos donde la velocidad del viento este por arriba 14 m/s se pare operación y se proceda a asegurarlas al anclarlas para evitar su desplazamiento y daño de las mismas.

Por tal motivo se cuenta con 8 anclajes anti huracanes por grúa que son colocadas cuando la velocidad del viento pone en riesgo la estabilidad del equipo.

Este sistema de anclaje es importante ya que asegura en una sola posición la grúa cuando no está en operación, protegiendo que se desplace sobre los rieles cuando los vientos aumentan a tal grado de poner en riesgo la estabilidad que puede llevar a un accidente catastrófico para todo el entorno.

2.2.5 Sistema de elevación (hoist)

El sistema de elevación, comúnmente llamado hoist, es el conjunto de componentes que contribuye a que se bajen y suban los contenedores de las bodegas de los barcos.

Los elementos del sistema de hoist está situado en la sala de maquinas. Este sistema es alimentado por dos motores de corriente alterna de 750 kW conectados al reductor a través de dos acoplamientos que pertenecen al mismo eje de entrada al reductor. Por el eje de salida, el reductor va acoplado a dos tambores por medio de dos acoplamientos flexibles como lo muestra la figura 2.2.5-A anexo capítulo 2

El diámetro de los cables de acero de elevación es de 31 cm, con una longitud de 650 metros, siendo dos cables los utilizados en este sistema, se desplazan por debajo de la sala máquinas y recorren todo la pluma y bajan hasta las poleas del Headblock. En la punta de la pluma, los cables de elevación están fijados mediante una grapas y sobre esta grapas van instaladas una celdas de carga que son las que controlan el peso de los contendores y dan referencia al operador del peso del contenedor que están levantando.

Dos frenos de servicio de disco son manejados por sus correspondientes actuadores electro hidráulico y están situados entre los motores y el reductor. Cada freno individualmente es capaz de parar la elevación.

Asimismo dos frenos de emergencia de tambor accionados por cilindros hidráulicos, están instalados a cada final de cada tambor. Estos frenos permanecen liberados durante la operación normal de trabajo. Se actuaran inmediatamente por perdida de la corriente, por la activación de alguna alarma de emergencia o por la

activación de la sobrecarga. Estos frenos están diseñados para parar el movimiento de elevación con un margen de seguridad muy alto.

La elevación sube y baja el spreader por medio de dos cables de acero de elevación (posee 8 reenvíos por su forma constructiva). Los dos motores de corriente alterna llevan ventilación forzada y sus filtros correspondientes. Ambos motores llevan incorporados generadores de impulsos. La configuración del sistema de reenvío se muestra en la Figura 2.2.5-B anexo capítulo 2.

La figura 2.2.5-B muestra las 4 puntas finales de los dos cables de acero del sistema de elevación, se fijan en los tambores a través de una grapa. Debido al sistema constructivo, se dispone de ocho reenvíos así como de cuatro celdas de carga que miden la carga en cada punto de la posición (2) y envían los valores al PLC de la grúa que calcula y almacena el peso de la carga.

2.2.6 trim, list, skew y protección de cable tenso

Este sistema permite controlar el movimiento de balanceo que se puede ocasionar en el contenedor al momento de levantarlo y trasladarlo a otro punto

Como lo muestra la figura 2.2.6-B, este sistema está constituido por cuatro cilindros hidráulicos y cuatro poleas montadas sobre la elevación principal, como lo muestra la figura 2.2.6-A en el anexo capítulo 2.

Este sistema está instalado en la punta del brazo y ajusta el ángulo del trimado (inclinación del Spreader sobre un eje horizontal perpendicular al riel del muelle), el ángulo del listado (picado del Spreader sobre un eje paralelo a los raíles del muelle) y el ángulo del skew (rotación del Spreader sobre un eje vertical).

Este sistema también evita la rotura del cable de elevación restringiendo la elevación de la carga cuando el Spreader se queda bloqueado o bien en las guías de bodegas o por otras causas.

El sistema que se muestra en la figura 2.2.6-B anexo capítulo 2, pertenece al sistema del trimado,

Funcionamiento del sistema de Trim-List-Skew

El trimado levanta o baja la parte derecha o izquierda del Spreader. Este movimiento se realiza extendiendo los cilindros 1 y 2 y retrayendo los cilindros 3 y 4 o viceversa. El ángulo máximo es $\pm 2,5\%$

El sistema List es un movimiento que se realiza extendiendo los cilindros 1 y 4 y retrayendo el 2 y 3 o viceversa. El ángulo máximo es $\pm 3\%$.

El sistema skew Se realiza extendiendo los cilindros 1 y 3 así como retrayendo los números 2 y 4 o viceversa. El ángulo máximo es $\pm 3\%$

SNAG: funciona en cualquiera de las condiciones anteriores. (Corral, 2008)

2.2.7 Sistema de pesaje

Las grúas están equipadas con un sistema de pesaje, que permite saber al operador el peso de cada contenedor para saber que está trabajando dentro de los límites de carga permitidos por el equipo y sistema, cuando el sistema detecta un peso mayor al permitido, el sistema se inhibe no permitiendo levantar la carga y quedando habilitado únicamente el hoist hacia abajo, esto sucede para proteger al equipo de manejo de cargas por arriba de las permitidas para el cual el equipo está diseñado.

El sistema contiene 4 celdas de carga montadas sobre las poleas del final del brazo. Figura 2.2.7 anexo capítulo 2

El hardware básico del pesaje consiste en 4 células que trabajan a compresión, cada una midiendo las fuerzas individuales de cada polea de reenvío y un amplificador incorporado en la propia célula. La señal de salida es del tipo 4 - 20 mA. El control de la grúa monitoriza las células de carga a través de la lógica del PLC. El PLC controla tanto la tara como el peso total, la carga asimétrica, la excentricidad de la carga así como la sobrecarga dependiendo del tipo de elemento conectado a la grúa. Cuando ocurre una sobrecarga el sistema solo permite la bajada de la carga.

Además de la protección de la sobrecarga, el sistema también da la señal de cable flojo, que evita que el cable se enganche sobre cualquier elemento del barco, contenedor o spreader.

Cuando se ha detectado cable flojo, el sistema solo permitirá la elevación a velocidad reducida hasta que el sistema vuelve a detectar un peso determinado que indica que los cables están tensos. (Corral, 2008).

2.2.8 Sistema de brazo

El brazo es el puente por donde pasa el trolley y que es el camino que recorre para poder colocar y quitar contenedores de las bodegas de los barcos cuando está en posición horizontal, como los muestra la figura 2.1.1 en anexo capítulo 2.

Los elementos principales del sistema de brazo, se muestran en la figura 2.2.8-A anexo capítulo 2, Estos elementos también están ubicados dentro del cuarto de máquinas. Se alimenta a través de motor de corriente alterna de 350 kW (1), conectado mecánicamente a un reductor (2) por medio de un acoplamiento (3). A la

salida del eje del reductor va acoplado un tambor (4) mediante un acoplamiento flexible (8).

El freno de disco de servicio (5) está situado entre el motor y el reductor. El freno es capaz de para el movimiento de la pluma. Asimismo dos frenos actuados hidráulicamente (6) están montados al final del tambor de pluma.

Estos frenos permanecen liberados durante el funcionamiento normal de subida o bajada de la pluma. Solo se actúan cuando exista una pérdida de alimentación, activación de una alarma de emergencia o activación del elemento de protección de sobre velocidad.

Los dos frenos (5) y (6) en conjunto están capacitados para parar el movimiento de la pluma con un amplio margen de seguridad.

A la entrada del reductor, está montado un mecanismo de emergencia (7) que se conecta al sistema mediante un acoplamiento rápido (tipo embrague). Existen dos finales de carrera que señalizan y evitan el funcionamiento simultáneo de los dos sistemas.

Al final del eje del tambor de pluma hay conectados tres elementos de protección: detector de sobre velocidad, final de carrera de husillo y generador de impulsos.

Para el movimiento de la pluma y carro (que no pueden operar simultáneamente) solo un variador de frecuencia es utilizado para controlar ambos movimientos (motores).

La figura 2.2.8-B anexo capítulo 2, muestra el sistema de reenvío de la pluma a continuación:

Este sistema lleva dos juegos iguales e independientes de reenvíos. Cada uno de ellos es capaz de mantener la pluma cogida en caso de fallo del otro.

Un solo cable e de acero de este sistema con un diámetro de 36 mm, con una longitud de 1250 m, torcido derecho el cual es inspeccionado periódicamente cada 250 hrs.

2.2.9 Sistema de trolley

Como se muestra en la figura 2.2.9-A anexo capítulo 2, este sistema de es controlado por el operador de la grúa desde la cabina. Y su principal objetivo es desplazar el spreader de la posición de patio hacia las celdas del buque, y viceversa, a través del movimiento del Trolley.

La configuración a detalle de los componentes que conforman físicamente el sistema se muestra en la figura 2.2.9-B anexo capítulo 2

Algunos elementos principales de este sistema están situados dentro de la sala de máquinas. El sistema se alimenta a través de un motor de corriente alterna (1) de 300 kW conectado a un reductor (3) por medio de un acoplamiento flexible (2). El tambor del cable del carro (5) está conectado a la salida del eje del reductor por medio de otro acoplamiento flexible (4). En el tambor se enrollan dos cables de acero independientes (6) y (7).

El carro desplaza el spreader por medio de dos juegos de cables hacia adelante o atrás, un freno de disco de servicio (8) actuado electro-hidráulicamente está situado entre el motor y reductor. El freno es capaz de parar el movimiento de carro.

A una entrada del eje del reductor es posible conectar el sistema auxiliar de emergencia (9) mediante un acoplamiento rápido tipo embrague con sus

correspondientes detectores que señalizan la maniobra, impidiendo el funcionamiento simultáneo de los dos movimientos. El sistema de reenvío se muestra en la siguiente figura 2.2.9-C anexo capítulo 2

Las cuatro puntas finales de los dos cables de acero del carro están engrapadas en los tambores. Los puntos medios de los cables del carro están también sujetos en la plataforma del mismo. Esto crea dos tiros de los cables en el lado mar y en el lado tierra de la plataforma. Dependiendo de las necesidades operativas, así pues, tiran del carro hacia delante y hacia atrás.

La longitud del cable de este sistema es de 365 mts, un solo cable y un diámetro de 26 mm, torcido derecho, el cual es inspeccionado periódicamente cada 250 hrs.

2.2.10 Sistema tensor de los cables del sistema de trolley

El sistema tensor de los cables de carro (L) está situado en la contra pluma y aplica la tensión apropiada al cable por medio de dos cilindros hidráulicos (2) que llevan dos poleas (1) con un brazo basculante (3). Con este sistema, el balanceo del carro debido al afloje del cable durante la carga o descarga del contenedor, se minimiza.

Ver disposición general y particular del sistema en las siguientes figuras 2.2.10-A y 2.2.10-B, anexo capítulo 2

Los cilindros se alimentan por medio del sistema hidráulico a una presión predeterminada. Los cilindros se retraerán para prevenir de una sobre presión en los cables debido al cambio de longitud de los cables en el lado mar cuando sube la pluma. Los cilindros se extenderán para mantener la tensión apropiada después de que unos cables nuevos hayan estirado tras un periodo de trabajo determinado. La posición

original del brazo compensador es casi vertical bajo la presión hidráulica del sistema. (Corral, 2008)

2.2.11 Plataforma del carro

La figura 2.2.11 anexo capítulo 2, muestra el sistema de traslación del carro mueve la plataforma del mismo juntamente con el spreader colgado (con/sin contenedor) hacia delante o atrás por toda la estructura de la pluma. La configuración de la plataforma es la siguiente:

El carro es tirado por los cables que están sujetos a por grapas en la plataforma.

La plataforma se desplaza a través de los rieles de la estructura de la pluma por medio de ocho ruedas. Las ruedas llevan rodamientos antifricción. Cada par de ruedas está montado sobre lo que se llama carretón (1) acoplado a la estructura por medio de un eje y un amortiguador de goma. La función del amortiguador de goma es la de cómo un muelle. (Corral, 2008)

2.2.12 Cabina del operador

Como se muestra en la figura 2.2.12 anexos capítulo 2, la cabina está diseñada ergonómicamente para servir al operador y que pueda realizar todas sus funciones con el mejor ángulo visual posible. Todas las maniobras primarias son realizadas desde esta cabina. La disposición de la cabina es la siguiente, está montada en el sistema de trolley y se desplaza a través del brazo que lo lleva de punta a punta a través de unos rieles instalados en la parte superior del sistema de trolley, todos los movimientos son controlados por el operador a través de jostick, botones e interruptores.

2.2.13 Grúa puente en sala de maquinas

Como se muestra en la figura 2.2.13 anexo capítulo 2, dentro de los sistemas auxiliares con que está equipada la grúa de pórtico, en la sala de máquinas está instalada una grúa puente que se utiliza para poder izar o bajar, desplazar y colocar todos los elementos pesados que están instalados en la sala maquinas: motores, reductores, cables, tambores, transformador, tambos de aceite, máquinas de soldar, maniobras.

2.2.14 Sistema de cambio de cable

Los cables de acero son los elementos más críticos y costosos, por tal motivo tienen una especial atención las revisiones periódicas sobre su desgaste paulatino y estado físico, estos datos permiten la programación del reemplazo en el momento oportuno cuando los criterios de operación llegan a su límite, para esto se cuenta con un sistema que permite que el cambio de cables sea en el menor tiempo posible con la máxima seguridad en las maniobras realizadas para disminuir el tiempo de paro de la grúa.

El personal técnico que realiza las revisiones periódicas del estado físico del cable están capacitadas en este tipo de maniobras por lo delicado

El sistema de cambio de cables consiste en un par de tambores auxiliares de cables, accionados por un motor eléctrico y que se encuentra instalado en la sala de máquinas. La disposición es como se muestra en la figura 2.2.14 anexo capítulo 2

Durante el proceso de cambio de cable, el sistema bobina el cable viejo en el tambor de entrada (1) que está compuesto por un motor eléctrico y un reductor. El

nuevo cable a cambiar esta en el tambor de la izquierda (2) que también cuenta con un mecanismo motor/reductor. El procedimiento no lo vamos a tocar en este punto ni en este proyecto.

2.2.15 Headblock/bastidor

El Headblock, mejor conocido como bastidor, del spreader (figura 2.2.15 anexo capítulo 2) es el elemento de unión de la grúa con el spreader, y está permanentemente colgado de la grúa. Es una parte estructural más de la grúa y está diseñada para la capacidad de carga de la misma. El Headblock posee cuatro cabezales de poleas de elevación en cada esquina (1), así como 4 bulones de cogida que evitan que el spreader caiga (2). Estos pines esta supervisados por sendos detectores de proximidad inductivos.

El Headblock posee una plataforma (3) con pasamanos, así como una canastilla para transportar a personas a lo alto del barco y un bidón donde se almacenan momentáneamente los candados (elementos que mantienen unidos los contendores unos a otros en el barco). En el Headblock también está instalado el tambor de recogida del cable eléctrico del spreader, que termina en un conector, que llevan la fuerza y el control de todas las señales del spreader.

2.2.16 Spreader.

El spreader es un componente de la grúa que no está unido fijamente, es separable y puede ser colocado en cualquiera de las 6 grúas pórticos existentes a la fecha, se muestra en la figura 2.2.16-A anexo capítulo 2, es el dispositivo que toma directamente el contenedor a través de cuatro candados que entran en la cantonera del

contenedor Cuando el operador deposita el spreader sobre el contenedor y entraron los 4 candados sobre las cantoneras, estos se cierran automáticamente quedando de esta forma seguro el contenedor para que pueda ser levantado por la grúa.

Larrode & Miravete (1996:44) definen al spreader como dispositivo diseñado para su acoplamiento a sistema de cuatro poleas. De esta forma se consigue un rectángulo de estabilidad que permite compensar en cierto grado las variaciones del centro de la carga sin la aparición de giros y movimientos desestabilizadores

Funcionamiento General.

La figura 2.2.16-B anexo capítulo 2, muestra que el spreader consta de un bastidor principal central y 2 pares de vigas telescópicas-. Los extremos exteriores de las vigas telescópicas están unidos por vigas laterales.

La longitud del spreader es ajustable y dependerá del tamaño del contenedor a mover, en las tres medidas usuales de los contenedores que son de 20, 40 y 45 pies, durante la operación el spreader es ajustado de forma continua a diferentes longitudes de medida que dependerá del contenedor a mover.

Los extremos de las unidades vigas telescópicas están equipados con brazos extendibles, que se utilizan para colocar el spreader sobre el contenedor. El sistema de twislocks (candados), que asegura el spreader al contenedor, va montado en las esquinas de las vigas laterales. El sistema de accionamiento telescopio, los brazos extendibles y los twislocks se controlan de forma hidráulica. La hidráulica y el control eléctrico están montados en el bastidor principal.

Sistema hidráulico.

Este sistema, consta de un tanque que almacena el aceite hidráulico DT26, una unidad de bomba y motor, un banco de electroválvulas o válvulas direccionales y filtros como lo muestra la siguiente figura 2.2.16-C. a través de este sistema se realizan todos los movimientos del spreader como expansión, retracción, subir y los flippers.

Sistema telescopio

Las vigas telescópicas se deslizan sobre placas deslizantes de baja fricción que se encuentran en cada esquina inferior del bastidor principal (4 en total) y en la parte superior e inferior en cada extremo de las vigas telescópicas (8 en total). Las placas deslizantes poseen el espacio suficiente entre ellas y la estructura como para permitir que las vigas se doblen, lo que permite al spreader transportar contenedores ligeramente deformados. Figura 2.2.16-D, anexo capítulo 2

Las orejas de elevación situadas en cada esquina del spreader permiten colgar eslingas para transportar contenedores dañados o cargas que no van en contenedores.

Twistlock (candados del spreader).

El spreader está equipado con cuatro twistlock en sus esquinas, estos se utilizan para enganchar y levantar el contenedor.

Un cilindro hidráulico hace girar el twistlock y dos sensores indican la posición de este, bloqueado o desbloqueado. Para garantizar que el spreader aterrice correctamente sobre el contenedor antes de que los twistlock giren, se utiliza un sistema de seguridad de pasador de aterrizaje.

Cuando el spreader aterriza correctamente sobre el contenedor, un pasador de aterrizaje accionado por resorte, situado cerca del twistlock, es empujado hacia arriba para que entre en la caja del twistlock. Una vez que el spreader aterriza correctamente sobre el contenedor, el pasador de aterrizaje activa un interruptor de proximidad. Los twistlock solo pueden girar una vez que todas las esquinas del spreader han aterrizado. Al mismo tiempo, el pasador de bloqueo se eleva lo suficiente como para que el tope de bloqueo de la palanca del twistlock pase debajo del. Si el spreader no aterriza correctamente, el interruptor de proximidad no se activara y el pasador de bloqueo se eleva lo suficiente como para que el tope de bloqueo de la palanca del twistlock pase debajo de él.

Si el spreader no aterriza correctamente, el interruptor de proximidad no se activara y el pasador de bloqueo interferirá con el tope de bloqueo. Esto impedirá que los twistlock giren. Ver Figura 2.2.16-E anexo capítulo 2.

Flipper

El spreader está equipado con brazos de accionamiento hidráulico en cada esquina; estos brazos guían al spreader hacia el contenedor. Los brazos extensibles se controlan mediante válvulas de solenoides que pueden accionarse manuablemente en caso de emergencia.

Para fines de protección, cada circuito brazo extendible tiene una válvula de alivio de impacto que se abre a una presión preestablecida de 40 a 100 bares por encima de la presión de trabajo normal. Tan pronto como se retira la carga de choque, el brazo extendible vuelve a su posición vertical. Figura 2.2.16-F, anexo capítulo 2.

Sistema eléctrico del spreader grúas Quay Crane

El cuadro eléctrico principal va montado sobre amortiguadores en el bastidor principal. Las cajas de conexiones van montadas en las vigas laterales. Las válvulas direccionales para el sistema telescópico, sistema de twistlock y brazos extensibles se controlan eléctricamente.

La posición correcta de las vigas telescópicas se controla mediante interruptores de proximidad o un codificador. La posición de spreader aterrizado y las posiciones de twistlock bloqueado/desbloqueado son indicadas por los interruptores de proximidad. Figura 2.2.16-G anexo capítulo 2

Luces de señalización.

Para el funcionamiento seguro del spreader, las luces de aviso pueden indicar aterrizado/bloqueado/desbloqueado. Las luces pueden situarse centralmente o en cada extremo del bastidor principal.

La señalización se compone de focos o lámparas con 3 diferentes colores. El color rojo indica que los candados del spreader están cerrados, el color verde indica que los candados del spreader están abiertos y el color ámbar indica que los palpadores han sido accionados.

Programa de mantenimiento spreader

El programa de mantenimiento se realiza en base a las recomendaciones del fabricante, y se va modificando en base a las variables que se van presentando durante su operación. La siguiente tabla muestra las actividades a realizar en un mantenimiento

al spreader, dependiendo de las horas trabajadas. (Manual grupo bromma, febrero 2000). Tabla 2.2.16 anexo capítulo 2.

2.2.17 Pasillos y escaleras de acceso

El acceso a cualquier parte de la grúa se hace por medio de pasillos y escaleras. La escalera principal está situada en el lado tierra. Los pasillos de descanso están situados a diferentes alturas que además son usados para acceder a otras partes de la estructura de la grúa, tal como la cabina operador, la sala de máquinas, los anillos rozantes, el carrete enrollador y el brazo.

Así como se aprecia en la figura 2.2.17 anexo capítulo 2, la grúa lleva instalado un elevador , que accede a 4 paradas de que dispone la grúa: planta baja, planta de acceso a la viga portal donde está el sistema arrollador de alta tensión, planta acceso a la cabina operador, planta acceso a la sala de máquinas.

Una vez explicadas las partes más significativas de la grúa entramos en el mantenimiento propiamente dicho de este tipo de grúa porta contenedores.

CAPITULO 3

3. Introducción a la gestión de mantenimiento

3.1 El Mantenimiento Industrial

Montalván (1999:14), considera como tres elementos fundamentales participantes en la organización. Los recursos materiales, los recursos financieros y los recursos humanos.

Estos tres elementos mencionados son la razón de ser de la gestión de mantenimiento.

La experiencia demuestra que cualquier máquina, equipo o dispositivo sufre en el transcurso de su historial operativo una serie de degradaciones. Si no se evitan, o se eliminan una vez aparecidas, el objetivo para el que se crearon no se alcanza plenamente, su rendimiento disminuye y su vida útil se reduce. Esto lleva a que cualquier instalación necesitará alguien que la maneje pero también alguien para poderla mantener. Cuanto más automatizada esté la instalación menos personal de producción se necesitara pero, sin embargo, el número de elementos susceptibles de averiarse aumentará. Para poder obtener una tasa de utilización alta, se debe tener un buen sistema de mantenimiento.

Parra & Crespo (2012:01), dividen en dos partes el proceso de gestión de mantenimiento.

- 1). La implementación de la estrategia de mantenimiento y
- 2). La definición de la estrategia de mantenimiento

Con la aparición de las primeras máquinas, los propios usuarios realizaban las reparaciones de las fallas que se presentaban durante el proceso

operativo. La técnica no estaba tan evolucionada y las intervenciones se realizaban tras la falla o cuando ésta estaba a punto de producirse. La responsabilidad de la producción y del buen funcionamiento recaía sobre el propio operador de la máquina.

A medida que fue aumentando la complejidad de las máquinas debido a una mayor demanda de producción, los responsables de las mismas necesitaron ayuda de especialistas para poder afrontar con éxito las reparaciones. Esto dio lugar a la aparición de talleres de apoyo con personal con conocimientos de los mecanismos y herramientas apropiadas para poder actuar sobre la falla y asegurar su disponibilidad de forma más eficiente y segura, hecho que trajo como utilidad un menor costo de reparación al ser intervenida por personal calificado.

Con el crecimiento global de productividad y de las empresas y viendo la importancia que suponía el mantenimiento de las instalaciones, los talleres se fueron integrando dentro de las organizaciones. Se empezó a diferenciar entre personal de producción y personal de mantenimiento.

Ruiz (1981:12) comenta que el beneficio y la calidad de un trabajo de mantenimiento se evalúan constantemente por la rapidez de verificación y la eficiencia con que el grupo de mantenimiento resuelve emergencias que interrumpen el proceso productivo.

A principios del siglo XX y con motivo de las guerras mundiales, se les exige a las industrias una producción máxima; Mantenimiento tiene que asegurar el funcionamiento a cualquier costo. Se comienzan a estudiar las fallas y sus soluciones dando lugar a un gran avance técnico. Se encuentran relaciones entre las horas de funcionamiento y la aparición de las averías, permitiendo la realización del mantenimiento antes de que se produzca una falla. Dentro del personal de

mantenimiento comienzan a diferenciarse más las distintas especialidades, sobre todo entre mecánicos y eléctricos.

Durante los años sesenta el desarrollo de la electrónica comienza a cambiar la fisonomía de las instalaciones. Mantenimiento necesita de otra especialidad, la electrónica. La electrónica contribuye también a la aparición de nuevas técnicas de reparación apoyadas por equipos más sofisticados.

A partir de los años setenta y con las crisis económicas, Mantenimiento debe hacer un esfuerzo para reducir costos. Las organizaciones y métodos de trabajo se comienzan a estudiar no sólo bajo el punto de vista técnico, sino también bajo el económico.

Actualmente el mantenimiento aparece como un conjunto de acciones con el propósito de prolongar el funcionamiento continuo de las instalaciones, reducir costos, llegar a la verdadera vida útil de cualquier equipo haciendo más rentable su inversión, contribuir a la fabricación de un producto de mayor calidad, evitar cualquier pérdida, etc. Mantenimiento no sólo repara las fallas que se producen sino que interviene y tiene un papel importante en el desarrollo de las industrias; limitarlo a la reparación de las fallas es un lujo que difícilmente puede permitirse una empresa.

Se define el objetivo de Mantenimiento como: Conseguir un determinado nivel de disponibilidad de producción en condiciones de calidad exigible, al costo más conveniente, con el máximo nivel de seguridad para el personal que lo utiliza y lo mantiene y con una mínima degradación del medio ambiente Consiguiendo todos estos puntos estaríamos ante una buena gestión integral de mantenimiento.

En las empresas, el departamento de mantenimiento normalmente suele estar a un nivel inferior al de producción. A algunos directivos sólo les interesa el tema

cuando una falla impide cumplir con un pedido. El gasto que origina el mantenimiento y los paros de producción se ven rápidamente, pero los ahorros que se pueden generar son difíciles de cuantificar. Cada tipo de empresa necesitará un servicio de mantenimiento adecuado a su proceso productivo, pero en ningún caso separado de él.

Se debe prestar atención no sólo a aspectos técnicos de mantenimiento, sino también a su gestión y organización teniendo en cuenta factores económicos, de seguridad y medioambientales. En la actualidad existe una carencia de publicaciones que aborden el tema de mantenimiento desde el punto de vista de su gestión. Hay que reflexionar sobre la gestión óptima de mantenimiento y sobre las mejoras que puede introducir en la gestión de la producción y de la empresa en general.

La necesidad de optimizar el mantenimiento puede entenderse si observamos las altas inversiones en equipos que realizan las empresas y la alta disponibilidad necesaria para hacerlas rentables. Por otra parte, el cliente no sólo desea un producto de calidad sino plazos de entrega reducidos. La reducción de stocks, tanto finales como intermedios, debe asegurar como contrapartida la capacidad productiva de la instalación. Por último, la alta competencia obliga a costos de producción lo más bajos posible.

En épocas de crisis económicas, se tiende a reducir personal e inversiones, pero estas reducciones pueden generar un costo mayor a corto plazo. Por tanto, interesa conocer dónde podemos reducir gastos sin perjuicio de encontrarnos ante una instalación con un nivel de producción poco competitivo.

Robbins (2004:23), comenta que una organización es productiva si consigue sus metas y, al hacerlo transforma sus insumos en productos al menor costo.

Siempre será mucho mayor el presupuesto anual del departamento de mantenimiento respecto al de las áreas operativas debido a que ahí se cargan todos los costos derivados del mantenimiento de los equipos de la organización, de tal forma que darle la importancia y apoyo por parte de la Dirección General o Gerencia en algunos casos, que requiere el departamento de mantenimiento contribuirá a que la organización sea productiva al disminuir lo mejor posible sin poner en riesgo la confiabilidad del equipo.

3.2 Las Fallas. Generalidades

Acuña (2003:20), define una falla como un evento que ocurre sobre un producto o proceso que hace que este salga abrupta o paulatinamente fuera de servicio.

Una empresa crea un producto o servicio porque existe una serie de clientes a los que les interesa. Cuanto más se adapte este producto a las necesidades del cliente más satisfechos estarán, atrayendo a nuevos clientes. El éxito de muchos productos se basa en estudiar tanto las necesidades de los clientes para poder lograr su satisfacción, así como el proceso productivo para lograr el máximo beneficio. Cuando hablamos de producto nos referimos tanto a un servicio como a cualquier objeto y cuando hablamos de clientes nos referimos a quien recibe el producto.

La necesidad que nos produce cualquier equipo es el de conservarlo en situación de que permita obtener el fin al que está destinado.

Mantenimiento ofrece como producto para cubrir esta necesidad la reparación de las anomalías que surjan, pero sobre todo las acciones para que no lleguen a producirse. En principio, pareciera que el cliente de mantenimiento será el departamento de operaciones, pero en el enfoque moderno del mantenimiento

actual el verdadero cliente es el consumidor final, ya que en una organización todos debemos trabajar para un fin común, la elaboración del objeto o servicio que nuestra organización ofrezca. Aunque el aparente cliente en este caso es único, sus necesidades pueden ser muy variadas en función del tipo de instalación.

De la misma manera que para lanzar un nuevo producto o servicio se estudia el mercado (clientes y sus necesidades) y el proceso de producción óptimo, mantenimiento debe estudiar las posibles fallas que se presenten en la instalación, el proceso para evitarlas y para repararlas.

En ocasiones, se comete el error de centrar el mantenimiento en las reparaciones olvidando el análisis de la falla. La manera de hacer una buena reparación pasa por evitar que ocurra la falla nuevamente, es por tanto imprescindible conocer las causas que la han originado y eliminarlas.

Empezaremos por definir qué es una falla, y los diferentes tipos y las clasificaciones de ellas.

3.3 Definición y Clasificaciones

Contreras (2011), comenta que la definición de falla viene dada como: deterioro o desperfecto en cualquiera de los órganos de un equipo que impide que cumpla el funcionamiento normal de éste.

Los mantenedores sabemos que no existe un equipo perfecto que esté libre de cualquier falla o anomalía a lo largo de su utilización.

En la industria una falla impide que la instalación mantenga el nivel productivo. Esta idea debemos ampliarla a las fallas que ocasionan falta de calidad del producto, falta de seguridad, pérdidas energéticas y contaminación ambiental.

Los equipos deben ser capaces de alcanzar la producción para la que se diseñaron pero, además, deben hacer el producto que se espera. Si la calidad del producto depende del estado de la instalación, cualquier hecho que haga descender esta calidad será una falla.

Si el estado o funcionamiento de las grúas, sistemas o elementos críticos puede ocasionar algún riesgo para las personas, o el resto de la instalación, también debe considerarse como una falla.

Que una grúa durante su operación afecte el medio ambiente también la consideraremos una falla. La normativa en este aspecto es cada vez más exigente y afecta no sólo a los procesos productivos sino también al estado y mantenimiento de los equipos.

Se considera como falla o avería cualquier hecho que se produzca en la instalación y que tenga como consecuencia un descenso en el nivel productivo, en la calidad del producto, en la seguridad o bien que aumente la degradación del medio ambiente.

Con lo anterior se podrá clasificar las fallas:

1. Las que afectan directamente al producto (cantidad-calidad) y
2. Las que afectan al entorno (seguridad-medio ambiente).

En la práctica es común encontrarse con fallas que pueden ser combinación de varios de estos tipos.

Existen otras clasificaciones y tipos de falla por diversos conceptos. Empezando por el origen de la falla, diferenciando los siguientes casos, figura 3.3 Origen de las fallas, anexo capítulo 3

1. Fallas provocadas por un mal diseño, a errores de cálculo del equipo o una mala selección. No conocer exactamente las condiciones en las que trabajará la máquina, despreciar efectos que luego resultan más importantes de lo que se esperaba o el exceso de simplificación en el aparato para obtener mejores precios, ocasiona errores de diseño que se adquiere con el equipo.
2. Fallas provocadas por defectos durante la fabricación o ensamblaje del equipo. Si se descuidan los controles de calidad de los materiales y piezas que componen el equipo, se encontrarán fallas potenciales incluidas en la máquina que no tardarán en aparecer.
3. Fallas provocadas por incumplimiento de reglas en el uso de los equipos. Proviene de un desconocimiento del manejo del equipo, por emplearlo en aplicaciones para las que no está diseñado y, sobre todo, por utilizarlo en condiciones superiores a los especificados por el diseñador.
4. Fallas provocadas por desgaste natural o envejecimiento. Se trata de roturas, desgastes, abrasiones, corrosión, fatiga, cavitación, etc.
5. Fallas provocadas por fenómenos naturales y causas aleatorias.

Desde el punto de vista de mantenimiento existen dos clasificaciones interesantes. La primera en función de la capacidad de trabajo de la instalación y la segunda en función de la forma de aparecer.

3.4 La estadística aplicada a las fallas.

Contreras (2011), habla de las fallas y sus diferentes clasificaciones. Y le interesa conocer también qué relación existe entre el tiempo de uso y la aparición de las fallas. La teoría más desarrollada sobre la falla es la probabilística, con el concepto de confiabilidad.

Se entenderá por confiabilidad $R(t)$ [Reliability] de una pieza o equipo la probabilidad de que éste cumpla, sin fallo, una cierta función durante un tiempo dado y bajo unas condiciones determinadas. Para poder llevar esta definición a la práctica hay que definir perfectamente el fallo y a controlar las variaciones en las condiciones de trabajo. El intervalo de tiempo que se fija puede ser sustituido por el número de ciclos u operaciones que realice el sistema pero, en cualquier caso, se debe disponer de un contador. Si falta rigurosidad en la definición o medición de cualquiera de estos parámetros, difícilmente se obtendrá resultados válidos.

Si se representa el número de fallos que aparecen en un equipo en relación al tiempo de funcionamiento, se obtendrá la función de densidad de fallo $f(t)$. Esta curva indicará que la probabilidad de que se produzca un fallo en un tiempo t será el área por debajo de la curva desde el origen hasta ese tiempo. De la misma manera se podrá definir el suceso contrario, Probabilidad de falla $P_f(t)$, como la probabilidad de que una pieza falle antes de un tiempo t , trabajando bajo unas condiciones determinadas. matemáticamente se tiene que :

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt$$

Otro concepto importante que puede ser útil es el índice de fallo $Z(t)$. Se

define como la probabilidad de que una pieza falle en el intervalo $(t, t + dt)$, habiendo llegado con vida al instante t .

Si se tiene un equipo reparable, es decir que cuando falla se repara inmediatamente para seguir funcionando, se podrá definir el <<tiempo medio entre fallas>> (TPEF) [Mean Time Between Failure-MTBF] como:

$$\text{MTBF} = 1/Z(t)$$

Estudiando la función de índice de fallo de un equipo, se obtendrá la curva de Davies, gráfica del tipo llamado de la bañera.

En este tipo de curva se observan tres zonas bien diferenciadas. La primera se caracteriza por un índice de fallo decreciente y se denomina mortalidad infantil. El número de equipos que fallaran en un instante próximo en relación a los que quedan con vida es cada vez menor. Este tipo de fallas son debidas a defectos de fabricación en el equipo, a defectos en los materiales no controlados por las inspecciones de calidad o a un mal ajuste inicial.

La segunda zona de la gráfica se caracteriza por un índice de falla constante o normal, se denomina vida útil del equipo o madurez.

Las averías que se producen durante este intervalo suelen ser aleatorias y las causas que las originan son sobrecargas, mal empleo de la instalación y variaciones en las condiciones de trabajo del equipo.

Por último, tenemos la zona de envejecimiento y/o desgaste donde el índice de fallas pasa a ser creciente. Las fallas provienen principalmente de los desgastes y de las degradaciones. Figura 3.4 anexo capítulo 3

Este tipo de curvas será más o menos alargado en el tiempo en función del

equipo a que corresponda. Para los equipos puramente mecánicos el desgaste comienza desde la puesta en marcha, por lo que la zona de vida útil tenderá a ser creciente y no muy larga. Los equipos eléctricos presentan, sin embargo, una vida útil proporcionalmente más larga

Arques (2009:03), considera que la fiabilidad de un equipo es la probabilidad de que dicho equipo se mantenga en funcionamiento correcto durante un tiempo determinado y bajo unas condiciones determinadas de marcha o actuación, si estas condiciones cambian, la fiabilidad cambia.

3.5 Definición y alcance de la función mantenimiento

Mantenimiento es la función empresarial a la que se encomienda el control constante de las instalaciones, así como el conjunto de trabajos de revisión y reparación necesaria para garantizar el cumplimiento de sus funciones, bien sea de los equipos productivos, instalaciones, servicios o instrumentación que posean las organizaciones.

La función de la gestión de mantenimiento se caracteriza por el desarrollo de una actividad a favor de la calidad y productividad.

Gómez (1998:69), define la mantenibilidad como la probabilidad de que un dispositivo, equipo o sistema sea restaurado completamente a su estado operacional dentro de un periodo de tiempo dado, de acuerdo con unos criterios de funcionamiento y procedimientos de reparación establecidos

La mantenibilidad al inicio del desarrollo de la civilización industrial no podía ser más caótica y totalmente desprovista de base técnica y económica, puesto que la propia producción estaba muy lejos de ser racionalizada y, en consecuencia, las

actividades colaterales no podían hallarse más que en estado de completo abandono.

Entre las diversas actividades auxiliares a la producción, el mantenimiento ha adquirido con el transcurso del tiempo una importancia cada vez mayor, incrementada, sin duda, por el aumento continuo del campo de aplicación de la máquina dentro de todos los sectores de la producción y en todas las fases posibles del ciclo de trabajo en el ámbito técnico y tecnológico, con complejidades cada vez mayores.

Como consecuencia, surge la necesidad de la intervención preventiva y correctiva organizada, cuya ejecución encuadrada dentro de esquemas modernos, servirá para contener **el progresivo aumento de costos** que en una situación similar, el mantenimiento compartiría inevitablemente. (Contreras, 2011)

Bravo & Barrantes (1989:23), comentan que el papel que desempeña el departamento de mantenimiento depende de la importancia que los planificadores y ejecutores de la política de la empresa le den a la gestión de mantenimiento

3.6 ¿El porqué del mantenimiento?

En cualquier empresa ya sea de servicio o producción, surge la necesidad de garantizar la disponibilidad y confiabilidad de dichos equipos, y esto se logra a través del mantenimiento.

Para lograr éxitos continuos y evolutivos, se debe disponer de metas a largo plazo y consolidar pequeños logros a corto plazo, es decir establecer paso a paso cada cambio planeado, identificando el tiempo y recursos para su ejecución, así, hasta llegar a la situación deseada. Figura 3.6 anexo capítulo 3

El balance adecuado de estas metas, tiene necesariamente que atender a un modelo de evolución que nos permita conocer hacia dónde vamos y en donde

estamos a cada instante. El modelo debe, además, considerar la evolución necesaria de la organización responsable por el desarrollo de la función mantenimiento. (Contreras, 2011).

3.7 Evolución del Mantenimiento y su relación con producción

A lo largo del proceso industrial vivido desde finales del siglo XIX, la función mantenimiento ha pasado diferentes etapas. En los inicios de la revolución industrial, los propios operarios se encargaban de las reparaciones de los equipos. Cuando las máquinas se fueron haciendo más complejas y la dedicación a tareas de reparación aumentaba, empezaron a crearse los primeros departamentos de mantenimiento, con una actividad diferenciada de los operarios de producción. Las tareas en estas dos épocas eran básicamente correctivas, dedicando todo su esfuerzo a solucionar las fallas que se producían en los equipos.

A partir de la Primera Guerra Mundial, y sobre todo, de la Segunda, aparece el concepto de confiabilidad, y los departamentos de mantenimiento buscan no sólo solucionar las fallas que se producen en los equipos, sino, sobre todo, prevenirlas, actuar para que no se produzcan. Esto supone crear una nueva figura en los departamentos de mantenimiento: personal cuya función es estudiar qué tareas de mantenimiento deben realizarse para evitar las fallas. El personal indirecto, que no está involucrado directamente en la realización de las tareas, aumenta, y con él los costos de mantenimiento. Pero se busca aumentar y hacer confiable la producción, evitar las pérdidas por averías y sus costos asociados. Aparece el Mantenimiento Preventivo, el Mantenimiento Predictivo, el Mantenimiento Proactivo, la Gestión de Mantenimiento Asistida por Ordenador, y el Mantenimiento Basado en Confiabilidad

(RCM). El RCM como estilo de gestión de mantenimiento, se basa en el estudio de los equipos, en el análisis de los modos de fallo y en la aplicación de técnicas estadísticas y tecnología de detección. Podríamos decir que RCM es una filosofía de mantenimiento básicamente tecnológica.

Paralelamente, sobre todo a partir de los años 80, comienza a introducirse la idea de que puede ser rentable volver de nuevo al modelo inicial: que los operarios de producción se ocupen del mantenimiento de los equipos. Se desarrolla el TPM, o Mantenimiento Productivo Total, en el que algunas de las tareas normalmente realizadas por el personal de mantenimiento son ahora realizadas por operarios de producción. Esas tareas «transferidas» son trabajos de limpieza, lubricación, ajustes, reaprietes de tornillos y pequeñas reparaciones. Se pretende conseguir con ello que el operario de producción se implique más en el cuidado de la máquina, siendo el objetivo último de TPM conseguir cero averías. Como filosofía de mantenimiento, TPM se basa en la formación, motivación e implicación del equipo humano, en lugar de la tecnología.

TPM y RCM no son formas opuestas de dirigir el mantenimiento, sino que ambas conviven en la actualidad en muchas empresas. En algunas de ellas, RCM impulsa el mantenimiento, y con esta técnica se determinan las tareas a efectuar en los equipos; después, algunas de las tareas son transferidas a producción, en el marco de una política de implantación de TPM. En otras plantas, en cambio, es la filosofía TPM la que se impone, siendo RCM una herramienta más para la determinación de tareas y frecuencias en determinados equipos.

En varias empresas ninguna de las dos filosofías triunfa. El porcentaje de empresas que dedican todos sus esfuerzos a mantenimiento correctivo y que no se

plantean si esa es la forma correcta en la que se obtiene un máximo beneficio muy alto. Son muchos los responsables de mantenimiento, ta, que creen que estas técnicas están muy bien en el campo teórico, pero que en su planta no son aplicables: parten de la idea de que la urgencia de las reparaciones es la que marca y marcará siempre las pautas a seguir en el departamento de mantenimiento.

3.8 Producción como cliente interno de Mantenimiento

Desde que las empresas entendieron que deberían diferenciar la sección de personal dedicada a producción del personal dedicado al cuidado de los equipos e instalaciones, los departamentos de mantenimiento han estado tradicionalmente subordinados a producción, siempre por debajo en la línea jerárquica de la empresa.

El concepto de cliente interno aparece a mediados de los años 80, con la introducción masiva de las formas de gestión de empresas japonesas. Es un concepto muy interesante para cadenas de producción, en las que un proceso de la producción proporciona la «materia prima» que se transformará en el siguiente proceso. Es necesario, en estos casos, que el proceso anterior compruebe que entrega un producto que alcanza perfectamente las especificaciones que necesita el proceso siguiente.

Este concepto de cliente interno se aplicó también a otros departamentos, estableciéndose en multitud de empresas que Mantenimiento es el «proveedor» de producción, y éste, por tanto, su cliente. Según esa concepción, otros departamentos, como Ingeniería, Métodos o Compras, también son proveedores de Producción.

Este planteamiento es más evidente aún en entornos no industriales, como un hospital, un aeropuerto, etc. En un hospital, por ejemplo, el personal médico

(asimilable con el personal de producción) suele estar muy por encima en la escala jerárquica respecto a los mandos de mantenimiento, a pesar de que es evidente de que la vida de un paciente puede depender del buen funcionamiento de un equipo (incluso del buen funcionamiento del sistema de aire acondicionado).

Esta forma de establecer la relación entre mantenimiento y operación tal vez sea válida en entornos en los que no existe gestión de mantenimiento, donde Mantenimiento tan solo se ocupa de la reparación de las fallas que comunica operación. Pero esta situación es muy discutible cuando el mantenimiento se gestiona. En estos casos. Operación y mantenimiento son dos elementos igualmente importantes del proceso productivo, dos ruedas del mismo carro. Un carro que, por cierto, tiene más ruedas: Ingeniería, Compras, Calidad, Administración... Para que la organización funcione es necesario que funcionen todos sus departamentos, cada una de sus áreas. Podríamos decir incluso que la eficiencia de una organización está determinada por el departamento que peor funcione. De nada sirve una empresa en la que el departamento de calidad es estupendo si el departamento comercial no consigue colocar en el mercado el producto o servicio; de poco sirve, igualmente, que el departamento de mantenimiento sea excelente si operaciones está pésimamente organizada, y viceversa.

Por tanto, en entornos en los que el mantenimiento se gestiona, se puede decir que operaciones no es el cliente de mantenimiento. (Contreras, 2011).

3.9 ¿Por qué debemos gestionar el mantenimiento?

1. Porque la competencia obliga a rebajar costos. Por lo tanto, es necesario optimizar el consumo de materiales y el empleo de mano de obra. Para ello es

necesario estudiar el modelo de organización que mejor se adapta a las características de cada planta; es necesario también analizar la influencia que tiene cada uno de los equipos en los resultados de la empresa, de manera que dediquen la mayor parte de los recursos a aquellos equipos que tienen una influencia mayor; es necesario, igualmente, estudiar el consumo y el stock de materiales que se emplean en mantenimiento; y es necesario aumentar la disponibilidad de los equipos, no hasta el máximo posible, sino hasta el punto en que la indisponibilidad no interfiera en el Plan de Producción.

2. Porque han aparecido multitud de técnicas que es necesario analizar, para estudiar si su implantación supondría una mejora en los resultados de la empresa, y para estudiar también cómo desarrollarlas, en el caso de que pudieran ser de aplicación. Algunas de estas técnicas son las ya comentadas: TPM (Mantenimiento Productivo Total), RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), Sistemas de Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador, diversas técnicas de Mantenimiento Predictivo (Análisis de vibraciones, termo grafías, detección de fugas por ultrasonidos, análisis amperimétricos, etc.).

3. Porque los departamentos necesitan estrategias, directrices a aplicar, que sean acordes con los objetivos planteados por la dirección.

4. Porque la calidad, la seguridad, y las interrelaciones con el medio ambiente son aspectos que han tomado una extraordinaria importancia en la gestión industrial. Es necesario gestionar estos aspectos para incluirlos en las formas de trabajo de los departamentos de mantenimiento.

Por todas estas razones, es necesario definir estrategias, formas de

actuación, es necesario definir objetivos y valorar su cumplimiento, e identificar oportunidades de mejora. En definitiva, es necesario gestionar mantenimiento. (Contreras, 2011)

La gestión de mantenimiento tiene como objetivos principales asegurar la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad de todos los equipos de la empresa que estos puedan cumplir con la función para la cual fueron proyectados con la capacidad y la calidad especificada. ([www//es.scrib.com.doc/3755032/PROGRAMA-DE-MANTENIMIENTO-ALQ-SA-Preliminar2](http://www.es.scrib.com/doc/3755032/PROGRAMA-DE-MANTENIMIENTO-ALQ-SA-Preliminar2))

CAPITULO 4

4.0 Gestión de mantenimiento en LCTPC

4.1 Mantenimiento preventivo

Arata (2009:50), comenta que para cumplir los objetivos planteados de mantenimiento es necesario incorporar el enfoque de confiabilidad y mantenibilidad.

El mantenimiento preventivo en este tipo de grúas es complejo a la vez que amplio, debido a que están compuestas por varios sistemas que interactúan entre sí para la operación general de la grúa, por tal motivo es necesario contar con recurso humano suficiente y especializado.

Hay un aspecto significativo y es que el personal que atiende el mantenimiento de este tipo de grúas debe de tener conocimientos específicos en la operación de los sistemas que componen la grúa, y el modo de operación de estos, así como conocer el principio de funcionamiento de los elementos críticos de cada sistema, y no es posible encontrarlo en ningún ámbito del mantenimiento industrial, dado que este tipo de trabajos solo se desarrolla en los ambientes portuarios. El personal dedicado al mantenimiento preventivo requiere de un tiempo de preparación que puede variar dependiendo de la cualificación y de la experiencia previa en este tipo de trabajo. Por tanto, los responsables de gestionar los mantenimientos de las grúas deben de contar dentro de su plantilla con el mejor personal técnico que pueda dar confiabilidad a los sistemas y equipo durante su intervención de mantenimiento.

Dentro del mantenimiento preventivo, se distinguen dos tipos de mantenimiento según su naturaleza intrínseca: mantenimiento preventivo mecánico y mantenimiento preventivo eléctrico.

Normalmente el mantenimiento mecánico por la naturaleza de sus componentes, siempre ha sido más desarrollado en la literatura tanto general de cualquier tipo de maquinaria como en particular en los diferentes fabricantes de grúas. Podemos encontrar mucha información explicando cómo debe realizarse el mantenimiento mecánico muy explícito y detallado, pero no así el mantenimiento eléctrico que se limita en ocasiones a los manuales del fabricante del equipo en particular.

4.2 Gestión de mantenimiento actual

El mantenimiento es enfocado en base a 4 procesos fundamentales:

- a. Proceso de mantenimiento preventivo
- b. Proceso de mantenimiento correctivo
- c. Proceso de mantenimiento predictivo
- d. Proceso de control de registros.

Gómez (1998:25), clasifica como correctivo, preventivo, predictivo y productivo total el mantenimiento y hace referencia que ninguna clasificación se utiliza de forma exclusiva.

En el proceso de mantenimiento se busca que el personal haga uso de su eficacia y eficiencia en la atención a los equipos.

Parra & Crespo (2012:03) define que eficiencia es actuar o producir con el mínimo esfuerzo, minimizando derroche o desperdicio de recursos.

4.2.1 Software de Mantenimiento Infor10

La tecnología forma parte de la a gestión del mantenimiento, una herramienta fundamental es la utilización de un software INFOR10, empleado en un inicio por las áreas de mantenimiento, almacén de refacciones y compras y servicio, en particular al área de mantenimiento. Este software permite administrar, controlar y crear estadísticos de todo lo relacionado con los servicios de mantenimiento de los equipos.

El sistema Infor10, contiene todos los equipos y sistemas, así como el programa de mantenimiento preventivo, mínimos y máximos de refacciones e insumos en almacén.

García [2010:05], comenta que en el uso de la informática para el manejo de todos los datos que se utilizan como son ordenes de trabajo, indicadores, gestión de actividades de mantenimiento, materiales, costes etc. Se busca tratar a través de la tecnología todos estos datos y convertirlos en información útil para la toma de decisiones.

4.2.2 Mantenimiento preventivo por fecha calendario

Este tipo de mantenimiento es planificado para los sistemas que no tienen un contador que muestre las horas operativas. Las actividades programadas por fecha calendario, en forma semanal, mensual, bimestral, trimestral y anual se emiten en forma automática por el sistema Infor 10 al llegar la fecha específica de planificación y estas pueden variarse de acuerdo a las necesidades de cambio que se presente. Normalmente los sistemas auxiliares son los que se programan sus preventivos mediante este procedimiento.

4.2.3 Mantenimiento preventivo por horometro

Las actividades programadas en base a horometro son emitidas automáticamente por el sistema en base a la captura del valor del horometro del equipo o sistema, cuando el sistema recibe el valor de horometro esperado para la emisión de las ordenes de trabajo, el sistema Infor10 las emite automáticamente, para su impresión.

Los valores de punto de disparo que se utilizan para la emisión de los preventivos en las grúas de pórtico primera maniobra están en base a valores establecidos por los fabricantes y por los resultados obtenidos en los intervalos iniciales de servicios, donde en algunas ocasiones es necesario disminuir estos periodos de inspección por las condiciones externas a los que son expuestos los componentes de los sistemas, caso contrario donde también los resultados indicaron que se requería de dar mayor tiempo a las inspecciones preventivas debido a que se encontraban en perfectas condiciones de lubricación, limpieza, nivel etc, ciertos componentes o elementos, ocasionando con lo anterior que no todo el preventivo estaba ya basado a las indicaciones del fabricante puesto que las condiciones de trabajo son muy variantes a las condiciones ideales.

Los sistemas de hoist, trolley y spreader se intervienen en duplos de 250 hrs. Mientras que, los sistemas de brazo y gantry que son los que trabajan menos y por ende el avance del horometro es muy lento la periodicidad de sus preventivos programados es en duplos de 25 hrs.

Los sistemas auxiliares que está conformado por componentes aislados de los principales sistemas y que conforman actividades como luces de trabajo, sistema trim list skew (TLS), elevador, sistema hidráulico, equipo de comunicación, grúa de cuarto

de máquinas, entre otros están planificados en periodicidades por fecha calendario, semanal, mensual, bimestral, trimestral, semestral y anual.

4.2.4 Proceso de mantenimiento preventivo

El proceso de mantenimiento preventivo inicia con la programación de los equipos a intervenir los lunes de cada semana para la realización de este programa. Los equipos programados para intervención en sus sistemas están en base a las hrs de trabajo que estos tienen en el caso de preventivo por horometro. Pero en el caso de los preventivos basados en fecha calendario, como son todos los sistemas auxiliares, como ejemplo, el sistema de (TLS), las luces de trabajo, los contactos eléctricos, el elevador, etc. Se planifican en base a la fecha asignada de intervención y clasificadas por prioridades dependiendo del orden de importancia, estos preventivos se planifican en un cronograma.

El programa elaborado contiene todos los equipos a intervenir especificando el sistema que requiere preventivo enviado vía correo electrónico a la gerencia, subgerencias y jefaturas de operaciones con el propósito de considerar en su plan de trabajo semanal, que equipos serán intervenidos en la semana en cuestión. Ver figura de solicitud de equipo 4.2.4-A anexo capítulo 4

Se solicita vía correo electrónico el equipo a intervenir turno a turno y en forma diaria, por horometro cumplido o fecha calendario, especificando los turnos necesarios para la conclusión de las actividades programadas.

Conforme se cumplen los horómetros de los sistemas a intervenir o llega la fecha especificada, las órdenes de trabajo de mantenimiento preventivo se emiten en el

sistema Infor10 y se imprimen para su entrega a los supervisores de turno y realización de las actividades.

El supervisor entrega las ordenes de trabajo al personal técnico eléctrico o mecánico, asignándoles directamente las actividades a realizar de la orden de trabajo, un punto muy importante que es donde se ve la visualización del supervisor y el control que debe de tener con su entorno es el de especificar qué actividades de la orden de trabajo que le está entregando al técnico debe realizar primero, dándole preferencia a las actividades de prioridad 1, que son las actividades de los sistemas de seguridad al equipo y protección al medio ambiente.

En base a las actividades a realizar su personal técnico, debe elaborar el listado de pedido con el material a utilizar en dichas actividades, que les será entregado por el personal del almacén de refacciones al dar el técnico el número correspondiente del listado de pedido.

El personal técnico revisa las actividades asignadas y recoge del almacén con un listado de pedido generado en el sistema Infor 10 por el supervisor de turno el material a utilizar en la elaboración de las actividades.

Realiza sus actividades de preventivo de acuerdo a las indicaciones del supervisor y reportándole de forma inmediata cualquier anomalía que encuentre.

Terminadas las actividades de la orden de trabajo, el supervisor y personal técnico realizan pruebas pre operativas a todos los sistemas del equipo a intervenir para asegurar la funcionalidad de todos los sistemas antes de su intervención.

Finalizadas las actividades programadas el técnico llena los espacios en blanco de la orden de trabajo colocando la fecha de intervención, su nombre y apellidos y el

tiempo empleado en cada actividad, marcando las actividades concluidas en el espacio de terminado ubicado en la orden de trabajo en cada actividad.

El supervisor realiza una inspección general y solicita un operador para realizar pruebas operativas al equipo en todos sus sistemas, con el propósito de asegurar la confiabilidad del equipo y que no se haya generado una falla durante la intervención. si las pruebas son satisfactorias, el supervisor llena un formato de entrega recepción de equipo, en donde el operador firma de que las pruebas realizadas fueron confiables, y se procede a entregar el equipo al área operativa.

El supervisor revisa el correcto llenado de la orden de trabajo por el personal técnico, revisando que los tiempos empleados estén dentro del estimado en la orden de trabajo para cada actividad. Si la orden de trabajo fue concluida en su totalidad, es entregada para su captura al área de mantenimiento preventivo, pero si no fue realizada en su totalidad se entrega al personal que entra al nuevo turno para su continuidad en el siguiente turno de estar aun disponible la grúa, o hasta tenerla nuevamente disponible para su intervención.

El jefe de mantenimiento preventivo revisa la orden de trabajo, verificando el correcto llenado en todos sus espacios y verificando las observaciones del personal de campo si la orden de trabajo está completamente llenada, pasa a manos de la capturista para su captura en el sistema Infor10 y cierre de la orden de trabajo, una vez cerrada es archivada por un año. Si la orden de trabajo fue llenada de forma incorrecta se regresa al supervisor para su corrección inmediata.

En el sistema Infor10 se encuentra el historial de:

- a). Servicios realizados a los equipos y sistemas
- b). Fechas de intervención de sus mantenimientos

- c). Nombre de los técnicos que intervinieron el equipo de
- d). Materiales utilizados por fecha, equipo
- e). Costos de materiales, combustible y mano de obra
- f). Horas de los sistemas y equipos trabajadas

4.2.5 Tareas de mantenimiento

Las tareas de mantenimiento preventivo para los equipos nuevos que cuentan aún con garantía por parte del proveedor, están realizadas basándose en los manuales, recomendaciones y sugerencias del equipo.

En los equipo donde que ya no cuentan con garantía, las actividades han sido modificadas considerando las variables del proceso y de la región donde operan los sistemas de las grúas, con el propósito de tener mayor seguridad en los equipos y mejor control administrativo, es en estos equipos donde se aplica la reingeniería de las actividades basándose estos cambios en los siguientes factores. Historial de operación de los elementos, recomendaciones del personal técnico de campo, carga de trabajo del equipo.

Dentro de las tareas de mantenimiento se engloban las tareas de inspección soporte técnico y pruebas pre operativas. Las primeras son realizadas durante la operación de la grúa, inspeccionando puntos críticos de los sistemas, las segundas son realizadas antes de iniciar operación ante buque, se inspeccionan parámetros y condiciones en los sistemas críticos de las grúas que puedan dejar fuera de servicio el equipo o provocar grandes tiempos de demora, (Tiempos muertos).

Las tareas están clasificadas en tres prioridades.

La prioridad 1: son las actividades a los sistemas que afectan al seguridad y el medio ambiente. Por ejemplo, una fuga de aceite del sistema hidráulico, cable de acero del sistema de hoist con alma oxidada, paros de emergencia puenteados eléctricamente.

La prioridad 2: son actividades en los sistemas, que de presentarse una falla, durante la operación, no afecta la seguridad de la operación, ni la protección al medio ambiente, el equipo o sistema puede seguir operando bajo inspección continua, pero tendrá que ser atendida en un corto tiempo.

La prioridad 3: son aquellas enfocadas a sistemas que de presentarse una falla, no afecta la seguridad de la operación, la protección al medio ambiente y se tiene un tiempo bastante amplio para ser atendida, como ejemplo de estas fallas se tendría la falla de alguna luminaria de trabajo, de fallar alguna luminaria durante el día, esta no afectaría la operación en lo más mínimo, de ser la falla durante la noche su afectación sería mínima, puesto que el conjunto de las demás luminarias iluminan la suficiente área para que el operador pueda continuar con la operación normal.

4.3 Gestión Seguridad Industrial y Protección al medio ambiente

Seonez (2000:17), opina que el medio ambiente es patrimonio de la naturaleza, y no nuestro

González (1995:43) establece una clara preponderancia de los aspectos de seguridad e higiene. La Seguridad Industrial es la encargada de la aplicación y seguimiento de normas y métodos tendientes a garantizar una producción que contemple el mínimo de riesgos en las actividades realizadas dentro de la terminal

portuaria de contenedores, tanto del factor humano como en los elementos (equipo, herramientas, edificaciones, etc.).

Rodellar (1988:43), considera que es necesaria una política de inspección de partes críticas que potencialmente puedan derivar en pérdidas importantes. Para ello debe existir una relación de esas partes o puntos críticos y su regular puesta al día. Este extremo debe ser auditado periódicamente

Los actos inseguros y las condiciones inseguras son los factores que provocan los accidentes.

Actos Inseguros: es algo que una persona hace o deja de hacer y que puede causar un accidente, ejemplos

No usar faja lumbar

No usar casco

Conducir sin respetar normas y reglas

Hablar por celular

Dejar sucia su área de trabajo

No respetar las reglas de seguridad e higiene de la empresa

Condiciones inseguras: Son las situaciones en las que se encuentra el área o las herramientas de trabajo, ejemplo

Carretera mojada

Rejas mal acomodadas

Aceite en el piso

Pasillos obstruidos, etc.

El personal de mantenimiento tiene la obligación de usar el equipo de protección personal adecuado a las actividades que se le encomienden turno a turno, para esto la empresa provee a sus empleados del equipo que requieran de manera gratuita.

El EPP se entrega a los empleados de nuevo ingreso, cuando las condiciones del equipo ya no son las adecuadas, el departamento de seguridad industrial les repone el equipo en forma inmediata.

Las 4 condiciones de riesgo encontradas en el ámbito portuario son:

Biofísicas: uso y manejo de solventes y pinturas.

Mecánicas: Poleas, tambores, reductores, etc.

Eléctricas: Subestaciones, acometidas, centros de carga.

Químicas: Fertilizantes, insecticidas, productos químicos.

Por tal motivo dependiendo bajo qué condiciones se estará laborando el personal deberá usar el equipo de protección personal adecuado durante la realización de sus actividades. Dicho uso del equipo será verificado por el supervisor de turno a cargo del técnico y también por el personal del departamento de seguridad e higiene,

quien es el encargado a nivel empresa de verificar que todo el personal este utilizando el EPP adecuado a sus actividades.

Menéndez, Fernández, Llaneza, Vázquez, Rodríguez, y Espeso (2009:46), consideran que los riesgos profesionales son situaciones potenciales por exposición de los trabajadores ligadas de forma directa o indirectamente al trabajo que se pueden materializar causando daños concretos.

En coordinación con el departamento de seguridad e higiene se programan pláticas de seguridad en forma periódica con el personal a fin de concientizar al personal técnico de los grandes beneficios que trae la adecuada selección, uso correcto y mantenimiento eficaz del EPP. De tal forma que para el personal sea una cultura el uso del EPP.

También en forma periódica se revisa por parte del supervisor de turno de cada técnico el EPP y las condiciones de las herramientas básicas, para proceder a su cambio en caso de ser necesario y reducir con ello el riesgo de algún accidente por estas causas.

La figura 4.3-C, anexo capítulo 4, muestra las partes principales del cuerpo que se están protegiendo con la utilización adecuada del EPP.

Por la parte eléctrica el uso de candados y tarjetas de seguridad en las intervenciones a la alta tensión ya sea en la subestación o transformadores es una obligación dar cumplimiento a esta regla por parte del personal de la empresa.

Enríquez (2004:130), menciona en su libro que la colocación de candados y tarjetas se debe hacer antes y después de cualquier trabajo de mantenimiento preventivo o servicio al equipo.

Toma un caso especial la seguridad y protección al medio ambiente, toda empresa socialmente responsable debe de tener esta consideración ya que hoy en día es una obligación que se debe de convertir en una cultura el proteger el medio ambiente a través del seguimiento de normas establecidas por las diferentes instancias gubernamentales que se encargan de vigilar que se de cumplimiento a las leyes y normas.

López (1999: 13), comenta que es indispensable que la empresa moderna cuente con políticas claras de medio ambiente derivadas de la visión de la empresa.

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) es la dependencia del Gobierno Federal encargada de impulsar la protección, restauración y conservación de los ecosistemas y recursos naturales y bienes y servicios ambientales de México, con el fin de propiciar su aprovechamiento y desarrollo sustentable. (<http://www.semarnat.gob.mx>)

Esta empresa es la encargada de vigilar que se cumplan a las normas y reglas dentro del recinto portuario por parte de la terminal portuaria de contenedores realizando visitas guiadas en forma periódica a las instalaciones de la terminal donde supervisa el control, almacenamiento, manejo y desecho de:

1. Llantas

2. Aceite, grasas y solventes
3. Baterías
4. Residuos tóxicos
5. Material contaminado por grasa
6. Uso adecuado de cilindros a presión, etc, etc

Equipo de protección personal utilizado en LCTPC.

1. **Casco:** Sus funciones básicas son las de impedir la penetración de objetos en el cráneo, desviar los objetos que puedan caer perpendicularmente, amortiguar la energía de los impactos, proteger contra riesgos térmicos y eléctricos.
2. **Guantes:** Para manejo de materiales; herramientas y equipos; y ejecución de maniobras.
3. **Tapones auditivos:** Utilizados para la protección auditiva del personal expuesto a grandes ruidos en las áreas donde labora.
4. **Chaleco con reflejante:** Utilizado por todo el personal que ingrese a las instalaciones portuarias, como medida de seguridad hacia las áreas de mayor tránsito de maquinaria pesada.
5. **Botas de seguridad:** Protege el pie contra humedad y sustancias calientes, contra superficies ásperas, contra pisadas sobre objetos filosos y agudos y contra caída de objetos, así mismo, protege contra el riesgo eléctrico.

6. **Lentes de seguridad:** Utilizados para la protección de los ojos en lugares donde existen partículas en suspensión que en un determinado momento se pueden incrustar en el ojo.

7. **Arnés y cabo de vida:** Protege en caso de una caída desde una altura. Para ello, es vital que se utilice correctamente. Deberán ser utilizado cuando se realicen trabajos a una altura superior a los 2 m. El arnés de seguridad no elimina el riesgo de la caída, sólo evitará llegar al piso.

Consideraciones generales.

1. El único EPP que sirve es aquel que el trabajador usa durante toda la exposición al riesgo.

2. Es responsabilidad de la línea de supervisión el uso correcto y permanente del EPP del personal a su cargo.

3. Es fundamental la participación de los supervisores en el control del buen uso y mantenimiento del EPP.

4. El supervisor debe dar el ejemplo utilizándolos cada vez que este expuesto al riesgo.

Ramírez (1996:11) comenta que la seguridad industrial significa más que una simple situación de seguridad física.

A lo cual se refiere entonces a la seguridad de bienestar personal de cada miembro de la empresa, un ambiente de trabajo idóneo que dependerá de la disciplina del personal, una economía estable que le permita su sueldo y un desarrollo personal y profesional donde debe de ser gestionado por la empresa hacia todo su personal, eso también es seguridad pensando en el empleado y estabilidad y bienestar de la empresa

4.4 Inspección y rutinas de mantenimiento

Con el propósito de asegurar una operación confiable y prolongar la vida útil de los sistemas y elementos de la grúa, cada sistema de la misma debe ser usado correctamente y debe de seguirse un plan de mantenimiento apropiado, basado en el manual del proveedor y en estadística de tiempo de vida de los elementos instalados en los sistemas del equipo.

González, Mateo & González (2006:217), Consideran que por mantenimiento tiene una gran importancia y trascendencia en la seguridad en la empresa, desde el punto de vista de la seguridad industrial, como de la prevención de riesgos laborales.

4.5 Programación del mantenimiento preventivo.

Tavares (2000), lo define como el proceso de correlación de los códigos de los equipos con la periodicidad, cronogramas de ejecución de las actividades programadas, instrucciones de mantenimiento, datos de medición, centros de costos, códigos de material y cualquier otro dato juzgado por el usuario como necesario para actuar preventivamente en los equipos.

Los intervalos de las revisiones dependen de la naturaleza crítica de los componentes de la grúa, y del grado de exposición del desgaste, deterioro o mal funcionamiento. Por tal motivo están las periodicidades están configuradas en base a la prioridad del sistema.

La programación de mantenimiento preventivo se en las grúas Quay Crane están separadas y asignadas por los principales sistemas de las grúas como son los sistemas auxiliares, hoist, gantry, trolley, spreader y brazo.

Los sistemas Auxiliares: Son componentes que no están vinculados con la operación directa de ninguno de los sistemas principales de la grúa, como ejemplo tenemos, las luces de trabajo, el T/L/S, el elevador, la grúa puente de la sala de máquinas, etc. Estos preventivos están planificados por periodicidad, en forma mensual, bimestral, trimestral, semestral y anual.

El preventivo a la alta tensión está planificado en forma semestral y anual por lo delicado de la intervención de estos componentes, Tabla 4.5.-A anexo capítulo 4

El brazo es un sistema que trabaja 2 hrs. en forma semanal, por lo tanto su horometro avanza muy lentamente, dándonos una frecuencia en sus preventivos casi en forma trimestral, por tal motivo su configuración en están en duplos de 25 hrs. como lo muestra la tabla **4.5-B anexo capítulo 4**, de los códigos de los preventivos

El gantry al igual que el sistema de brazo, trabaja alrededor de 2 hrs. en forma semanal, por lo tanto su horometro también avanza muy lentamente, dándonos una frecuencia en sus preventivos casi en forma trimestral, por tal motivo su configuración en están en duplos de 25 hrs. como lo muestra la tabla 4.5-C anexo capítulo 5 de los códigos de los preventivos.

El hoist, es uno de los sistemas que más trabajan en forma semanal, con una a frecuencia aproximada de 40 horas semanales. Por tal motivo su frecuencia de mantenimiento está configurada en duplos de 250 horas, como lo muestra la tabla 4.5-D, anexo capítulo 4.

El Trolley, al igual que el Hoist, es uno de los sistemas que mas trabajan en forma semanal, con una a frecuencia aproximada de 30 horas semanales. Por tal motivo su frecuencia de mantenimiento está configurada en duplos de 250 horas, como lo muestra la tabla 4.5-E anexo capítulo 4.

El Spreader es el único sistema que puede ser desmontado de la grúa y colocar otro mientras se da preventivo, no generando con esto tiempos de intervención en las grúas donde están montados, el manual del fabricante marca diferentes periodicidades de preventivo, pero en base al estadístico operativo del Spreader se tienen sus preventivos en duplos de 250 horas, como lo está mostrando la tabla 4.5-F anexo capítulo 4.

4.6 Indicadores de mantenimiento preventivo.

Lo que no se puede medir, no se puede mejorar, Sin medición no hay mejora, no es posible evaluar, planificar, diseñar, prevenir, corregir y mantener e innovar los procesos que se llevan a cabo en la gestión de mantenimiento.

González (2004:33), opina que cuando puedes medir aquello de lo que está hablando y expresarlo en números, puede decirse que sabes algo acerca; pero cuando no puedes expresarlo en números, tu conocimiento es muy deficiente y poco satisfactorio.

4.6.1 Objetivo de los indicadores de mantenimiento.

1. Identificar problemas técnicos
2. Identificar problemas de gestión
3. Control de costos
4. Verificar el cumplimiento de las expectativas del cliente.(disponibilidad y confiabilidad de los equipos)
5. Productividad.

Díela (2011:9) asegura que la medición permite planificar con mayor certeza y confiabilidad, discernir con mayor precisión las oportunidades de mejora

4.6.2 Indicadores utilizados en el departamento de mantenimiento

Las tablas 4.6.2-A, ubicada en el anexo capítulo 4, muestran 18 indicadores que son monitoreados en el proceso de mantenimiento a las grúas y que permiten identificar el comportamiento y cumplimiento de los 5 objetivos de los indicadores ya descritos.

4.7 Mantenimiento correctivo.

Se basa en la intervención de los equipos o sistemas en el caso de avería, manifestada como el colapso del equipo que ocasiona la interrupción súbita de la operación.

El mantenimiento correctivo se clasifica como:

- a). Mantenimiento correctivo con eliminación de avería. Consiste en la reparación de emergencia, realizando el cambio de los elementos dañados. Esta actividad se realiza bajo fuertes presiones por el área operativa debido al atraso que ocasiona la falla en la planeación operativa o de producción.
- b). Mantenimiento correctivo con eliminación de causa. Consisten en el cambio del elemento dañado en el menor tiempo posible, pero también en el análisis de la falla para eliminar la causa que lo causó.

4.7.1 Mantenimiento Correctivo no Planificado

El mantenimiento correctivo no planificado es aquel que se presenta cuando reportan una falla en una grúa que está en operación, esta falla provoca que se detenga la grúa para su revisión y reparación, por lo cual genera tiempo de demora en la productividad mientras es atendida y corregida la falla. Al tiempo que se genera mientras se corrige la falla se le llama tiempo muerto.

Este mantenimiento que surge de forma espontánea durante la operación requiere de una atención inmediata por parte del personal técnico del departamento de mantenimiento, con el propósito de atender la falla de forma inmediata, diagnosticarla y corregirla, tratando de afectar la operación el menor tiempo posible. La tabla 4.7.1-A anexo capítulo 4, muestra la atención al cliente en los siguientes puntos:

Indicador de 5 minutos: es el tiempo máximo que tiene el personal técnico para llegar a la grúa cuando le reporta la falla.

Indicador de 20 minutos: es el tiempo que tiene el personal técnico para diagnosticar y valorar la falla, reportar al área operativa el tiempo que se llevara corregir la falla.

Indicador de 30 minutos: es el tiempo máximo que tiene el personal técnico para corregir una falla, de llevarse la falla mayor tiempo, no se estará cumpliendo con el indicador.

Estos son los indicadores de atención al cliente en el mantenimiento correctivo ocurrido durante la operación de las grúas.

4.8 Mantenimiento Correctivo Planificado

El Mantenimiento correctivo planificado consiste en la planeación de reparación de componentes del sistema de la grúa cuando se dispone del personal adecuado, repuesto, y documentos técnicos necesarios para efectuarlo. Este tipo de intervenciones se deriva de inspecciones tanto del personal de mantenimiento como pueden ser las jefaturas, supervisores o técnicos, así como del área operativa, que puede ser el supervisor, controlador u operador de la grúa.

También se derivan de las actividades de mantenimiento preventivo en el momento en que el técnico encuentra algún daño al estar realizando sus actividades programadas. Lo cual por el hecho de ser un daño que no estaba considerado en las actividades de preventivo, se atiende como un correctivo planificado debido a que generara hrs hombre, consumibles y refacciones que no estaban en las programadas para su realización y/o cambio.

También se deriva del análisis de fallas por el analista el ubicar fallas repetitivas en un solo sistema, el cual se busca tener los recursos y tiempo disponible del equipo para su intervención. El mantenimiento correctivo planificado no genera tiempo muerto en el equipo y mayor confiabilidad en su aplicación, mas sin embargo impacta considerablemente en la disponibilidad del equipo para el área operativa y en el incremento del costo de mantenimiento.

Este tipo de correctivo no genera tiempos muertos ni demoras en la productividad, pero si genera disminución en la disponibilidad del equipo. La principal ventaja del correctivo planificado, es que se planean las actividades para realizarlas con un tiempo específico, y asegurando el material adecuado y necesario.

4.8.1 Proceso de mantenimiento correctivo

Inicia cuando el área de operaciones reporta a mantenimiento sobre una falla en el equipo, el supervisor de turno eléctrico o mecánico asigna un técnico para atender el reporte, regularmente al inicio de la atención de la falla asisten 02 técnicos, uno mecánico y el otro eléctrico para la valoración de la falla.

Se valora la falla por parte del personal técnico y reporta al supervisor, si la falla no deja fuera al equipo, y no afecta la operación, el equipo sigue trabajando bajo inspección técnica, y se atiende como correctivo programado.

Si la falla requiere de algún recurso inexistente en almacén de refacciones, pero es crítica, el equipo se saca de operación y se atiende como correctivo no programado. Si se tiene alguna grúa disponible, se cambia para no afectar la operación.

Si la falla se puede atender dentro del turno, se le especifica el tiempo al área de operaciones. Si la reparación lleva menos de 30 minutos, se tiende la falla y se entrega a operaciones. Pero si la falla se lleva más de 30 minutos, se cambie el equipo por uno que este en disponible.

En la atención a la falla, el supervisor realiza la orden de trabajo en el sistema infor10, así como el listado de pedido donde solicita las refacciones a utilizar, y entrega al técnico asignado. Una vez finalizada la actividad del correctivo, se realizan pruebas al equipo y sistemas de funcionamiento.

Si las fallas son satisfactorias se entrega el equipo a operaciones, supervisor y técnico llenas formato de entrega recepción de equipo, como evidencia de la corrección de la falla.

El técnico llena la orden de trabajo y entrega a supervisor.

El llena formato de conciliación de tiempos del equipo, y revisa la orden de trabajo, si esta sin error en el llenado la entrega a la jefatura de mantenimiento preventivo para su captura.

La Jefatura de mantenimiento preventivo revisa la orden de trabajo cuando se ha concluido en su totalidad de todas sus actividades programadas, verifica todo esté en orden y entrega a capturista para su captura y archivo.

4.9 Mantenimiento predictivo

Camero (2012), Describe que el mantenimiento predictivo consiste en el control de determinadas variables que informan sobre la condición de los equipos, permiten diagnosticar fallos y establecer el tiempo de vida remanente de las maquinas

4.9.1 Definición de Mantenimiento Predictivo.

Mantenimiento basado específicamente en detectar una falla antes de que suceda, para dar tiempo a corregirla sin perjuicios al servicio, ni detención de la producción, etc. Estos controles pueden llevarse a cabo de forma periódica o continua, en función de tipos de equipo, sistema productivo, etc.

Para ello, se usan para ello instrumentos de diagnóstico, aparatos y pruebas no destructivas, como análisis de lubricantes, comprobaciones de temperatura de equipos eléctricos, etc.

4.9.1.1 Ventajas del Mantenimiento Predictivo:

- 1.- Reduce los tiempos de parada.
- 2.- Permite seguir la evolución de un defecto en el tiempo.

- 3.- Optimiza la gestión del personal de mantenimiento.
- 4.- La verificación del estado de la maquinaria, tanto realizada de forma periódica como de forma accidental, permite confeccionar un archivo histórico del comportamiento mecánico.
- 5.- Conocer con exactitud el tiempo límite de actuación que no implique el desarrollo de un fallo imprevisto.
- 6.- Toma de decisiones sobre la parada de una línea de máquinas en momentos críticos.
- 7.- Confección de formas internas de funcionamiento o compra de nuevos equipos.
- 8.- Permite el conocimiento del historial de actuaciones, para ser utilizada por el mantenimiento correctivo y facilita el análisis de las averías.
- 9.- Permite el análisis estadístico del sistema

4.9.1.2 Gestión actual de mantenimiento predictivo.

Plaza (2009:14), comenta que el predictivo permite conocer permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables físicas,

Por tal motivo es indispensable el seguimiento del predictivo en el proceso de mantenimiento a las grúas de primera maniobra en la empresa.

La tabla 4.9.1.2 anexo capítulo 4, muestra los sistemas y componentes que están incluidos en el proceso de mantenimiento predictivo.

1. Spreader's: Los candados son los elementos que entran en la cantonera del contenedor, con el cual es levantado. Es un elemento el cual debe estar en perfectas condiciones físicas, por tal motivo periódicamente se revisa con un kit de líquidos penetrantes en busca de fisuras. De encontrarse fisuras en los candados estos son cambiados por nuevos.

2. Los reductores de los sistemas de hoist, trolley utilizan aceite mobile 60XP320, mientras que los reductores de brazo llevan aceite mobile 600Xp220. Este aceite se monitorea en forma periódica para asegurarse cumpla con sus propiedades químicas específicas que requiere la operación de los reductores, en base a los resultados del laboratorio se planifica el cambio de aceite en los reductores.

3. Cajas de conexiones: Una actividad del preventivo es el reapriete en las borneras de las cajas de conexión, para eliminar posibles falsos, pero esto puede provocar una falla, si no se hace de forma adecuada, por tal motivo se monitorean los puntos de conexión con la cámara termográfica, y solamente donde se detecta un punto caliente es donde se reaprieta, eliminando y reduciendo con esto fallas.

4. Maquinas eléctricas: Es monitoreada la impedancia de todos los motores eléctricos de las grúas y llevado un estadístico de estas lecturas para la programación de sus preventivos mayores.

5. Cables de acero: se monitorea periódicamente las condiciones del cable de acero, bajo los criterios del proveedor y del estadístico de estos elementos para asegurar la confiabilidad de estos cables en operación.

4.10 Administración del recurso humano

Para poder dar cumplimiento a los objetivos del departamento de mantenimiento se requiere contar con los recursos necesarios, estos son elementos que, administrados correctamente, permitirán o facilitarán alcanzar los objetivos. Existen tres tipos de recursos:

1.- Recurso financiero: Utilizados para la adquisición de consumibles, refacciones y servicios para la manutención de las grúas.

2.- Recurso material: Comprende las grúas, infraestructura adecuada refacciones y consumibles.

3.- Recurso humano: Esfuerzo humano, conocimientos, experiencias, motivación, intereses vocacionales, aptitudes, actitudes, habilidades, potencialidades, salud.

Crear, mantener e intensificar relaciones de trabajo en el entorno de producción, resolviendo los conflictos interpersonales que se presenten y participando en la puesta en práctica de procedimientos de reclamaciones y disciplinarios. (Ministerio de educación y cultura, p.33).

Estas son las características que debe de tener el recurso humano perteneciente al ámbito portuario.

Gómez (1999), se cuestiona en su libro: ¿Se contrata a una profesión que es ejercida por una persona, o a una persona para que ejerza una profesión?

4.10.1 Organigrama del departamento de mantenimiento

Delgado & Ena (2006,:06), definen que un organigrama es la representación grafica de la estructura organizativa de una empresa. En el se reflejan los niveles de áreas de que consta la empresa, así como sus relaciones jerárquicas y funcionales entre ellas.

Como lo muestra la Figura 4.10.1 anexo capítulo 4, el subgerente es el encargado y responsable total de todo el departamento. Existen 3 jefaturas que dependen directamente el. La empresa labora en 3 turnos de 8 hrs cada uno bajo el siguiente horario.

Turnos **A** (8:00 a 16:00), **B** (16:00 a 24:00) y **C** (24:00 a 8:00).

Por tal motivo en el organigrama se puede apreciar que 3 supervisores mecánicos dependen directamente del jefe del área mecánica y 3 supervisores eléctricos dependen directamente del jefe del área eléctrica. Uno por turno, es decir en cada turno se encontraran laborando 2 supervisores de mantenimiento, uno del área eléctrica y otro del área mecánica.

Cada supervisor tiene a su cargo 3 técnicos por turno. Por tal motivo se tiene 9 técnicos eléctricos y 9 técnicos mecánicos para cubrir los 3 turnos de manera homogénea por ambas áreas.

Por la parte de mantenimiento preventivo, la jefatura tiene a su cargo a 2 supervisores, uno del área eléctrica y el otro del área mecánica, el supervisor de mantenimiento preventivo eléctrico tiene a su cargo 3 técnicos eléctricos y electrónicos, por la parte mecánica hay una variación respecto al personal bajo responsabilidad del supervisor mecánico de mantenimiento preventivo, el cual trabaja con 3 técnicos mecánicos, 2 soldadores, 2 vulcanizadores y una capturista.

El grupo de mantenimiento preventivo mantiene un horario de trabajo de 8:00 a 16:00 y 16:00 a 24:00 hrs, es decir laboran en los turnos A y B respectivamente.

4.10.2 Descripción del puesto y responsabilidades.

Hace referencia a las tareas, los deberes y responsabilidades del cargo, mientras tanto que las especificaciones del cargo se ocupan de los requisitos que el ocupante debe realizar. Por lo tanto, los cargos se habilitan de acuerdo con las descripciones y esas especificaciones mencionadas.

En base a esta definición se elaboraron las descripciones de los puestos creados en el departamento de mantenimiento.

CAPITULO 5

5. La cultura de la confiabilidad

5.1 La Nueva era del mantenimiento

El entorno de economía global, las empresas de Clase Mundial, han encontrado que el mantenimiento no debe seguir siendo el departamento de antes; aquél considerado el único departamento en la empresa que " sólo gasta". La tendencia es hacia la modernización de las estrategias de mantenimiento como el Mantenimiento Productivo Total, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), Mantenimiento Basado en Condición (CBM), y la utilización de tecnologías de vanguardia.

Los programas de mantenimiento preventivo funcionan extraordinariamente **hasta cierto nivel**, pero estos no pueden asegurar económicamente la confiabilidad y disponibilidad del equipo y es por esto que hoy se necesario realizar un cambio de paradigmas en lo que a gestión de mantenimiento se refiere.

5.2 Definición de la Cultura de la Confiabilidad

La cultura de la confiabilidad se puede describir con tres palabras: Prioridad., Enfoque y pro-acción. Estos son componentes esenciales de la confiabilidad. La cuestión es:

¿Enfocarse en qué? y ¿pro-actuar para qué? La prioridad le otorga al enfoque y a la pro-acción su dirección y soporte. Los tres componentes son de extrema importancia si las operaciones confiables han de producir resultados verdaderamente notables.

5.2.1 Prioridad

Existe prioridad cuando la alta gerencia define claramente la dirección institucional y asigna responsabilidades. Existe otro factor importante que la gerencia debe tener en cuenta, es decir, los mecanismos de soporte para facilitar el trabajo de la gerencia. De esta forma, demuestra contundentemente, a la población involucrada, que fija la dirección que los gerentes de producción están siguiendo.

Para desempeñar con efectividad un cambio cultural necesario, la gerencia, debe enfocar sus esfuerzos estableciendo una mirada en perspectiva. La redacción de la visión se torna extremadamente importante si ha de influir en cambios de conducta necesarios.

Para establecer prioridades, la gerencia general, debe participar en un debate abierto con su personal sobre los cambios de paradigmas necesarios para lograr resultados significativos. El resultado será acordar qué pensamiento debe cambiarse. Sabiendo esto, la gerencia general, puede proveer el soporte necesario. También la gerencia habrá de esperar que personal de la organización no estén de acuerdo con un cambio esperado en su comportamiento. Pero en realidad, si no se percibe ninguna disconformidad, queja, o "ruido", no se estará dando ningún cambio.

Resumiendo, cuando se necesita un cambio cultural para lograr un mejor desempeño, la gerencia debe formar parte del proceso. Necesita examinar qué pensamiento y comportamiento deben modificarse, incluyendo el gerencial, para dar inicio al proceso de cambio. Ciertamente necesita fijar la visión, metas y valores que quiere que la organización logre y debe realizar los cambios de política necesarios.

Además, es necesario que provea un soporte visible, buscar los agentes de cambio y eliminar los obstáculos. (Contreras, 2011)

5.2.2 Enfoque

El enfoque es la dirección de la capacidad y energía humanas hacia los temas importantes y oportunidades que dan como resultado beneficios significativos.

La mayoría de las instalaciones industriales cuentan, dentro de sus instalaciones, la capacidad de resolver la mayor parte de sus problemas pero, aun así, continúan sufriendo dificultades por fallas recurrentes.

5.2.3 Proacción

Se define a la proacción como toda actividad de mejora, visión y/o ejecución que prevenga fallas humanas, de equipos y procesos o que atenúa la consecuencia de una falla.

a. Proacción Mecánica

Para lograr una proacción mecánica debemos predecir cómo nuestras máquinas están fallando o pueden llegar a fallar. Más adelante hablaremos de una técnica llamada Análisis de Modo y Efectos de Falla, una herramienta que nos ayuda a identificar modos de falla (lo que realmente sucede). Teniendo conocimiento de los modos de falla, podemos tomar medidas para evitar estos eventos y desarrollar señales tempranas de advertencia de los hechos inminentes. Lo que generalmente falta son estándares aceptables de performance y cómo lograrlos.

Tomemos, por ejemplo, un equipo rotante como son las bombas. Los líderes

están utilizando normas que les permiten obtener seis años promedio de vida útil a sus bombas, en vez de los dos años que generalmente se considera aceptable.

b. Proacción de Procesos

Sabemos quiénes son los ejecutantes en nuestras unidades Operacionales. Lo que generalmente desconocemos son los factores que los separan de la persona Operacional promedio de campo. Cuando pensamos en estos ejecutantes o grupos de ejecutantes, en general, reconocemos sus características de comportamiento positivas. Por supuesto que esto es normal, pero lo que necesitamos hacer es definir este personal ejemplar no en términos de su comportamiento sino en términos del desempeño demostrado. Una vez que los parámetros de desempeño son definidos, en general en términos de cantidad, calidad o costo, necesitamos definir la brecha entre los ejemplares y el promedio. Es probable que se necesite más de una forma de medición. También es probable que, al reflexionar, encontremos que los parámetros que buscamos, actualmente no se miden. Si este fuera el caso, será necesario fijar los medios para medir la brecha del desempeño.

Una vez que los parámetros han sido determinados, definirán las brechas del desempeño para poder aprovechar las oportunidades de mejorar el desempeño promedio. El análisis de la brecha puede revelar que el operador promedio carece de confianza en su habilidad para manejar algunas condiciones fuera de norma, o quizás algunos turnos realizan un mejor trabajo de equipo que otros. Cualquiera fuera el caso, es obligación de la gerencia desarrollar una estrategia para cerrar la brecha.

La tendencia es centrar nuestra atención en las actitudes y también darnos cuenta lo difícil que es influir directamente en las actitudes. Se sugiere que se centre la atención en el desempeño para identificar al personal ejemplar y definir la brecha y la oportunidad.

Luego nos centramos en el análisis de las razones que originan la brecha y en el desarrollo de estrategias para cerrar la brecha. Estas estrategias incluyen capacitación, herramientas, ayudas, programas de reconocimiento, refuerzo en el campo de métodos aprendidos, como así también, cambios en el sistema de gerencia.

Los cambios en el sistema de gerencia pueden incluir: acelerar el sistema de toma de decisiones, la instalación de mecanismos de feedback, y/o auditorias en el campo, por mencionar algunos.

☐ Si creemos en las limitaciones falsas tales como no ser capaces, como seres humanos, de correr una milla en menos de cuatro minutos, seremos incapaces de lograr ningún progreso significativo ☐

c. Proacción Humana

La proacción Humana comienza inculcando paradigmas productivos. Para lograrlo, necesitamos conocer algo sobre los paradigmas.

Lo primero a considerar es la distinción entre creencia y paradigma. Una creencia es una convicción muy enraizada, un valor o forma de hacer algo que nosotros, como individuos, poseemos. Cuando la misma creencia es compartida por un número importante de individuos, como ser un departamento o una planta, se

transforma en un paradigma. Por lo tanto un paradigma siempre es una creencia pero una creencia no siempre es un paradigma.

La Proactividad en el personal de una empresa es muy importante, ya que se pueden generar líneas de acción que llevaran a un mejor rendimiento de los tres recursos básicos de la empresa.

Rey (2002:19), denomina el auto mantenimiento a la actividad de mantenimiento que consigue que todos los operarios de fabricación asuman tareas de mantenimiento basadas en inspecciones, controles, preventivo, predictivo, correctivo y mejoras.

Pero para que esto se de en las empresas debe trabajarse arduamente con la proactividad de todo el personal, sobre todo de los operarios,

5.3 Confiabilidad Operacional

Un programa de confiabilidad operacional es una mezcla única de soluciones técnicas, pensamiento estructurado, motivación de trabajadores y desarrollo organizacional, todo asegurado por experiencias de primera mano probadas y datos fuertes.

Es un conjunto de actividades, que orientadas en un fin común, buscan el trabajo en equipo y la excelencia empresarial. Significa tratar de una manera estructurada de mejorar cada uno de los aspectos que se involucran en ella: Confiabilidad Humana, Confiabilidad en las Reparaciones, Confiabilidad de Equipos y Confiabilidad de Procesos. Todo esto en la búsqueda de Mejorar la Competitividad.

(Contreras, 2011). Ver figura 5.3 anexo capítulo 5

Insistir en asignar o crear responsabilidad de la confiabilidad operacional al departamento de mantenimiento están dejando de lado una serie de aspectos que pueden mejorar su productividad.

Mas sin embargo quienes aceptan ésta como un tema colectivo y trabajan para mejorar de una manera continua tienen una serie de ventajas competitivas sobre los anteriores. La confiabilidad operacional como un tema colectivo obtiene mayores resultados en sus planes de mejoramiento que aquellos que no lo hacen.

La confiabilidad operacional tiene cuatro entradas mayores, sobre las cuales se debe actuar si se requiere un mejoramiento continuo sostenido a largo plazo. El mejorar cada una de ellas genera cambios en la cultura en la organización haciendo que esta se convierta en una organización con un amplio sentido de la productividad.

Cualquier hecho aislado de mejora en alguno de los cuatro frentes de confiabilidad operacional puede traer beneficios, de hecho los trae, pero al no tomar en cuenta los demás factores es probable que estos sean limitados y/o diluidos en la organización y pasen a ser solo el resultado de un proyecto y no de una transformación.

Estos son los típicos casos de los proyectos aislados de mantenimiento centrado en la confiabilidad que está enfocado y es muy útil en la confiabilidad de los sistemas y equipos, gestión de calidad total enfocada y poderosa en la confiabilidad de los procesos/calidad de producción, etc.

Caso diferente es el manejado en la cultura Japonesa donde sus planes agresivos de mejoramiento continuo usan toda una mezcla de técnicas que les permiten avanzar al ritmo deseado y generar la revolución industrial de la Calidad, pero su TQM está acompañado del Mantenimiento Productivo Total y de planes agresivos de mejoramiento de la confiabilidad humana, cubriendo de este modo los cuatro factores de la confiabilidad operacional.

En el mundo occidental la historia es diferente y generalmente se tienen fronteras muy definidas (alambradas y minadas) entre producción, mantenimiento, recursos humanos, ingeniería, etc. Esto también aísla los proyectos de mejoramiento y estos todo el tiempo chocan con la necesidad de que su "vecino" colabore y es allí donde salen a flote los límites (a veces letales) de los proyectos de mejoramiento continuo.

Cuantas veces se ha escuchado decir en el ámbito industrial, si operaciones colabora sería estupendo, o escuchado decir: ¡Ese no es mi trabajo ni mi responsabilidad y viceversa. Esas son actitudes que deben ser erradicadas de todos los departamentos de las empresas y trabajar como uno solo, sin colocar fronteras, es necesario recordar y que las empresas manejan una misión y visión que aplica a todos los departamentos que conforman la empresa y que es responsabilidad de todos los equipos multidisciplinarios colaborar para dar cumplimiento.

Pues bien, algunos se están atreviendo y lo que parecía al principio un mundo industrial utópico, comienza a aparecer en algunas empresas, donde está reinando un ambiente festivo de trabajo en equipo, que involucra todos los departamentos de la

empresa, donde los problemas son vistos como oportunidades de mejora y son resueltos según su impacto en el negocio y no en función de jerarquías, donde la capacitación obedece exclusivamente a las necesidades de la empresa y del factor humano, donde cada cual acepta sus responsabilidades sobre la productividad y el concepto de culpa cede ante una frase de mayor peso enfocados hacia el cumplimiento de los objetivos de la empresa.

Esto significa soporte gerencial de alto nivel y convencimiento de que no es una tarea fácil a corto plazo, donde se debe hacer una inversión en capacitación y concientización, tiempo, dinero y recursos y donde los resultados superan con creces la inversión.

El benchmarking, la declaración de misión, la revisión de estrategias de mantenimiento y la reingeniería del proceso empresarial son actividades populares de fin de siglo, grandes cantidades de dinero son invertidos y los resultados son en ocasiones decepcionantes. Entonces la pregunta es, ¿mejorar la confiabilidad operacional que lo haría diferente?

Una organización podría estar bien ubicada a lo largo del camino de la confiabilidad operacional, pero si algo de lo siguiente suena familiar, la empresa tiene grandes oportunidades de mejoramiento tangible:

- La dirección de la compañía cambia constantemente, debido a rotación gerencial.
- El enfoque está en costos y no en valores.
- El mantenimiento es considerado "Un mal necesario y costoso".

- Las comunicaciones son demasiadas, muy pocas o sin enfoque.
- No hay un programa de mejoramiento que cubra toda la compañía.
- Se emplearon consultores que crearon un reporte, el cual nadie vio y no se tomaron acciones al respecto.

Si una empresa se ve descrita en alguna de las declaraciones anteriores es necesario atreverse a comenzar un programa de mejoramiento en confiabilidad operacional y enmarcarse en el excitante viaje hacia el desempeño de clase mundial.

La confiabilidad operacional está basada sobre una aproximación de sentido común hacia la eficiencia empresarial que introduce una aproximación sistemática hacia la remoción de las causas de fallas y los actores de mala confiabilidad que afectan de alguna manera los procesos críticos y la rentabilidad total de la empresa.

Es la fuerza de trabajo quien resuelve los problemas. Pero sin el compromiso y el involucramiento de la gerencia y de sus colaboradores cercanos (subgerentes, jefaturas y coordinaciones), aun su mayor esfuerzo no triunfará.

La confiabilidad operacional crea un nuevo papel para los gerentes que los obliga a crear el ambiente para que los resultados sean obtenidos.

Los resultados pueden ser estruendosos, tanto en términos de productividad y rentabilidad mejorada como también en términos de motivación de los equipos, actitudes, seguridad y entendimiento a largo plazo.

El mejoramiento de la confiabilidad operacional es una ruta flexible y a la medida para empresas que buscan la excelencia. Es un proceso de mejoramiento

continuo basado en hechos, alcanzado por una armonía de implantación de herramientas y técnicas basadas en riesgo.

Contreras, (2011), afirma que las compañías que integran herramientas, técnicas y desarrollo organizativo se benefician al obtener decenas de millones de dólares cada año.

5.4 Ingeniería de Confiabilidad en la Organización

La gestión y el mantenimiento de los activos ha evolucionado considerablemente a lo largo del tiempo dedicando grandes esfuerzos para el desarrollo, que adicionalmente ha debido generar importantes cambios en la cultura de la empresa, con el propósito de superar la visión tradicional, que considera el mantenimiento solamente como una unidad de gasto, por una nueva visión, en la que el mantenimiento se transforma en una unidad de resultado que hace mas competitiva a la empresa, y que amplía su acción en el desarrollo de proyectos de mejora continua. La confiabilidad es uno de estos proyectos que se adjudica al departamento de mantenimiento dentro de cualquier empresa..

Inicialmente el mantenimiento se limitaba únicamente por un rol reactivo a las fallas, privilegiando las acciones correctivas por sobre las planificadas. En una siguiente etapa se caracterizó por el desarrollo del mantenimiento prevenido desde la forma más básica del tipo cíclico, pasando por la segunda condición, hasta maneras más evolucionadas como es el predictivo.

Por último aparece el mantenimiento de mejora que incorpora y aplica el mantenimiento centrado en confiabilidad, el análisis del ciclo de vida y mejoramiento continuo desarrollando modelos y metodologías.

En esta nueva forma de mantenimiento, en la que se privilegia el uso de recursos para incorporar inteligencia, más que para ejecutar mantenimiento, la ingeniería de confiabilidad asume un rol relevante en la confiabilidad y costo del equipo.

Se puede considerar que el desafío del mantenimiento es ¿cómo evolucionar? de un estado en la que el mantenimiento correctivo es una práctica usual y naturalmente aceptada por los mantenedores, por uno nuevo estado en el que la proacción sea el eje de acción preferente y que esto trae como consecuencias mejores resultados en el proceso de mantenimiento.

La ingeniería de confiabilidad asume un papel fundamental en la etapa de concepción y desarrollo de un nuevo proyecto, y también durante el ejercicio operacional del mismo, debido a que la función dinamiza el proceso de mejoramiento continuo del mantenimiento a través de la incorporación y difusión del conocimiento e inteligencia y del análisis cualitativo que permite favorecer el resultado operacional a favor del negocio empresarial.

La ingeniería de confiabilidad permite, a partir del análisis de los resultados obtenidos de la ejecución del mantenimiento, renovar de manera permanente y justificada el plan maestro y como consecuencia, los programas de mantenimiento, asegurando el cumplimiento de los programas de producción al menor

costo global.

También permite proyectar instalaciones y seleccionar nuevos equipos de manera de responder a una seguridad de funcionamiento (costos de ineficiencia) que minimicen los costos globales durante todo el ciclo de vida.

Las políticas de mantenimiento más adecuadas para cada una de las instalaciones, dependen del comportamiento y función de los equipos que la componen y de la criticidad del proceso operativo, entendida como la combinación de la frecuencia de las fallas y su gravedad.

Debido que estas condiciones pueden cambiar durante el tiempo por las variaciones de las condiciones operacionales y por el estado de las instalaciones, es necesario permanentemente definir la combinación de las políticas de mantenimiento que para minimizar el costo global, lo que queda reflejado a través de la generación de los planes de mantenimiento productivo generados.

Esta tarea requiere de un análisis permanente de los resultados obtenidos en términos de fallas y de los costos asociados, de manera de proyectar adecuadamente la actividad de mantenimiento preventivo y predictivo.

5.4.1 Confiabilidad Humana

Actualmente ejecutivos de alta dirección de las empresas están considerando la gestión y el mantenimiento de sus activos físicos como una fuente importante de oportunidades para mejorar la competitividad y la confiabilidad operacional de los equipos e instalaciones, con los positivos efectos sobre el negocio

que ello implica.

Este nuevo escenario ha obligado a las unidades de mantenimiento a asumir este desafío tomando la responsabilidad que les corresponde, no solo en los tareas asociadas con la ejecución del mantenimiento, sino que adicionalmente con los aspectos relacionados con la confiabilidad y la mantenibilidad, conceptos de aplicación tanto desde el proyecto hasta el ejercicio, como desde los activos físicos hasta las personas.

La confiabilidad humana se encuentra dentro de los elementos que conforman la confiabilidad operacional. El factor humano tiene un rol relevante en las fallas de los sistemas o equipos.

Sin embargo, las fallas y accidentes en gran medida dependen de su participación, pero interactuando con aspectos relacionados con la organización, las tecnologías y el entorno. Es por esta razón que la confiabilidad humana cada día asume un rol más importante en la definición de estrategias para gestionar información y tomar decisiones más acertadas.

Es importante destacar que el error humano es el evento final de una cadena de errores que comúnmente se inicia por una mala planeación o un inadecuado proyecto en el diseño de las plantas y equipos, así como de los procesos.

Se puede considerar desde una perspectiva conceptual, la confiabilidad como la probabilidad de buen funcionamiento de un elemento, sistema o equipo bajo determinadas condiciones, es decir se relaciona con el número de fallas que ocurren en un determinado tiempo, bajo ciertas condiciones de operación.

La confiabilidad humana se define como el número de errores que se cometen en un tiempo definido bajo determinadas condiciones de trabajo.

Por ello, la confiabilidad en el contexto de operación de un sistema es la suma de los modos de fallas que ocurren por la naturaleza propia de los equipos e instalaciones, en interacción con su entorno (fallas técnicas) y aquellas determinadas por las personas que interactúan con el sistema (errores o fallas humanas).

La confiabilidad humana es el conjunto de factores, propios de las competencias laborales, que se relacionan con la predicción, análisis y reducción del error humano, focalizándose sobre el rol de la persona en el diseño, operación, mantenimiento y gestión de un sistema.

Tal como se presenta en la Figura 5.4.1 anexo capítulo 5, la confiabilidad humana incluye varios elementos que permiten mejorar las competencias laborales asociadas con los conocimientos, las habilidades y las destrezas de cada uno de los miembros de una organización en su puesto de trabajo, con la finalidad de generar Capital Intelectual.

5.4.2 Estrategias de Confiabilidad humana

La Confiabilidad Humana se convierte en una estrategia esencial para administrar la información que sirve para tomar las decisiones acertadas. Las estrategias vitales en la orientación y mejoramiento de la confiabilidad humana son la gestión del conocimiento, el trabajo en equipo, la gerencia del desempeño y la formación por competencias, tal como se presenta en la figura 5.4.2 anexo capítulo 5.

Gestión del conocimiento: Es el proceso sistémico que provee el talento humano capacidad para ejercer las labores y preservar el Capital Intelectual de la organización.

Formación por competencias: El modelo de competencias es una de las estrategias principales en el desarrollo del talento humano. Busca impulsar al más alto nivel de calidad las competencias individuales acordes con las necesidades en los puestos de trabajo y garantiza el desarrollo y la administración del potencial intelectual de todos los miembros de la organización.

Un perfil de competencias depende básicamente de las funciones que se desarrollen en el puesto de trabajo y por supuesto de las estrategias y cultura de la organización. El modelo de competencias tiene como objetivo impulsar la innovación para el liderazgo en la que los trabajadores conozcan sus competencias y las demandadas para el cargo identificado. Además saben cuáles son las acciones necesarias para salvar la brecha entre las competencias disponibles y las requeridas. Se incentiva de esta forma la innovación y el autoaprendizaje.

Trabajo en Equipo: Una de las nuevas formas de organización del trabajo es a través de un equipo natural conformado por un grupo de personas que trabajan juntas por un tiempo determinado, el ideal es que no supere más de diez personas y que cumplan diversas funciones dentro de la organización. El objetivo es crear un clima de potenciación, para realizar un análisis de los problemas de los distintos departamentos con una visión diferente para alcanzar un objetivo común.

El rol que debe cumplir cada uno de los integrantes del equipo de trabajo, se

describe a continuación:

Operador: Proporciona la experiencia en cuanto al manejo y operatividad de sistemas y equipos

Planificador/Programador: Proporciona la visión holística del proceso y ofrece la visión sistémica de la actividad.

Mantenedor: Experiencias de aprendizaje en la inspección, reparaciones y mantenimiento de los sistemas y equipos.

Especialistas: Expertos en áreas específicas

Diseñador/Ingeniero de Procesos: Proveen los elementos del diseño y operación de los activos

Facilitador: Asesor técnico y metodológico

Gerencia del Desempeño: Es el proceso que permite monitorear y evaluar la idoneidad del talento humano durante la implantación y el desarrollo de las estrategias propuestas, con el fin de garantizar la generación de valor y establecer las acciones correctivas de manera proactiva.

Contreras, (2011), comenta que una buena gestión del talento humano implica formación de competencias, actitudes, aptitudes, capacidad de cambio, habilidades, entrenamiento, toma de conciencia, motivación, sentido de pertenencia, desarrollo, capacidad evaluadora, entre otros, así como contar con un proceso para garantizar la retención del conocimiento dentro de la organización.

5.5 Nivel de confiabilidad de sus activos

Las empresas saben de la importancia de la gestión de activos como una estrategia empresarial que, aplicada apropiadamente, tiene como resultado el mejoramiento continuo del negocio.

Los resultados típicos de un plan estratégico efectivo para la gestión de activos incluyen un aumento en la capacidad utilizada, acompañada de una mejor optimización de los costos de operación y una reducción responsable de los riesgos.

Desarrollar y aplicar un modelo de gestión integral de activos requiere de esfuerzos y conocimientos significativos. Es común que la mayoría de las empresas encuentren dificultades en encontrar los recursos necesarios para implementar esta estrategia, mientras se continúa administrando unas instalaciones. Sin una estrategia adecuada, los riesgos se incrementan considerablemente.

La gestión integral de los activos de una empresa son un conjunto integrado de procesos, procedimientos y herramientas que derivan de forma sistemática el valor mayor de activos en las empresas, por una visión coherente de sus planes y los objetivos, y con una participación que abarca a todo el personal en la empresa. Esta gestión representa un nivel más alto del desempeño que es aplicado actualmente o aún reconocido por la organización.

Esto implica que cada una de estas organizaciones tiene una oportunidad para contribuir a la mejora de la confiabilidad de sus activos y beneficiarse de los resultados.

Es así como de estas iniciativas de mejoramiento, se han establecido diferentes modelos de gestión de activos, que han sido diseñados, adoptados y aplicados por diferentes empresas de clase mundial.

El conjunto de mejores prácticas organizacionales y de mantenimiento reúne elementos de distintos enfoques organizacionales, con visión de negocio, para crear un todo armónico de alto valor práctico, estas mejoras aplicadas en forma coherente generan ahorros sustanciales a la empresa.

Como resumen se puede tener que el propósito del modelo de gestión integral de activos es integrar las diferentes herramientas, estableciendo un modelo de desarrollo de mantenimiento para realizar diagnósticos al modelo establecido, identificar áreas de mejoramiento y de optimización, que permiten evaluar los progresos y hacer los ajustes necesarios para el logro de las mejores prácticas de mantenimiento que beneficie a una mejor confiabilidad de los equipos y reducción de costos en su mantenibilidad.

CAPITULO 6

6. Introducción al RCM

El mantenimiento está cambiando, y estos cambios son debidos a las exigencias que tienen las empresas de ser competitivas para mantenerse en el negocio. El aumento de la productividad, al menor costo han provocado una evolución tecnológica en las maquinas para dar cumplimiento a las exigencias actuales.

El mantenimiento está reaccionando ante estas nuevas expectativas., las cuales incluyen una mayor importancia a los aspectos de seguridad y del medio ambiente, un conocimiento creciente de la conexión existente entre el mantenimiento y la calidad del producto, y un aumento de la presión ejercida para conseguir una alta disponibilidad de la maquinaria al mismo tiempo que se optimizan los recursos.

Souris (1992), comenta que el mantenimiento se debe considerar como una actividad productiva y no como una carga para la empresa.(p.XIV)

Debido estas exigencias de cambios, el personal que gestiona el mantenimiento está buscando un nuevo camino. Busca evitar equivocarse cuando se toma alguna acción de mejora. Trata de encontrar un marco de trabajo estratégico que sintetice los nuevos avances en un modelo coherente, de forma que puedan evaluarlos racionalmente y aplicar aquellos que sean de mayor valía para ellos y sus compañías.

Este trabajo introduce una filosofía que provee justamente ese esquema de trabajo. Se llama Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).

Si se aplica correctamente, RCM transforma la relación entre el personal involucrado, la planta, y el personal que conforma los equipos multidisciplinarios.

También permite poner en funcionamiento nueva maquinaria a gran velocidad, seguridad y precisión.

Contreras (2011) define el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad como un proceso sistemático que permite preservar las funciones prioritarias, identificando los modos de falla, seleccionando solo tareas de mantenimiento que sean efectivas y aplicables

Moubray (2004:330) La Norma **SAE JA1011-1999** (Describe los criterios mínimos que cualquier proceso debe cumplir para ser llamado RCM. No intenta definir ningún proceso específico)

"RCM es un proceso específico usado para identificar las políticas que deben ser implementadas para manejar los modos de falla que pudieran causar las fallas funcionales de cualquier activo físico en un contexto operacional dado □

Se puede definir que la filosofía del RCM es: el mantenimiento que se debe hacer, para que las instalaciones productivas cumplan con lo que se desea que hagan cumpliendo con especificaciones de operación y seguridad establecidas.

La expresión anterior implica claras definiciones de las funciones de cada equipo en su contexto operacional, temas que son triviales en algunos casos, pero que en el mantenimiento tradicional no son tomados en cuenta, generando planes de mantenimiento basados en recomendaciones de fabricantes y en la experiencia de algunos, pero sin una fuerte justificación técnica que hace de alguna forma mas profesionales en su rama a los mantenedores.

Uno de los mayores aciertos del RCM es que este ha cambiado el enfoque de los equipos por el enfoque de procesos y sus sistemas, y es ahí donde el

mantenimiento debe estar dirigido, para preservar las funciones de los sistemas y de las unidades productivas.

Lo anterior es lógico, normalmente en nuestra vida diaria lo aplicamos en nuestro vehículo, casa, etc. donde hacemos el mantenimiento para que seamos transportados o vivamos con seguridad, confort y todo el mantenimiento que no sea para reunir estas funciones es desechado, o los costos serán muy elevados. Comúnmente contradecimos las especificaciones del fabricante haciendo más o menos mantenimiento, según nuestras necesidades específicas.

El RCM es un conjunto de procedimientos sistemáticos para:

1. Fallas funcionales
2. Determinar cuáles son las consecuencias y que impacto provocan de las fallas
3. Detección oportuna de fallas potenciales

Por otra parte, la Gestión de Confiabilidad es el conjunto de procedimientos operativos que asegura la oportuna y eficaz realización de las tareas predictivas y proactivas generando una base de conocimiento para el sostenimiento de la calidad y el mejoramiento continuo del mantenimiento y los procesos productivos.

Antes de considerar echar un vistazo a los modus operandi de los procedimientos de RCM y Gestión de Confiabilidad es importante dar unas muy buenas respuestas a tres importantes preguntas motivacionales:

1. ¿Por qué es importante proyectar posibles fallas?
2. ¿Qué beneficios reales y tangibles prometen estas nuevas estrategias?
3. ¿En la práctica que tan fáciles son de implementar?

Estas preguntas se contestan en los siguientes apartes.

6.1 La probabilidad de ocurrencia de fallas.

La más clásica representación de la probabilidad de ocurrencia de una falla se presenta con la famosa curva de la bañera, pero, los registros históricos de ocurrencia de fallas en equipos muestra que en la vida real se presentan no uno, ni dos, sino seis patrones de ocurrencia de fallas pueden presentarse. Estos patrones de probabilidad asumen que un programa básico de mantenimiento preventivo se encuentra implementado.

En el pasado, el patrón tipo hoz y el patrón tipo bañera tuvieron su tiempo, principalmente a consecuencia de los lineamientos de diseño de las máquinas y de las exigencias productivas en cada época. Consecuentemente, las estrategias de mantenimiento progresaron del mantenimiento correctivo al mantenimiento basado en edad y condición y finalmente desembocan en el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. ¿Por qué es tan importante implementar estrategias de tercera generación?

Contreras, (2011), contesta que se ha encontrado que alrededor del 80% de las fallas son de carácter aleatorio y el 20% son de carácter de edad (vida útil). Este simple Pareto obliga a tomar muy en serio el tema de la confiabilidad, (primera respuesta). Ver figura 6.2-A anexo capítulo 6.

El proceso de selección de manejo de fallas debe tomar en cuenta el hecho de que la probabilidad condicional de algunos modos de falla se incrementará con el tiempo (o con la exposición al esfuerzo), que la probabilidad condicional de otros no cambiará con el tiempo y que la probabilidad condicional de otros tampoco decrecerá con el tiempo. □ (SAE JA1011, sección 5.6.1).

Uno de los factores más importantes que afecta la selección de cualquier política de manejo de fallas es la relación entre la longevidad (o exposición al esfuerzo) y la falla. Existen seis conjuntos de maneras en las cuales la probabilidad condicional de falla varía a medida que un elemento envejece, las cuales fueron evolucionando como se muestra en la siguiente figura 6.2-B anexo capítulo 6.

Los patrones A y B despliegan el punto al cual hay un incremento veloz de la probabilidad condicional de falla (a veces llamada "zona de desgaste"). El patrón C muestra un incremento sostenido en la probabilidad de falla, pero no distingue la zona de desgaste. El patrón D muestra una probabilidad condicional de falla baja cuando el elemento es nuevo o recién comprado, entonces ocurre un incremento rápido hacia un nivel que crece lento o constante, mientras que el patrón E muestra una probabilidad condicional de falla constante para toda la longevidad (falla aleatoria). El patrón F empieza con alta mortalidad infantil, cayendo a un decrecimiento constante o muy bajo de la probabilidad condicional de falla.

Contreras, (2011) muestra que en general, los patrones de falla relacionados a la longevidad aplican a elementos que son muy simples, o elementos muy complejos que sufren un modo de falla dominante.

Mas sin embargo, en la práctica, están comúnmente asociados con el desgaste directo (más frecuente en donde los equipos entran en contacto directo con el producto), fatiga, corrosión, oxidación y evaporación.

6.2 Objetivos del RCM y la gestión de confiabilidad.

RCM introduce los conceptos de función y falla funcional, donde función se define como lo que los usuarios esperan que el activo haga dentro de su **contexto**

operativo y falla funcional se define como la incapacidad de cualquier activo de hacer lo que los usuarios quieren que haga, como se puede observar son dos importantes conceptos. Es decir, la falla funcional es la negación de la función de un activo. Lo anterior genera una muy amplia visión de qué podría ser en un determinado momento una falla y conduce a la generación de estrategias para evitar o al menos controlar la aparición o las consecuencias de una falla. Ver figura 6.3 anexo capítulo 6.

En la práctica, con el RCM y la Gestión de Confiabilidad se incrementan las tareas proactivas (antes de la falla) y se disminuyen las reactivas (después de la falla), aumentan y se aseguran la calidad del producto y el cumplimiento producción y se ajustan los procesos productivos para competir en mercados exigentes. Otros beneficios son el aumento del tiempo entre fallas y el aumento de la mantenibilidad y la disponibilidad. Estos son los beneficios se obtienen sistemáticamente y de ahí la importancia justificada de la implementación del RCM (**segunda respuesta**).

6.3 Implementación práctica del RCM y gestión de confiabilidad.

Prácticamente implementar RCM , es una labor extrema y extenuante. El más importante ingrediente a tener en cuenta al abordar el tema de la confiabilidad es el recurso humano participativo: La primera tarea proactiva a implementar es la seguridad humana y ambiental del proceso, seguida por el mantenimiento autónomo por parte de las personas que rodean las máquinas. Es necesario asegurarse de encontrar esquemas de comunicación adecuados para involucrar al personal administrativo, productivo y de mantenimiento en el programa, la probabilidad de éxito en los avances de RCM aumentará considerablemente. El acercamiento más eficaz al RCM es a partir del TPM. Actualmente, la Gestión de Confiabilidad aporta algunas herramientas

técnicas y logísticas para tal efecto (**Tercera respuesta**).

El Mantenimiento, la Gestión y el diseño para la confiabilidad son especiales e importantes contribuciones a la ingeniería y los procesos productivos, pero distan de ser exclusivas en su concepción y aplicación: otras importantes áreas del conocimiento se expanden actualmente sobre la idea de la obtención y administración de la información anticipada sobre el futuro.

6.4 Diferentes tipos de RCM

Contreras, (2011) asegura que desde los 90's, varias organizaciones han desarrollado versiones del proceso RCM. Algunas como el Comando Aéreo Naval de los Estados Unidos con su "Guía para el Proceso de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para la aviación Naval (Navair 00-25-403)" y la Armada Real Británica con sus Normas para la Ingeniería Naval RCM Orientadas (NES-45).

Estas corporaciones han permanecido leales al proceso expuesto por los autores originales del modelo, Stanley Nowlan y Howard Heap, en su libro "Reliability Centered Maintenance" / "Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad".

Sin embargo, nuevos procesos han aparecido y son llamados RCM por sus proponentes, pero a menudo tienen poco o ningún parecido al proceso desarrollado por Nowlan y Heap. Los procesos que declaran ser RCM pero que de hecho no son ni parecidos a su significado real se ubican en dos categorías:

1. Procesos RCM eficientes que omiten pasos significativos o hacen uso excesivo e inadecuado de patrones como vías rápidas.
2. Otros que usan el término RCM, pero no tienen relación en todo el proceso

como lo entiende el enfoque inicial de RCM.

Fue por eso que en un intento por hacer algo al respecto, durante el final de la década de los 90^s estuvo trabajando un comité de la American Society of Automotive Engineers (SAE) desarrollando una norma para el modelo RCM. El principal objetivo de ésta norma es definir los principios básicos para poder llamar a un proceso RCM.

La norma aprobada por la SAE lleva como título "Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)"(SAE JA-1011). Ésta norma presenta criterios contra los cuales se puede comparar un proceso de estrategias de mantenimiento y si este satisface los criterios, el usuario puede tranquilamente llamarlo un "proceso RCM". Si los criterios no lo satisfacen, no debería llamarse "procesos RCM". Esto no necesariamente significa que procesos que no cumplen con la norma SAE JA-1011 no sean procesos válidos para la formulación de estrategias de mantenimiento. Simplemente significa, según SAE, que el término RCM no debería ser aplicado a tales procesos.

El siguiente párrafo cita la Sección 5 de la norma SAE JA-1011, la cual resume los atributos principales de cualquier proceso RCM así:

Cualquier proceso RCM debe asegurar que se respondan satisfactoriamente todas las siguientes siete preguntas y en esa misma secuencia:

1. ¿Cuáles son las funciones y los modelos ideales de rendimiento del recurso en su actual contexto operativo? (funciones)
2. ¿En qué formas no puede cumplir sus funciones? (fallas funcionales)
3. ¿Qué ocasiona cada falla funcional? (modos de falla)
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla? (efectos de la falla)
5. ¿En qué forma es importante cada falla? (consecuencias de la falla)

6. ¿Qué debe hacerse para predecir o prevenir cada falla? (estrategias proactivas intervalos de labores).

7. ¿Qué debe hacerse si una tarea proactiva adecuada no puede ser encontrada? (estrategias por omisión)

Para dar una respuesta "satisfactoria" a cada una de las anteriores preguntas, la siguiente información debe ser obtenida, y las siguientes decisiones deben ser tomadas. Toda la información y las decisiones deben ser documentadas en forma tal que estén disponibles y aceptables para el propietario o usuario del recurso.

Las otras secciones de la norma listan los temas que cualquier proceso RCM debe orientar con la finalidad de responder "satisfactoriamente" cada una de las preguntas mencionadas. Sin embargo, las palabras claves de la Sección 5 de la norma están en la primera frase. Ellas son: "cualquiera", "todas" y "en la secuencia mostrada a continuación". Ellas quieren decir que si cualquier proceso que no responda todas las preguntas en la secuencia mostrada (y el cual no las responde satisfactoriamente en cumplimiento con el resto de la norma), luego ese proceso no es RCM.

Del mismo modo, la SAE emitió en Enero del año 2002, la norma SAE JA1012 titulada: A Guide to the Reliability- Centered Maintenance (RCM) Standard, la cual amplia y clarifica cada uno de los criterios considerados en la norma SAE JA1011, además, resume emisiones adicionales que deben ser consideradas en orden de aplicar el proceso RCM. De manera general, puede considerarse como la guía para la aplicación de la norma de caracterización de procesos RCM.

Si RCM es aplicado correctamente por personas bien capacitadas trabajando en proyectos claramente definidos y administrados adecuadamente, los

análisis son usualmente pagados por sí mismos entre semanas y meses, en realidad éste es un rápido reembolso. No obstante a éste rápido reembolso, algunas personas y organizaciones han invertido mucha energía en propuestas para reducir el tiempo y los recursos necesitados para aplicar el proceso RCM. Los resultados de ésta propuestas son conocidos como Técnicas [Abreviadas o Aceleradas, Enfoques en Reversa o Retroactivos] de RCM.

El espíritu de este seminario no es criticar este tipo de técnicas, sino hacerles conocer de su existencia. Lo que si haremos es presentarles un modelo que cumpla o exceda los Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad según la norma SAE JA-1011 y SAE JA-1012, así como la norma ISO 14224 y de este modo poder llamarse un proceso RCM. (Contreras, 2011).

6.5 Modelos de decisión

En años recientes, grandes corporaciones especialmente del sector de hidrocarburos y de la industria de procesos, han volcado su atención hacia el modelo de decisión [Costo Riesgo] debido a que el mismo permite comparar el costo asociado a una acción de mantenimiento contra el nivel de reducción de riesgo o mejora en el desempeño debido a dicha acción.; en otras palabras, el modelo permite saber [cuanto obtengo por lo que gasto]

El análisis [Costo-Riesgo] resulta particularmente útil para decidir en escenarios con intereses en conflicto, como el escenario [Operación [Mantenimiento] en el cual el operador requiere que el equipo o proceso opere en forma continua para garantizar máxima producción, y simultáneamente, el

mantenedor requiere que el proceso se detenga con cierta frecuencia para poder mantener y ganar confiabilidad en el mismo. El modelo Costo-Riesgo es el indicado para resolver el conflicto previamente mencionado, dado que permite determinar el nivel óptimo de riesgo y la cantidad adecuada de mantenimiento, para obtener el máximo beneficio o mínimo impacto en el negocio. Ver figura 6.5-A anexo capítulo 6.

Sobre la curva de impacto total, que resulta de la suma punto a punto de la curva de riesgos y la curva de los costos de mantenimiento, el punto "mínimo" de esta curva, representa la frecuencia para la cual la suma de los costos de la política de mantenimiento con el nivel de riesgo asociado a esta política son mínimos; es decir hay el "mínimo impacto posible en el negocio". Este mínimo está ubicado sobre el valor que puede traducirse como el periodo o frecuencia óptima para la realización de la actividad de mantenimiento. Un desplazamiento hacia la derecha de este punto implicaría "asumir mucho riesgo" y un desplazamiento hacia la izquierda del mismo implicaría "gastar demasiado dinero".

La dificultad para el uso del modelo, se centra en la estimación o modelaje de la curva del riesgo, ya que la misma requiere la estimación de la probabilidad de falla (y su variación con el tiempo), y las consecuencias. Un adecuado control estadístico del mantenimiento servirá para la estimación de las probabilidades de falla y con esto lograr el correcto modelaje y estimación del riesgo.

El análisis del riesgo, permite entender el poder de este indicador para el diagnóstico y la toma de decisiones, debido a que el mismo combina probabilidades o frecuencias de fallas con consecuencias, permitiendo la comparación de unidades como los equipos rotativos, que normalmente presentan alta frecuencia de fallas con bajas consecuencias, con equipos estáticos, que normalmente presentan patrones de baja

frecuencia de fallas y alta consecuencia. Ver figura 6.5-B, anexo capítulo 6.

El mantenimiento moderno, sustentado en la Confiabilidad Operativa, requiere de un cuidadoso proceso de diagnóstico de equipos y sistemas. El diagnóstico, basado en el "riesgo" puede entenderse entonces como un proceso que busca caracterizar el estado actual y predecir el comportamiento futuro de equipos y sistemas.

Para el logro de un diagnóstico integrado, el riesgo debe calcularse usando toda la información disponible; es decir, debe incluir el análisis del historial de fallas, los datos de condición y datos técnicos. De esta forma, se podrán identificar las acciones correctivas y proactivas que puedan efectivamente optimizar costos y minimizar su impacto en el negocio medular. Ver figura 6.5-C anexo capítulo 6.

Para calcular riesgo, deben establecerse dos (2) vías, una para el cálculo de la confiabilidad y/o la probabilidad de fallas, en base a la historia de fallas o en base a la condición; y otra para el cálculo de las consecuencias o gravedad que genera el modo de falla al producirse.

6.5.1 Estimación de la confiabilidad o la probabilidad de fallas

Para la estimación de la confiabilidad o la probabilidad de fallas, existen dos métodos que dependen del tipo de data disponible; estos son:

- a. Estimación Basada en Datos de Condición, altamente recomendable para equipos estáticos, que presentan patrones de "baja frecuencia de fallas" y por ende no se tiene un "historial de fallas" que permita algún tipo de análisis estadístico.
- b. Estimación Basada en el Historial de Fallas: recomendable para equipos dinámicos, los cuales por su alta frecuencia de fallas, normalmente permiten el almacenamiento de un historial de fallas que hace posible el análisis estadístico.

a. Estimación de Confiabilidad Basada en Condición

El análisis tradicional de confiabilidad, basado en el análisis estadístico del tiempo para la falla, ha sido exitosamente utilizado para mejorar el mantenimiento preventivo y traer los equipos y sistemas hasta los actuales niveles de desempeño. Sin embargo, buscando la mejora continua de sus procesos, en las tres últimas décadas, algunas industrias han hecho grandes esfuerzos en la recolección de data diferente a la data de falla, a través de programas de monitoreo de la condición (mantenimiento predictivo) con la finalidad de optimizar las frecuencias de mantenimiento de sus equipos y tomar acciones proactivas para evitar la ocurrencia de la falla.

La mencionada data de condición, ha sido usada principalmente en forma determinística, es decir, para hacer diagnósticos puntuales, debido a la falta de una adecuada metodología de análisis probabilística. La columna vertebral de este método es el análisis Carga-Resistencia

Análisis Carga-Resistencia

El análisis Carga-Resistencia tiene como premisa el hecho de que las fallas son el resultado de una situación donde la carga aplicada excede la resistencia. Carga y Resistencia son usados en el sentido más amplio de la palabra; es decir, la carga pudiera ser la presión de operación, mientras la máxima presión de operación permisible sería la resistencia. Similar análisis se hace para cualquier otro parámetro relevante de la condición como vibración para equipos dinámicos, o reducción de espesor para el caso de equipos estáticos.

En todos los casos existirá un valor actual de la condición que se monitorea, el cual representará la carga, y un valor límite de la condición que representara la

resistencia. Esta última normalmente está regulada por normas y estándares de la ingeniería.

Contrario a la creencia general, en la mayoría de los casos ni la carga ni la resistencia son valores fijos, por el contrario, sus valores son estadísticamente distribuidos.

b. Estimación Basada en el Historial de Fallas

En este punto, se presenta la metodología y la plataforma matemática para predecir la disponibilidad en sistemas reparables, a través del tratamiento estadístico de su historial de fallas y reparaciones. En otras palabras, los equipos son caracterizados usando su distribución probabilística del "tiempo para fallar" y el "tiempo para reparar". Este tipo de análisis es particularmente valioso para equipos dinámicos, los cuales tienen una frecuencia de falla relativamente alta. Normalmente, la data de fallas y reparaciones está disponible.

Para equipos reparables existen cinco posibles estados en los que ellos pueden quedar, una vez reparados después de una falla:

1. Tan bueno como nuevo
2. Tan malo como antes de fallar.
3. Mejor que antes de fallar pero peor que cuando estaba nuevo.
4. Mejor que nuevo.
5. Peor que antes de fallar.

Los modelos probabilístico tradicionalmente usados en análisis de confiabilidad, se basan en los estados 1 y 2 (estados límites), sin tomar en cuenta los estados 3, 4 y 5 a pesar de que el estado 3 es más realista en la práctica. La razón para esto radica en la dificultad de desarrollar una solución matemática para modelar este estado.

6.5.2 Estimación de las consecuencias

Para estimar las consecuencias se presenta una metodología que resulta de relacionar la falla de un equipo y/o sistema con las siguientes variables:

a. Gravedad

Efecto operacional (EO)

Impacto operacional (IO)

Sistemas o Equipos de respaldo (SER)

Tiempo promedio para reparar (TPPR)

Costo de la reparación (CR)

Impacto en seguridad (IS)

Impacto ambiental (IA)

b. Ocurrencia (O)

El modelo divide las consecuencias asociadas con una falla particular (Gravedad) en cuatro grandes categorías: Efecto operacional, Costos de reparación, Impacto en seguridad e impacto ambiental. Ver figura 6.5.2 anexo capítulo 6.

6.5.3 El Diagnóstico Integral en el Proceso de Confiabilidad

El diagnóstico integral es un proceso que implica el uso de avanzadas técnicas de cálculo para predecir fallas y eventos no deseados e inferir sus consecuencias; es decir permite estimar el riesgo, y también permite el uso de modelos de decisión como el Modelo Costo Riesgo.

El proceso que hemos presentado como [Confiabilidad Operativa] es un

enfoque metodológico donde el diagnóstico integrado se combina con otras metodologías tradicionales del área de confiabilidad, tales como: Análisis de Modos y Efectos de Fallas, Análisis Causa Raíz e Inspección Basada en Riesgo, entre otras; con la finalidad de:

- Inferir probabilísticamente todos los escenarios de producción factibles, a través de la predicción de los periodos de operación normal y de ocurrencia de eventos o escenarios no deseados, basados la configuración de los sistemas, la confiabilidad de sus componentes y la filosofía de mantenimiento
- Identificar acciones concretas para minimizar y/o mitigar la ocurrencia de estas fallas o eventos no deseados y llevar el riesgo a niveles tolerables
- Explorar las implicaciones económicas de cada escenario de riesgo posible y diseñar planes y estrategias óptimas para el manejo del negocio.

La figura 6.5.3 anexo capítulo 6, muestra el esquema de integración del Diagnóstico Integrado con otras metodologías en el enfoque de la Cultura de la Confiabilidad. (Contreras, 2011).

6.6 Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF □ FMEA)

En general, no se reconoce en el Mantenimiento la importancia de la medición de resultados, del registro de datos sistemático y ordenado bajo un único criterio, como instrumento para administrarlo como un negocio. La falta de uso continuado de registros, imposibilita establecer mecanismos de comparación de los Indicadores con aquellos de clase mundial.

Se percibe falta de rigor en la recolección y registro de datos que permitan alimentar esos cálculos; elementos fundamentales para la administración y toma de decisiones. El mercado tiene en existencia diferente software que, en teoría, permitirían resolver estos conflictos, pero que no plantean lo básico. Y esto es, ¿Cómo administrar la información?, ¿Qué datos guardar?, ¿Cómo clasificarlos?, **¿Cómo relacionarlos?**, etc., de modo que los cálculos y análisis que se deriven de aquellos no se constituyan en otro problema de interpretación y reproducibilidad, adicional a los existentes.

AMEF es una técnica de ingeniería conocida como el análisis de modos y efectos de fallas o (Failure Mode and Effect Análisis - FMEA) usada para definir, identificar y eliminar fallas conocidas o potenciales, problemas, errores, desde el diseño, proceso y operación de un sistema, antes que este pueda afectar al cliente.

El AMEF es una de las más importantes técnicas para prevenir situaciones anormales, ya sea en el diseño, operación o servicio. Esta técnica parte del supuesto que se va a realizar un trabajo preventivo para evitar la avería, mientras que las técnicas estudiadas hasta el momento, se orientan a evaluar la situación anormal ya ocurrida. Este es el factor diferencial del proceso AMEF. Esta técnica nació en el dominio de la ingeniería de confiabilidad y se ha aplicado especialmente para la evaluación de diseños de productos nuevos y manufactura de productos.

El AMEF se ha introducido en las actividades de mantenimiento industrial gracias al desarrollo del RCM **que lo utiliza como una de sus herramientas básicas**. En un principio se aplicó en el mantenimiento en el sector de aviación (Plan de mantenimiento en el Jumbo 747) y debido a su éxito, se difundió en el mantenimiento de plantas térmicas y centrales eléctricas. Hoy en día, el AMEF se

utiliza en numerosos sectores industriales y se ha asumido como una herramienta clave en varios de los pilares del Mantenimiento Productivo Total (TPM).

En 1988 la Organización Internacional para la Estandarización (ISO), publicó la serie de normas ISO 9000 para la gestión y el aseguramiento de la calidad; los requerimientos de esta serie llevaron a muchas organizaciones a desarrollar sistemas de gestión de calidad enfocados hacia las necesidades, requerimientos y expectativas del cliente, entre estos surgió en el área automotriz el QS 9000, éste fue desarrollado por la Chrysler Corporation, la Ford Motor Company y la General Motors Corporation en un esfuerzo para estandarizar los sistemas de calidad de los proveedores; de acuerdo con las normas del QS 9000 los proveedores automotrices deben emplear Planeación de la Calidad del Producto Avanzada (APQP), la cual necesariamente debe incluir AMEF de diseño y de proceso, así como también un plan de control.

Posteriormente, en febrero de 1993 el grupo de acción automotriz industrial (AIAG) y la Sociedad Americana para el Control de Calidad (ASQC) registraron las normas AMEF para su implementación en la industria, estas normas son el equivalente al procedimiento técnico de la Sociedad de Ingenieros Automotrices SAE J - 1739.

Además del apoyo que ofrece al RCM, al permitirle de manera gráfica documentar el modelo, el AMEF puede ser considerado como un método analítico estandarizado para detectar y eliminar problemas de forma sistemática y total, cuyos objetivos principales son:

1. Reconocer y evaluar los modos de fallas potenciales y las causas asociadas con el diseño y manufactura de un producto.
2. Determinar los efectos de las fallas potenciales en el desempeño del sistema

3. Identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la oportunidad de que ocurra la falla potencial.
 4. Analizar la confiabilidad del sistema
 5. Documentar el proceso.
- (Contreras, 2011).

6.7 Árbol lógico de decisión del RCM

Las estrategias serán seleccionadas usando el árbol lógico de decisión mostrado. Este permite de una manera estructurada la selección de las tareas de mantenimiento.

Al seleccionar una estrategia de mantenimiento estas deben ser aplicables y técnicamente factibles. Ver figura 6.7 anexo capítulo 6.

6.7.1 Factibilidad Técnica

Las estrategias deben prevenir o mitigar las fallas, detectar las fallas potenciales o descubrir las fallas escondidas, su evaluación dependerá del tipo

6.7.2 Efectividad

Las tareas a ejecutar deberán ser efectivas en la búsqueda de disminución o eliminación de los modos de falla, veamos:

Falla Oculta: La tarea deberá disminuir el riesgo de falla múltiple a un nivel aceptable.

Seguridad o Ambiente: Se debe reducir el riesgo de falla a un nivel muy bajo. De no encontrarse una tarea o combinación de estas, el rediseño es obligatorio.

Operacional y No-Operacional: El riesgo de falla debe disminuirse a un nivel aceptable.

6.7.3 Aplicabilidad factibilidad económica

Las estrategias o combinación de estas, que se seleccionen deberán estar al alcance de la tecnología disponible para la empresa así como deberían ser la mejor la opción en la relación de costo-beneficio.

CAPITULO 7

7. Evaluación del proceso productivo

Para implantar RCM, es necesario establecer en primera instancia la necesidad de evaluar y analizar la organización donde se piensa implantar y quién lo hará, lo cual lo podemos expresar de la siguiente manera:

- El análisis de la organización
- Análisis de los activos o sistemas que tenga la organización
- Equipos de Trabajo

El primero es un trabajo previo que permite establecer las estrategias de análisis e implantación de RCM sobre los procesos de la organización, el segundo involucra el trabajo real del RCM (aunque muchos sistemas son tan complejos que han de tratarse como plantas) y el tercero es quién lo implantará.

7.1 Análisis de la organización donde se implementara la metodología

Para identificar apropiadamente las políticas de manejo de fallas de un activo físico o sistema, se debe definir el activo o sistema. Esto incluye la selección del activo/sistema, la definición de sus límites, y la identificación del nivel de detalle más apropiado al cual se llevará a cabo el análisis.

SAE JA1011 se refiere al proceso utilizado para la selección adecuada de las políticas de manejo de fallas, bajo la suposición de que el activo/sistema involucrado ha sido ya seleccionado y definido. Esta no proporciona criterios de los

procesos a ser utilizados en la selección y definición de activos o sistemas por sí mismos, ya que tales procesos tienden a ser altamente dependientes del tipo de activo/sistema, para qué, y por quién están siendo (o son) usados.

Es por esto que cuando se desea estudiar el mantenimiento de una organización, sea compleja o no, es necesario entender como es su composición y dividirla, en caso de ser necesario, en niveles más simples, permitiendo esto el identificar las áreas de interés. Veamos una posible división:

Complejo Industrial: Sistema donde se realizan gran cantidad de funciones que permiten la elaboración de los productos requeridos. En caso de que se elaboren diferentes productos, o que sea conveniente dividir el proceso productivo en áreas específicas es posible que el complejo se divida en Unidades Productivas (U.P.)

Unidades Productivas (U.P.): Son las principales unidades de subdivisión dentro del complejo, por ejemplo en un complejo que elabore diferentes tipos de productos y cada uno de ellos tenga una maquinaria específica de producción, entonces pudiera dársele ésta denominación a cada Línea de Producción, o en el caso de que el complejo sea un ensamblador final de una serie de diferentes componentes que ellos mismos fabrican, cada línea de fabricación de componentes pudiera verse como una U.P.

Procesos: Se entiende por proceso al conjunto de actividades interrelacionadas que producen un valor añadido para unos clientes (internos y/o externos). Para el cliente, la organización es, en sí misma, un proceso (el macro proceso) del que obtiene unas prestaciones (producto o servicio) que satisfacen sus

necesidades y expectativas. Para ello, la organización realiza múltiples actividades y tareas, agrupadas por procesos. En algunos de estos procesos se produce el valor añadido para el cliente. Son los llamados procesos operativos o centrales y suelen suponer la mayor parte de la actividad de la organización

Sub-procesos: Unidades de subdivisión de procesos muy complejos.

Clases de Equipos: Elemento físico que normalmente realiza una sola función principal, que permite la operación de los sistemas, por ejemplo: bombas, filtros, separadores, etc. Esta división es primordial y de la mayor importancia debido a que permite definir cómo se **tratará** a los Equipos, respecto a la posterior interpretación de los resultados; y luego cómo se asociarán los **Registros de Operación y Mantenimiento**, de modo de contar con metodologías **sencillas** de Análisis.

Veamos el gráfico en forma de pirámide que puede aclarar las ideas anteriores:

Análisis de la organización:

Este análisis de la unidad productiva, deberá tener información general sobre la misma, evaluación del impacto de las fallas, análisis funcional, división de la planta en procesos y sub- procesos. La división en procesos deberá hacerse con una visión funcional y no en base a equipos.

Una vez identificados los procesos y sus características, **lo que sigue es el establecimiento de un orden de implantación del RCM**. Todos los estudios aportarán beneficios, por supuesto, pero hay que iniciar sobre aquellos que aporte beneficios y demuestren el poder del RCM. La mejor manera de establecer un orden de importancia es un estudio de criticidad de procesos basado en riesgo.

Otros sugieren basarse en alguno de los siguientes parámetros: costos, impacto en producción, tasa de fallas, complejidad, etc., en función de esto es conveniente efectuar esta jerarquización de los problemas a través de un análisis de criticidad.

Es una metodología que permite jerarquizar los procesos, sub-procesos, instalaciones o equipos, en función de su impacto global, con el fin de optimizar el proceso de asignación de recursos (humanos, materiales y financieros) y priorizar la implantación de nuevas estrategias de mantenimiento.

El modelo se basa en generar un ranking que ayude al equipo de trabajo identificar la prioridad del sistema a ser analizado. En esta criticidad se evalúan una serie de características o hechos del proceso productivo y su relación genera una matriz de criticidad.

No todos los procesos y sus equipos tienen la misma importancia en una planta industrial. Es un hecho que unos procesos o equipos son más importantes que otros. Como los recursos de una empresa para mantener una planta son limitados, debemos destinar la mayor parte de los recursos a los procesos o equipos más importantes, dejando una pequeña porción del reparto a los procesos o equipos que menos pueden influir en los resultados de la empresa.

Pero, ¿cómo diferenciamos los procesos o equipos que tienen una gran influencia en los resultados de los que no la tienen?.

Cuando tratamos de hacer esta diferenciación, estamos realizando el Análisis de Criticidad de los procesos o equipos de la organización productiva como lo muestra la figura 7.1-A anexo capítulo 7.

Comencemos distinguiendo una serie de niveles de gravedad o consecuencia

para los procesos o equipos:

- a) **Alta Gravedad:** Son aquellos equipos cuya parada o mal funcionamiento son de alto riesgo y/o afecta significativamente a los resultados de la empresa.
- b) **Mediana Gravedad:** Son aquellos equipos cuya parada, avería o mal funcionamiento afectan a los resultados de la empresa, pero las consecuencias son asumibles.
- c) **Baja Gravedad:** Son aquellos con una incidencia escasa en los resultados. Como mucho, supondrán una pequeña incomodidad, algún pequeño cambio de escasa trascendencia, o un pequeño costo adicional.

Veamos, en segundo lugar, qué criterios podemos utilizar para clasificar cada uno de los procesos o equipos en alguna de las categorías anteriores. Debemos considerar la influencia que una anomalía tiene en cuatro aspectos: producción, calidad, mantenimiento y seguridad.

Producción: Cuando valoramos la influencia que un proceso o equipo tiene en la producción, nos preguntamos cómo afecta a ésta una posible falla. Dependiendo de que suponga una parada total de la instalación, una parada de una zona de producción preferente, paralice equipos productivos pero con pérdidas de producción asumible o no tenga influencia en producción.

Calidad: El proceso o equipo puede tener una influencia decisiva en la calidad del producto o servicio final, una influencia relativa que no acostumbre a ser problemática o una influencia nula.

Mantenimiento: El equipo puede ser muy problemático, con averías caras y frecuentes; o bien un equipo con un costo medio en mantenimiento; o, por

último, un equipo con muy bajo costo, que normalmente no dé problemas.

De Bona (1999:21) considera que es conveniente que los responsables de mantenimiento conozcan los problemas que se derivan de las averías para hacer que su trabajo sea lo más eficaz posible.

Seguridad y medio ambiente: Un fallo del equipo puede suponer un accidente muy grave, bien para las personas o para el medio, y que además tenga cierta probabilidad de fallo; es posible también que un fallo del equipo pueda ocasionar un accidente, pero la probabilidad de que eso ocurra puede ser baja; o, por último, puede ser un equipo que no tenga ninguna influencia en seguridad.

Imaginemos ahora la siguiente situación. Al valorar un proceso o un equipo, ha resultado ser de Alta Gravedad por mantenimiento, Baja Gravedad por calidad y por seguridad, y Mediana Gravedad por producción. ¿Cómo debemos considerar el proceso o equipo? y **¿Cómo involucro o incluyo el efecto que produce la ocurrencia de cada uno de los hechos que se hayan registrado?**

Es por esto último que se propone ponderar cada uno de estos elementos y asignarles un valor adimensional, y de este modo definir la jerarquización del orden de las actividades de la nueva gestión de mantenimiento, por lo cual se utiliza un modelo de criticidad de factores ponderados y basados en la teoría del riesgo, en lugar de una clasificación puramente cualitativa. La siguiente ecuación muestra el modelo de criticidad basado en la teoría de riesgo:

$$\text{Riesgo} = \text{Gravedad} \times \text{Ocurrencia}$$

$$\text{R}=\text{G}\times\text{O}$$

Para estimar la gravedad o consecuencias se presenta una metodología que

resulta de relacionar la falla de un equipo y/o sistema con las siguientes variables:

a. Gravedad

- Efecto operacional (EO)
- Impacto operacional (IO) (Involucra la calidad y al volumen de producción.
- Sistemas o Equipos de respaldo (SER) (Equipos que entrarían en funcionamiento al fallar el equipo principal o volúmenes de producción disponibles que cubrirían la parada por falla)
- Tiempo promedio para reparar (TPPR)
- Costo de la reparación (CR) (Efecto sobre la gestión de mantenimiento)
- **Impacto en seguridad (IS)** (Efecto sobre la integridad del personal e instalaciones)
- **Impacto ambiental (IA)** (Efecto sobre la integridad ambiental)

El modelo divide las consecuencias asociadas con una falla particular (Gravedad) en cuatro grandes categorías: Efecto operacional, Costos de reparación, Impacto en seguridad e impacto ambiental. Ver figura 7.A-B modelo de gravedad de una falla, anexo capítulo 7.

Entonces la gravedad (G) es una relación integrada por:

$$G = EO + CR + IS + IA$$

Siendo:

EO = Efecto operacional

CR = Costo de reparación

IS = Impacto de seguridad

IA = Impacto en ambiente

De tal forma el efecto operacional, es una relación que depende de:

$$EO = IO \times SER \times TPR$$

Donde:

IO = Impacto operacional

SER = Sistemas o equipos de respaldo

TPPR = Tiempo promedio para reparar

La ocurrencia (O) es simplemente la frecuencia de fallas registradas en un tiempo determinado.

Por lo cual la ecuación de criticidad queda de la siguiente manera:

$$R = [(IO \times SER \times TPR) + CR + IS + IA] \times O$$

Con la finalidad de mostrar de forma cualitativa un análisis de criticidad, a continuación se muestra un modelo de una Guía de Criticidad elaborada para una organización que fabrica productos de consumo masivo. Es de hacer notar que dicha guía de criticidad fue realizada para esa organización en específico, por lo cual las subdivisiones no deben ser generalizadas, pero sirve de patrón referencial para realizar su propia guía de criticidad y se aconseja que los analistas efectúen una ponderación máxima total para cada una de las variables (gravedad y ocurrencia) de hasta 10. Ver figura 7.1-C, análisis de gravedad, anexo capítulo 7.

$$G = \square [EO + CR + IS + IA] = 10$$

$$G = \square [(IO \times SER \times TPR) + CR + IS + IA] = 10$$

La variable ocurrencia o frecuencia de las fallas, esta representada, como modelo referencial en los siguientes valores que se muestra en la figura 7.1-D anexo capítulo 7.

De estas guías se puede generar una matriz de criticidad que muestre de forma gráfica el nivel de riesgo, además de identificar los sistemas, sub-sistemas o equipos que podemos clasificar como: Alta Criticidad (AC), Mediana Criticidad (MC) y Baja Criticidad (BC) como se muestra en la figura 7.1-E anexo capítulo 7.

7.2 Análisis de los activos o sistemas que tenga la organización

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM es una metodología de análisis sistemática, objetiva y documentada, que puede ser aplicada a cualquier tipo de instalación industrial; útil para el desarrollo u optimización de un plan eficiente de Mantenimiento.

Analiza cada Sistema y cómo estos pueden fallar funcionalmente. Los efectos de cada Falla son clasificados de acuerdo con el impacto en la Seguridad, Ambiente, la Operación y el Costo.

El objetivo principal es que los esfuerzos de Mantenimiento deben ser dirigidos a mantener la Función que realizan los Equipos más que los Equipos mismos. Es la función desempeñada por una máquina lo que interesa desde el punto de vista productivo. Esto implica que no se debe buscar tener los Equipos como si fueran nuevos, sino en condiciones suficientes para realizar bien su función. También

implica que se deben conocer con gran detalle las condiciones que la interrumpen o dificultan.

RCM es una metodología estructurada basada en un árbol de decisiones. Su éxito depende en gran parte de la experiencia de los participantes como también en la posibilidad de contar con datos de tasa de fallas y periodos de ocurrencia registrados, información dificultosa de encontrar o elaborar en el común de las plantas. La división en sistemas y sub sistemas de cada equipo es tan amplia como criterios puedan definir los integrantes del grupo. Lo mismo ocurre con la profundidad de análisis para cada Modo de Falla/Causa de Falla; solo limitada por el grado de detalle al que el grupo oriente el análisis.

En este sentido la metodología RCM es abierta y no es difícil caer en la trampa de hacer análisis tan detallados que los tiempos para la implementación del método se extienden en demasía, mientras que la planta debe continuar incrementando su grado de confiabilidad.

La norma ISO14224 , contiene en forma pre definida toda esta información, clasifica los equipos por jerarquías a saber: CLASES/ TIPOS /SISTEMAS/ SUBSISTEMAS/COMPONENTES (Ítems mantenibles).

La Norma ISO14224 brinda una base para la recolección de datos de Confiabilidad y Mantenimiento en un formato estándar para las áreas de perforación, producción, refinación transporte de petróleo y gas natural, con criterios que pueden extenderse a otras actividades e industrias. Sus definiciones son tomadas del RCM.

Si bien la norma está orientada al registro de fallas, son de gran importancia las posibilidades de aplicación que presenta para definir los límites y jerarquía de los

equipos de Operación, como también la calificación de la jerarquía de las Fallas. Parte desde el Modo de Falla, (perdida de la función) hasta el detalle de la Causa de Falla y el componente (ítem mantenible para la norma), que provoca el evento. Esta calificación tiene como ventaja que limita la profundidad de detalle del análisis, acotando el nivel al que llega el técnico de mantenimiento.

Si se identifican desde un principio los Modos de Falla estándar para cada tipo de equipo, definidos bajo un criterio netamente operacional, y se listan Sistemas y Sub Sistemas, Componentes (Ítems Mantenibles), Causa de Fallas y Descriptores de Falla; y se los recorre en forma sistemática en esta secuencia ordenada, difícilmente pueda quedar afuera ninguna Falla supuesta que afecte a las Funciones del equipo.

La norma ISO 14224 toma la máquina dividiéndola de mayor a menor

jerarquía o grado de detalle:

- Clases de equipos
- Sistemas
- Sub sistemas
- Ítem mantenible
- Componente de detalle (en un grado último de división, opcional)

Esta división es primordial y de la mayor importancia debido a que permite definir cómo se tratará a los Equipos, respecto a la posterior interpretación de los resultados; y luego cómo se asociarán los Registros de Operación y Mantenimiento, de modo de contar con metodologías sencillas de Análisis (y la aplicación de software avanzados). Ver figura 7.2, anexo capítulo 7.

7.2.1 Clases de equipos

A partir de la estructura presentada por la norma, acorde a un orden de JERARQUÍA, se establecen cuáles son las Clases de Equipos (siendo este el nivel más alto).

Se las puede asociar a Funciones; cada una en su contexto operacional; entendiendo por Función, de acuerdo con la definición de RCM, a las razones por las cuales un equipo existe dentro del proceso.

Acorde al glosario definimos como Clase a un determinado tipo de Equipo, que para la norma son los siguientes mostradas en la tabla 7.2.1 anexo capítulo 7.

7.2.2 Sistemas

Bajo los conceptos de RCM / AMEF, y así lo toma la Norma ISO 14224, se considera Sistema a un conjunto que realiza una Función específica, en un Servicio determinado dentro del Proceso, pudiéndose identificar una entrada y una salida. Incluyen todos los equipamientos disponibles para la Operación de los mismos y, en general, comparten muy pocas partes con otros Sistemas.

Como norma genérica para la fijación de sus límites, se pueden tomar todas las válvulas que lo aíslan. Ver tabla 7.2.2 anexo capítulo 7.

Para el caso de la norma quedan clasificados por:

- Tipos de equipos
- Aplicación

Ejemplos de Sistemas:

- Sistema de Bomba Centrífuga Agua de Inyección
- Sistema de Bomba Alternativa Trasvase de Petróleo

7.2.3 Sub sistemas

Son aquellos Equipos que posibilitan que el Sistema realice su función operativa y se pueden dividir por sus funciones específicas. Todo Equipo calificado como Sub Sistema que falle, afecta directamente al sistema. Ver figura 7.2.3 anexo capítulo 7.

Por ejemplo, el Control, Monitoreo e Instrumentación (o instrumentación), pueden considerarse como Unidad.

7.2.4 Ítem mantenible □ componente de detalle

La unidad final de la división es el Ítem Mantenible (COMPONENTE), entendiéndose como tal a las partes de los Equipos sobre las cuales es necesario realizar Acciones de Mantenimiento, con el objeto de alcanzar la Confiabilidad deseada.

Analizado desde otro punto de vista, Ítem mantenible es aquella parte en que su Falla (Crítica, Incipiente o por Degradación), provoca una pérdida de la capacidad del Sistema (calificadas en los Modos de Falla ISO), para que continúe operando dentro de las condiciones especificadas o determinadas para un Proceso.

Los datos de Confiabilidad deben relacionarse con cada nivel de subdivisión dentro de la jerarquía del Equipo a fin de que puedan compararse.

7.2.5 Clasificación de las fallas. Modo de falla

Se comienza tomando un ítem mantenible y se fija y analiza cuales son

las pérdidas de funciones, en caso de que Falle. SAE JA1011 define modo de falla como "Un evento único, que causa una falla funcional"

A diferencia del RCM la norma ISO 14224 tiene definidos los Modos de Falla por Clase de Equipo, de esta manera:

- a) Se comienza calificando a la FALLA con el MODO DE FALLA, la cual está asociada a las funciones del SISTEMA.
- b) Luego se calificará la Falla con dos niveles, que dan mayor detalle y está orientado al componente (ítem mantenible), estos son: Descriptor de la Falla (mecanismo de falla) y Causa de Falla.

Así la falla del Ítem Mantenible queda perfectamente acotada comenzando el análisis por la Pérdida de Función del sistema calificada por el Modo de falla, esto es desde el MACRO al DETALLE. Se parte de la Función del equipo, SISTEMA, incrementando en detalle, desde el Descriptor de la Falla hasta la Causa de Falla. Ver figura 7.2.5 anexo capítulo 7.

7.3 Equipos de Trabajo

Como lo muestra la figura 7.3, anexo capítulo 7. Una vez establecida la unidad productiva o servicio sobre la cual se desea implantar el RCM, se forman y adiestran los equipos de implantación multidisciplinarios, los cuales se recomienda que estén integrados por:

Operadores y/o supervisor de operaciones: Representa la experiencia de quien opera, escucha, siente, ve y lleva la operación de los sistemas todos los días. Aportaran gran conocimiento sobre el efecto y consecuencias de fallas.

Técnicos y/o supervisores de áreas específicas: Mecánicos, Electricistas e

instrumentistas, estos son los expertos en la prevención y corrección de problemas en la operación de la maquinaria, aportaran el conocimiento de causas de falla y maneras de evitarlas.

Expertos y Especialistas: Estos normalmente participaran bajo llamado para resolver alguna controversia en las reuniones de trabajos, su necesidad será evaluada por el facilitador, estos pueden ser: supervisores de ingeniería y protección integral.

Facilitador: El grupo deberá estar coordinado por un miembro denominado facilitador, quien será el experto en RCM y su labor consistirá en fijar reuniones, coordinarlas y verificar que el trabajo del equipo esté de acuerdo con la metodología, prestando para esto toda su experiencia y conocimiento, no debe ser obligatoriamente un experto en mantenimiento, ni conocer los sistemas sobre los cuales se está operando (aunque esto es recomendable).

CAPITULO 8

8. Implantación del RCM.

Moubray, (2004:7) menciona que el proceso de RCM formula siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta revisar. Cualquier proceso RCM debe asegurar que se respondan satisfactoriamente siete preguntas básicas.

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

Lo que se presenta en este capítulo es la puesta en práctica de la metodología, al darle una respuesta satisfactoria a cada una de las anteriores preguntas. Toda la información y las decisiones deben ser documentadas en forma tal que estén disponibles y aceptables para el propietario o usuario del recurso y esto debe hacerse utilizando el formato del AMEF.

8.1 Definir las funciones y los modelos ideales de rendimiento del recurso, en su actual contexto operativo (Funciones)

Cada elemento de un sistema, de un sub-sistema o de un equipo debe de haberse adquirido para unos propósitos determinados. En otras palabras, deberá tener una función o funciones específicas. La pérdida total o parcial de estas funciones afecta a la organización en cierta manera. La influencia total sobre la organización depende de:

- La función de los equipos en su contexto operacional.
- El comportamiento funcional de los equipos en ese contexto.

Como resultado de esto el proceso de RCM comienza definiendo las funciones y los estándares de comportamiento funcional asociados a cada elemento de los equipos en su contexto operacional.

Cuando se establece el funcionamiento deseado de cada elemento, el RCM pone un gran énfasis en la necesidad de cuantificar los estándares de funcionamiento siempre que sea posible. Estos estándares se extienden a la producción, calidad del producto, servicio al cliente, problemas del medio ambiente, costo operacional y seguridad.

El análisis funcional nace para responder a varias inquietudes observadas en innumerables aplicaciones de RCM alrededor del mundo, veamos primero algunos usos del análisis funcional:

- Subdivide los complejos en unidades de más fácil comprensión y análisis.

- Permite dar un enfoque de caja negra a procesos complejos.
- Identifica los estándares de operación (calidad, cantidad, seguridad, etc.) de los procesos.
- Identifica las fronteras de entrada y salida de cada proceso, esto permite establecer
- claramente las responsabilidades de cada sistema dentro del gran proceso.
- Al ser unos de los puntos iniciales de análisis, hace que el grupo de trabajo alcance niveles de conocimiento bastante uniforme sobre los procesos.

El análisis funcional puede aplicarse a diversos niveles, pero, nuestro nivel de análisis normalmente se encuentra en procesos, equipos, sistemas, sub-sistemas y partes.

Las funciones, los modos de falla, las consecuencias de falla y las políticas de manejo de fallas que serán aplicadas a cualquier activo dependerán no sólo de cuál es el activo, sino también de las circunstancias exactas bajo las cuales será utilizado. Como resultado, se necesitan definir claramente estas circunstancias antes de intentar responder la pregunta citada anteriormente.

8.1.1 Funciones

Funciones: Descripción simple de las funciones unitarias a realizar por el proceso, ejemplo inyectar, calentar, enviar, etc. Expresar las funciones de manera que se entienda lo que se hace y en la secuencia en que se hace. La mejor forma analizarlo es a través de un diagrama funcional como se muestra en la figura 8.1.1-A ANEXO CAPITULO 8, que no es otra cosa que un diagrama de

bloques que muestre lo que se hace y su secuencia. Según SAE JA1011 una función es: "Lo que el dueño o usuario de un activo físico o sistema desea que éste haga".

El objetivo del proceso RCM es desarrollar una serie de políticas que preserven las funciones del activo o sistema en consideración, a los estándares de desempeño que son aceptables para el dueño/usuario. Como resultado, el proceso RCM comienza por la definición de todas las funciones del activo en su contexto operacional. Las funciones deben ser divididas en dos categorías: funciones primarias y secundarias.

a. Funciones Primarias

La razón por la que cualquier organización adquiere algún activo o sistema es para cumplir con una función o funciones específicas. Estas se conocen como funciones primarias del activo. Por ejemplo, la razón principal por la que alguien adquiere un carro puede ser "transportar cinco personas a 90 Km una hora en un buen camino". Según SAE JA1011: "Funciones que constituyen la razón principal por la cual un activo físico o sistema fue adquirido por el usuario o dueño"

Por ejemplo:

La Figura 8.1.1-B anexo capítulo 8, muestra una bomba para bombear agua de un tanque a otro. La capacidad nominal de la bomba es de 1000 litros por minuto, y el agua es succionada del tanque a una velocidad máxima de 800 litros por minuto. La función primaria de esta bomba se debe describir así: "bombear agua del tanque A al tanque B, a no menos de 800 litros por minuto". Aquí el verbo es "bombear", el objeto es "agua", y el parámetro de funcionamiento deseado es "del tanque A al tanque B, a no menos de 800 litros por minuto".

Los enunciados de las funciones protectoras necesitan un manejo especial. Estas funciones actúan en excepciones, en otras palabras, cuando algo va mal, entonces el enunciado de la función debe reflejar este hecho. Normalmente esto se hace incorporando las palabras "si" o "en el caso de", seguidas por un breve resumen de las circunstancias o evento que activarían la protección. Por ejemplo, la función de una válvula de alivio de presión debe ser descrita como sigue: "Ser capaz de aliviar la presión en la caldera si excede de 250 psi"

b. Funciones Secundarias

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

Según SAE JA1011: "Funciones que un activo físico ha de cumplir a parte de las funciones primarias, tales como aquellas que comprometen temas como protección, control, contención, confort, apariencia, eficiencia energética, integridad estructural y ambiental y superfluas"

c. Funciones Evidentes

Según SAE JA1011: "Función cuya falla es en sí es evidente para los operadores en circunstancias normales". En otras palabras los operadores saben si está funcionando o no está funcionando.

d. Funciones Ocultas

Según SAE JA1011: "Función cuya falla es en sí no es evidente para los operadores en circunstancias normales". En otras palabras los operadores no saben si está funcionando o no está funcionando, o un modo de falla está ocurriendo.

e. Estándares de desempeño o nivel deseado de desempeño

Todos los estándares de desempeño deben ser incluidos en las declaraciones de función del equipo, logrando de esta manera especificar claramente lo que se desea con la existencia de este equipo en particular. Si es necesario se deben incluir.

Estándares sobre calidad, seguridad, energía, eficiencia, ambiente, etc. Los estándares de desempeño deberán ser fijados por el personal de mantenimiento y operaciones en conjunto, avalados por especialistas de ser requerido. **Según SAE JA1011:** "Nivel de desempeño deseado por el dueño o usuario de un activo físico o sistema"

Cualquier sistema organizado expuesto al mundo real se deteriorará, hacia una desorganización total (también conocida como "caos" o "entropía"), a menos que se tomen ciertos pasos para tratar con cualquier proceso que esté causando el deterioro del sistema.

Por ejemplo, las bombas centrifugas son objeto de desgaste del impulsor. Esto pasa si una bomba desplaza ácido o aceite lubricante, y si el impulsor es de titanio o de acero dúctil. La única pregunta es cuán rápido se deteriorará el impulsor hasta el punto en el cual no pueda bombear fluido al caudal de flujo mínimo requerido.

Una vez que el desempeño de un activo cae por debajo del valor mínimo aceptable para el usuario, el activo ha fallado. Recíprocamente, si el desempeño del

activo se mantiene por encima de este valor mínimo, continúa funcionando a un nivel que es satisfactorio para el usuario. La expresión "usuarios" incluye dueños de los activos, los usuarios de los activos (comúnmente los operadores) y la sociedad como un todo. Los dueños están satisfechos si sus activos generan un retorno satisfactorio de la inversión realizada para adquirirlos (normalmente el retorno financiero para operaciones comerciales, u otras mediciones para operaciones no-comerciales). Los usuarios están satisfechos si cada activo continúa haciendo aquello que ellos desean que haga a un estándar de desempeño que ellos (los usuarios) consideran satisfactorio. Finalmente, la sociedad como un todo está satisfecha si el activo no falla de modo que amenace la seguridad pública o el ambiente.

En esencia, esto significa que si nosotros estamos en la búsqueda de encausar un activo para que continúe funcionando a un nivel que sea satisfactorio para el usuario, entonces el objetivo del mantenimiento es asegurar que el activo continúe operando por encima del nivel mínimo que es aceptable para estos usuarios. Si fuese posible disponer de un activo de modo que pudiese entregar el desempeño mínimo sin ningún deterioro, entonces él mismo podría estar disponible para trabajar continuamente, sin necesidad de mantenimiento.

Sin embargo, el deterioro es inevitable, por lo tanto debe estar permitido. Esto significa que cuando algún activo entra en servicio, debe estar disponible para entregar el estándar de desempeño mínimo deseado por el usuario. Lo que el activo está disponible a entregar en este punto se conoce como capacidad inicial. La Figura 8.1.1-C anexos capítulo 8, ejemplifica la relación correcta entre esta capacidad y el desempeño deseado.

Esto significa que el desempeño puede ser definido de dos maneras:

- Desempeño deseado (lo que desea el usuario que haga el activo).
- Capacidad inicial (lo que puede hacer el activo).

El margen de deterioro debe ser suficientemente extenso para permitir un tiempo de uso razonable antes de que los componentes se degraden hacia una falla funcional, pero no tan extenso para que el sistema esté sobre diseñado y sea también demasiado costoso. En la práctica, el margen es adecuado en el caso de la mayoría de los componentes, sin embargo, normalmente es posible desarrollar programas de mantenimiento acordes.

Sin embargo, si el desempeño deseado es más alto que la capacidad inicial, ninguna cantidad de mantenimiento podrá entregar el desempeño deseado, en ese caso el activo no es mantenible.

Esto implica que para saber si un activo debe ser mantenido, necesitamos saber ambos tipos de comportamientos: capacidad inicial del activo y el desempeño mínimo que el usuario está dispuesto a aceptar en el contexto en el cual el activo será utilizado. Este desempeño mínimo es el desempeño estándar que debe ser incorporado en los enunciados de la función.

Por ejemplo, la capacidad inicial de la bomba de la primera figura es de 1000 litros por minuto, y la tasa a la cual el agua está siendo succionada del tanque (fuera del tanque) es de 800 litros por minuto. En este contexto, la bomba está cumpliendo las expectativas de su usuario con tal que continúe bombeando agua en el tanque más rápido de lo que el agua está siendo succionada. Como resultado, la función primaria de la bomba fue descrita como "bombear agua del tanque **A** al tanque **B**, a no menos de 800 litros por minuto" y no "bombear a 1000 litros por minuto".

Nótese que si la misma bomba estuviese siendo usada en una situación en la que la succión del tanque fuera (dijera) 900 litros por minuto, entonces la función primaria debería leerse "bombear agua del tanque A al tanque B, a no menos de 900 litros por minuto", y el programa de mantenimiento debe ser cambiado para reflejar esta nueva expectativa operacional.

Nótese que los usuarios y mantenedores frecuentemente tienen puntos de vista significativamente diferentes acerca de lo que constituye un desempeño aceptable. Como resultado, para evitar malos entendidos en lo que constituye una "falla funcional", los estándares mínimos de desempeño aceptable deben estar claramente definidos y entendidos por los usuarios y los mantenedores del activo, junto con cualquier otra persona que tenga un interés legítimo en el comportamiento del activo.

Los estándares de desempeño se deben cuantificar en los casos en que sea posible, ya que los estándares cuantitativos son más claros y más precisos que los cualitativos. Ocasionalmente sólo se utilizan estándares cualitativos cuando se trata de funciones relativas a la apariencia. En esos casos, se debe cuidar especialmente de que los estándares cualitativos sean entendidos y aceptados por los usuarios y mantenedores del activo.

f. Contexto Operativo

Según SAE JA1011: "Circunstancias en las cuales se espera que opere un activo físico o sistema"

La definición de un contexto operacional de un activo físico típicamente incluye una descripción global breve de cómo se utilizará este activo, donde se utilizará, y los aspectos que gobiernan los criterios de desempeño global tales

como producción, rendimiento, seguridad, integridad ambiental, y así sucesivamente. Los aspectos específicos que se deben documentar en la definición del contexto operacional, incluyen:

1) Proceso fluido versus proceso por lotes: si el activo está operando en un proceso por lotes (o intermitente) o un proceso fluido (o continuo).

2) Estándares de calidad: la calidad global o las expectativas de servicio al consumidor, en términos de aspectos tales como la tasa global de desperdicio, mediciones de satisfacción al cliente (como expectativas de operación a tiempo en sistemas de transporte, o tasa de las demandas de garantía de los artículos manufacturados), o preparación militar.

3) Estándares ambientales: que estándares ambientales organizacionales, regionales, nacionales, e internacionales aplican para el activo (si hay alguno).

4) Estándares de seguridad: si cualquier expectativa de seguridad predeterminada aplica al activo (en términos de lesiones globales o tasa de fatalidad).

5) Lugar de operaciones: características de la localidad en la cual el equipo será operado (ártico versus tropical, desértico versus selvático, costa adentro versus costa afuera, proximidad de las fuentes de suministro de partes y/o labor, etc.).

6) Intensidad de operaciones: en el caso de manufactura y minería, si el proceso del cual forma parte el equipo opera 24 horas por día, siete días a la semana, o a una intensidad menor. En el caso de utilidades, si el equipo opera bajo picos de carga o condiciones de baja carga. En el caso de equipos militares, si las políticas de manejo de fallas están diseñadas para operaciones en tiempos

de paz o en tiempos de guerra.

7) Redundancia: si existe alguna capacidad redundante o en stand by, y en ese caso que forma toma.

8) Trabajo-durante-operación: La magnitud a la cual las actividades trabajo-durante-operación (si hay alguna) permite parar el equipo sin afectar la producción o el rendimiento.

9) Repuestos: si se deben tomar algunas decisiones en cuanto al inventario de repuestos claves que puedan afectar la subsiguiente selección de las políticas de manejo de fallas.

10) Demanda del mercado/suministro de materia prima: si las fluctuaciones cíclicas en la demanda del mercado y/o en el suministro de materia prima puedan afectar la subsiguiente selección de las políticas de manejo de fallas. (Tales fluctuaciones pueden ocurrir en el transcurso de un día en el caso de un negocio de transporte urbano, o en el transcurso de los años en el caso de una estación generadora de energía, un parque de diversiones, o una industria de procesamiento de alimentos).

En el caso de sistemas muy grandes y muy complicados, sería sensato estructurar el contexto operacional de modo jerárquico, si es necesario comenzar con la definición de la misión de la organización entera que está usando el activo.

8.2 Formas en que los activos dejan de cumplir con sus funciones

(Fallas Funcionales)

Una vez que las funciones y los estándares de desempeño de cada sistema o

equipo se hayan definido, el paso siguiente es identificar cómo puede fallar cada elemento en la realización de sus funciones. Esto lleva al concepto de una falla funcional, que se define como la incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado. **Según SAE JA1011:** "Estado en el cual un activo físico o sistema no es capaz de ejecutar una función específica para un nivel deseado de desempeño".

La sección anterior explica que un activo falla si es **incapaz** de hacer lo que el usuario desea que haga. También explica que el activo debe estar definido como una función, y que cada activo tiene más de una (y frecuentemente varias) funciones diferentes. Como para cada una de estas funciones existe la posibilidad de fallar, cualquier activo puede sufrir una variedad de estados de falla.

Por ejemplo, la función primaria de la bomba en la primera figura era "bombear agua del tanque **A** al tanque **B**, a no menos de 800 litros por minuto" mientras que una función secundaria podría ser "contener el agua en la bomba". Es posible que tal bomba sea capaz de bombear la cantidad requerida de agua (no falla en términos de su función primaria) mientras gotea continuamente (falla en términos de su función secundaria). Recíprocamente, es equivalentemente posible que la bomba se deteriore al punto en el cual no pueda bombear el caudal requerido (falla en términos de su función primaria) mientras contiene el líquido requerido (no falla en términos de su función secundaria).

Por esta razón, definir la falla en términos de la pérdida de las funciones específicas es más preciso que definir la falla de un activo como un todo. Los ejemplos anteriores también muestran porque el proceso RCM utiliza el término "falla funcional" para describir estados de falla, en lugar de simplemente "falla" (Nótese

que RCM distingue entre una falla funcional o estado de falla, y un "modo de falla" (el cual es un evento que causa un estado de falla).

Las fallas funcionales pueden ocurrir de una manera total o parcial, influyendo esto en el impacto de la misma. Por lo general las causas de falla de una falla total difieren a **los modos de una falla parcial**. Las fallas funcionales pudieran clasificarse a su vez en: Súbitas, Graduales, Mortalidad Infantil, Aleatorias y por Desgaste, ésta clasificación depende de dos variables:

- a. Según la forma de presentarse
- b. El tiempo de vida que tenga el componente para el momento de la falla.

8.2.1 Falla Total y Parcial

Las fallas funcionales que representan la falla total de la función son relativamente fáciles de identificar. Por ejemplo, está claro que la bomba mencionada en la sección 5.1, sufrirá una falla funcional si no bombea ninguna cantidad de agua ("falla total"). Sin embargo; la bomba también sufrirá una falla funcional si puede bombear agua a una tasa menor de 800 litros por minuto.

El segundo estado de falla en este ejemplo se conoce como "falla parcial". Las fallas parciales necesitan identificarse separadamente porque ellas son causadas casi siempre por modos de falla diferentes de las fallas totales, y porque las consecuencias casi siempre son también diferentes.

Tenga presente que la falla parcial no es igual que el deterioro por debajo de la capacidad inicial. Todo se deteriora por debajo de la capacidad inicial

después de algún tiempo de uso, y tal deterioro puede ser tolerado con tal que no alcance el punto inaceptable para el usuario del activo. El deterioro sólo se convierte en una falla funcional (parcial o total) cuando el desempeño cae por debajo del nivel mínimo requerido por el usuario.

8.2.2 Límites Superiores e Inferiores

Los estándares de desempeño asociados con algunas funciones incorporan límites superiores e inferiores. Estos límites implican que el activo ha fallado si opera por encima del límite superior o por debajo del límite inferior. En estos casos, la demarcación del límite superior necesita ser documentada separadamente de la demarcación del límite inferior. Esto es porque los modos de falla y/o consecuencias asociadas cuando se excede el límite superior son generalmente diferentes que los asociados cuando se está por debajo del límite inferior. La figura 8.2.2 anexos capítulo 8, muestra un ejemplo de funciones y las fallas funcionales de un sistema de escape de una turbina a gas a manera de ejemplificar el tema tratado.

8.3 Lo que ocasiona cada falla funcional (Modos de Falla)

El paso siguiente es tratar de identificar los modos de falla que tienen más posibilidad de causar la pérdida de una función. Esto permite comprender exactamente qué es lo que puede que se esté tratando de prevenir. La norma **SAE JA1011** define como modo de falla "cualquier evento simple que puede generar una falla funcional", por ejemplo tenemos: desgaste de XX, bloqueo por XX, atascamiento de XX, fisura en XX, aflojamiento de XX, fractura de XX, etc. La descripción del modo de falla **incluye un pronombre y un verbo**.

El proceso de anticipar, prevenir, detectar o corregir posibles fallas, será aplicado a cada modo de falla y de ser referido a cada causa de falla. El mantenimiento como tal debe ser manejado a este nivel y es el modo de falla quien indica lo que debe prevenir el mantenimiento.

La identificación de los modos de falla es uno de los procesos de mayor importancia dentro del desarrollo de cualquier plan de mantenimiento. Normalmente y dependiendo del nivel de análisis se pueden encontrar entre uno y treinta modos de falla por falla funcional.

Cuando se está realizando este paso, es importante identificar cuál es la causa origen de cada falla. Esto asegura que no se malgaste el tiempo y el esfuerzo tratando los síntomas en lugar de las causas. Al mismo tiempo, cada modo de falla debe ser considerado en el nivel más apropiado, para asegurar que no se malgasta demasiado tiempo en el análisis de falla en sí mismo. Es por esto que es importante definir los siguientes cinco conceptos claves concernientes a los modos de falla:

- 1) Identificar los modos de falla.
- 2) Establecer que se entiende por "probable".
- 3) Niveles de causalidad.
- 4) Fuentes de información.
- 5) Tipos de modos de falla.

8.3.1 Identificando los Modos de Falla

Se deben identificar los modos de falla probables que puedan causar

cada falla funcional□

El RCM distingue entre el estado de falla del activo (falla funcional) y los eventos que causan los estados de falla (modos de falla). Debido a que es imposible definir las causas de una falla hasta que se haya establecido exactamente qué se entiende por "falla", el proceso RCM identifica las fallas funcionales antes de definir los modos de falla.

La Figura 8.3.1 anexos capítulo 8, lista las funciones de un activo, las fallas funcionales y los modos de falla, muestra casi todos los elementos de un Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF). Los "efectos" de cada modo de falla son listados más adelante, y también muestra que la descripción de un modo de falla debe contener al menos un pronombre y un verbo. La descripción debe ser suficientemente detallada de modo que posibilite la selección de una política de manejo de fallas adecuada, pero no tan detallada que tome demasiado tiempo realizar el proceso de análisis.

En particular, los verbos utilizados para describir los modos de falla se deben seleccionar cuidadosamente, ya que tienen una gran influencia en el proceso de selección de las políticas de manejo de fallas. Por ejemplo, se debe usar muy poco verbos como "fallar" o "averiarse" o "malfuncionamiento", ya que dan poca o ninguna indicación de cuál podría ser la manera apropiada de manejar el modo de falla. El uso de verbos más específicos hace posible seleccionar las opciones de manejo de fallas a partir de un rango completo.

Por ejemplo, en la Figura 8.3.1 el modo de falla A1d podría llamarse "fallas del acople". Sin embargo; tal frase no provee pistas de que podría hacerse para anticipar o prevenir el modo de falla. Si nosotros decimos "los pernos del acople están sueltos" o

El cubo del acople presenta cizallas debido a la fatiga, entonces se torna mucho más fácil identificar una tarea proactiva.

Ejemplo: Modos de falla de un motor eléctrico:

- Acople suelto
- Rodamientos desgastados
- Bloqueo del rotor
- Excentricidad magnética
- Arrancador quemado
- Perdida de aislamiento

En este proceso deberemos tomar en cuenta:

- La respuesta a la pregunta ¿Qué se observó al producirse la falla?, deberá ser el modo de falla.
- Fallas funcionales idénticas de equipos idénticos pueden tener diferentes modos de falla si el contexto operativo es diferente.
- Solo se deben listar aquellos modos de falla que tengan una probabilidad de ocurrencia razonable, en general se deben de incluir los modos de falla que tengan los siguientes orígenes:
 - Fallas ocurridas en esta u otra planta similar.
 - Toda falla que aunque no haya ocurrido antes, posea una
 - Probabilidad de ocurrencia razonable.
 - Toda falla cuyas consecuencias lo justifiquen.
 - Hacer el despiece de la máquina hasta los componentes a los cuales se les pueda programar una rutina de mantenimiento preventivo.

Para válvulas, interruptores, y dispositivos similares, la descripción del modo de

falla debe indicar si la pérdida de la función es causada en la posición abierta o cerrada del elemento que falla. "Atascamiento de la válvula en posición cerrada" dice más que "Atascamiento de la válvula". Además, el propósito de identificar los modos de falla es identificar la causa de la falla funcional de modo que se encuentre la manera de anticiparla o prevenirla. Como resultado, a veces puede ser necesario tomar además otro paso, como por ejemplo "Atascamiento de la válvula en posición cerrada debido al óxido en el paso del tornillo". En este contexto, el uso de la palabra "óxido" sugiere que sería apropiado enfocar los esfuerzos de manejo de fallas en detectar o controlar el óxido.

8.3.2 Establecer que se entiende por probable

"El método utilizado para decidir que constituye un modo de falla "probable" debe ser aceptado por el dueño o usuario del activo" (SAE JA1011, sección X.3.2).

Se deben identificar todos los modos de falla probables que pueden causar cada falla funcional. "Probabilidad razonable" significa: una probabilidad que encuentra una prueba de racionalidad, cuando es aplicada por personal conocedor y entrenado. (Un término utilizado en lugar de "razonable" en este contexto es el término "creíble".) Si las personas entrenadas para utilizar RCM, y quienes conocen el activo en su contexto operacional, acuerdan que la probabilidad a la que un modo de falla específico puede ocurrir es suficientemente alta para que garantice un análisis extenso entonces, el modo de falla debe ser listado.

En la práctica, algunas veces es muy difícil decidir si un modo de falla debe o no ser listado. Este problema está relacionado al mismo tiempo a la probabilidad de ocurrencia y al nivel de detalle utilizado para describir los modos de falla. Muy pocos

modos de falla, y/o poco detalle, conducen a un análisis superficial y algunas veces peligroso. Muchos modos de falla, y/o mucho detalle, causan que el proceso RCM completo tome mucho más tiempo del necesario. En casos extremos, esto puede causar que el proceso tome dos o incluso tres veces más del tiempo necesario (un fenómeno conocido como "parálisis del análisis"), y puede también conducir a programas de mantenimiento excesivamente difíciles.

En situaciones, donde puedan existir dudas o desacuerdos sobre lo que constituye el umbral de "racionalidad", la decisión final debe ser tomada por la organización que posee o usa el activo, ya que dicha organización tendrá la responsabilidad de las consecuencias si ocurre el modo de falla.

Nótese que la decisión de listar un modo de falla debe ser regulada considerando sus consecuencias. Si es probable que las consecuencias sean de hecho muy severas, posiblemente deben listarse los modos de falla y deben estar sujetos a un análisis más extenso.

Por ejemplo, si la bomba descrita en la Figura 8.3.1 fuese instalada en una fábrica de alimentos o en una planta ensambladora de vehículos, el modo de falla "carcasa rota por un objeto que cayó del cielo" debe ser omitida inmediatamente por ser ridículamente improbable. Sin embargo; si la misma bomba fuese una bomba de enfriamiento primaria de un reactor nuclear en una planta de energía comercial, este modo de falla se debe tomar más en serio □ incluso si pensamos que todavía es altamente improbable. (Las políticas de manejo de fallas apropiadas podrían prohibir que un avión vuele encima de la facilidad, o diseñar un techo que pueda resistir el choque de un avión. Esto por supuesto no es una simple especulación □ ambas políticas son consideradas rutinariamente en estaciones de energía nuclear).

8.3.3 Niveles de Causalidad

□Se deben identificar los modos de falla en un nivel de causalidad que haga posible identificar una política de manejo de fallas apropiada.□(SAE JA 1011, sección X.3.3)

Las secciones previas de este manual declaran que los modos de falla deben ser descritos con suficiente detalle para hacer posible la selección de una política de manejo de fallas apropiada, pero no en tanto detalle que se invierta demasiado tiempo en el proceso de análisis.

La magnitud a la cual los modos de falla se deben describir en diferentes niveles de detalle se ilustra en la Figura 8.3.3 anexos capítulo 8, basada en la bomba cuyas funciones y fallas funcionales fueron descritas en la Figura 8.3.1. La Figura 8.3.3 lista algunos de los modos de falla que podrían causar la falla funcional □no disponible para transferir ninguna cantidad de agua□ En este ejemplo, estos modos de falla se consideran en siete niveles de detalle, comenzando con la falla de la bomba dispuesta como un conjunto.

El primer punto que surge de este ejemplo es la conexión entre el nivel de detalle y el número de modos de falla listados. El ejemplo muestra que mientras más profundo sea el Análisis de Modo y Efectos de Falla (AMEF), más grande será el número de modos de falla que pueden ser listados. Por ejemplo, hay tres modos de falla listados para la bomba al nivel 3 en la Figura 8.3.3, pero 20 causalidades en el nivel 6.

8.3.3.1 Causas Raíz

Amendola (2006: 31), opina que el análisis de criticidad es la metodología que

permite establecer la jerarquía prioridad de procesos, sistemas o equipos.

El término "causa raíz" se utiliza frecuentemente en conexión con el análisis de fallas. Implica que es posible llegar al final y a un nivel de causalidad absoluto, si se profundiza lo suficiente. De hecho, esto no es sólo muy difícil de hacer, sino que también es comúnmente innecesario. Ver figura 8.3.3 anexo capítulo 3.

Fernández (1998:08), define que el mantenimiento correctivo con eliminación de causa consiste en la eliminación de la causa raíz que origino la avería.

Por ejemplo, en la Figura 8.3.3 el modo de falla "tuerca del impulsor suelta" está listado en el nivel 4, que a su vez es causado por "tuerca del impulsor fracturada" en el nivel 5. Si nosotros fuésemos a un nivel más profundo, esto podría haber ocurrido por "apriete excesivo de la tuerca del impulsor" (nivel 6), lo que a su vez puede haber ocurrido por "error de ensamblaje" (nivel 7). El error de ensamblaje puede haber ocurrido porque el "técnico estaba distraído" (nivel 8). Él pudo haber estado distraído porque su "niño estaba enfermo" (nivel 9). Este modo de falla puede haber ocurrido porque el "niño comió comida dañada en un restaurante" (nivel 10).

Para visualizar mejor los modos de falla se aconseja utilizar el modelo del Diagrama de Árbol Lógico de ACR (Análisis de Causa Raíz), ya que cada modo de falla generará su respectiva hipótesis de cómo sucedió o cómo podría suceder, y luego se deberá identificar, para cada una de ellas, las causas raíces Físicas, Humanas y/o Latentes que fueron o son posibles que causaran la falla funcional. Ver figura 8.3.3.1 anexos capítulo 8.

8.3.4 Fuentes de Información de los Modos de Falla

Las listas de los modos de falla deben incluir los modos de falla que han ocurrido antes, los modos de falla que están siendo prevenidos actualmente debido a la existencia de programas de mantenimiento, y los modos de falla que no han ocurrido aún pero que se piensan probables (creíbles) en el contexto operacional. (SAE JA1011, 5.3.4).

Los modos de falla que han ocurrido antes en los mismos activos o en activos similares, son los candidatos más obvios para ser incluidos en la lista de los modos de falla, a menos que se haya cambiado algo para que ese modo de falla no ocurra de nuevo. Las fuentes de información de estos modos de falla incluyen personas que conocen bien el activo (operadores, mantenedores, vendedores de equipos, u otros usuarios del mismo equipo), registros de historia técnica (memoria técnica) y bancos de datos.

Los modos de falla para los cuales existen rutinas de mantenimiento proactivas también se deben incorporar en la lista de modos de falla. Una manera de asegurar que ninguno de estos modos de falla haya sido descuidado, es estudiar la existencia del mantenimiento programado para activos idénticos o muy similares y preguntarse, ¿qué podría ocurrir si no se realizara esta tarea? Sin embargo, la existencia de programaciones no debe ser sólo analizada como una revisión final después que se haya completado el resto del análisis RCM, de modo que se reduzca la posibilidad de perpetuar el statu quo.

Finalmente, la lista de modos de falla debe incluir los modos de falla que no hayan ocurrido aún pero que se consideren como posibilidades reales en el contexto en consideración. Una característica esencial del mantenimiento proactivo y de la

gerencia del riesgo en particular, es identificar y decidir cómo tratar con los modos de fallas que aún no han ocurrido. Este es también uno de los aspectos más desafiantes del proceso RCM, porque requiere un alto grado de juicio aplicado por personas experimentadas y conocedoras.

8.3.5 Tipos de Modos de Falla

Las listas de los modos de falla deben incluir cualquier evento o proceso que probablemente pueda causar una falla funcional, incluyendo deterioro, defectos de diseño, y errores humanos que pueden ser causados por operadores o mantenedores (a menos que el error humano esté siendo activamente dirigido por un proceso analítico aparte del RCM). (SAE JA1011, X.3.5).

El deterioro ocurre cuando la capacidad de un activo está por encima del desempeño deseado para comenzar a operar, pero entonces cae por debajo del desempeño deseado después que el activo entra en servicio. Esto cubre todas las formas de "desgaste o rotura" Tales como fatiga, corrosión, abrasión, erosión, evaporación, degradación (especialmente de aislantes, lubricantes, etc.) y así sucesivamente. Estos modos de falla deben, por supuesto, ser incluidos en una lista de modos de falla en la que se piensen sean probables, y al nivel de detalle más apropiado.

En algunos casos, el diseño de un activo o la configuración de un sistema pueden proporcionarlo de modo que sea incapaz de cumplir el rango completo de los requerimientos funcionales en el contexto en el cual se espera que opere. Si tales deficiencias se piensan que afecten el equipo existente, o si en el caso de un equipo nuevo, se piensa que el diseño existente y los procesos de manejo de

construcción son improbables para descubrir y rectificar tales deficiencias, deben listarse estos modos de falla para que puedan identificarse las políticas de manejo de fallas apropiadas más adelante en el análisis.

Muchas fallas funcionales son causadas cuando el esfuerzo aplicado a un activo se incrementa por encima de su habilidad para resistir el esfuerzo. En la práctica estos incrementos del esfuerzo son aplicados frecuentemente por seres humanos. La literatura en esta materia clasifica tales errores humanos en una amplia variedad de maneras. Sin embargo; en el mundo de los activos físicos estos errores usualmente entran en las siguientes categorías:

- a. **Operación incorrecta.** Esto usualmente toma dos formas. La primera es sobrecarga sostenida, frecuentemente deliberada (por ejemplo, si una máquina es operada a niveles de desempeño que alcancen o excedan su capacidad inicial, tal como un motor de automóvil que es operado persistentemente a unas RPM excesivas, causando su falla prematura). La segunda es sobrecarga repentina, usualmente no intencional, (por ejemplo, si un activo es simplemente operado incorrectamente, tal como un vehículo que es puesto en retroceso mientras se está moviendo hacia delante, dañando la caja).
- b. **Ensamblaje incorrecto** (por ejemplo, si un mecánico deja una herramienta en una caja de engranajes o un electricista cablea un interruptor incorrectamente).
- c. **Daño externo** (por ejemplo, si la carcasa de una bomba es golpeada por un camión montacargas).

Si tales incrementos en el esfuerzo aplicado se piensan probables en el contexto en consideración (y si ellos no se han tratado por un proceso analítico

separado), también se deben incorporar en la lista de los modos de falla, de modo que se puedan identificar las políticas de manejo de fallas adecuadas.

8.3.5.1 ¿Por qué analizar modos de falla?

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

8.4 Qué sucede cuando ocurre cada falla (Efectos de las Fallas)

Cuando se identifica cada modo de falla, los efectos de las fallas también deben registrarse (en otras palabras, lo que pasaría si ocurriera). Este paso permite decidir la importancia de cada falla, y por lo tanto qué nivel de mantenimiento (si lo hubiera) sería necesario. **Según SAE JA1011:** □Que pasa cuando ocurre un modo de falla□

Si respondemos la pregunta: ¿Qué pasa cuando ocurre un modo de falla? Entonces estos serán los efectos de falla. □Los efectos de falla deben describir lo que puede pasar si no se realiza ninguna tarea específica para anticipar, prevenir o detectar la falla.□(SAE JA1011, sección X.4.1).

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

1) ¿Qué evidencia (si existe alguna) que la falla ha ocurrido (en el caso de

funciones ocultas, que podría pasar si ocurre una falla múltiple)?

- 2) ¿Qué hace (si ocurre algo) para matar o dañar a alguien, o para tener efectos adversos en el ambiente?
- 3) ¿Qué hace (si ocurre algo) para tener un efecto adverso en la producción o en las operaciones?
- 4) ¿Qué daño físico (si existe alguno) causa la falla?
- 5) ¿Qué (si existe algo) se debe hacer para restaurar la función del sistema después de la falla? (SAE JA1011, sección 5.4.2)

8.4.1 Evidencia de que ha ocurrido la falla

Una definición de efecto de falla debe describir si hay alguna evidencia de que el modo de falla en consideración ha ocurrido. Si es así, la misma debe describir que forma toma esta evidencia. Por ejemplo, debe mencionar si el comportamiento del equipo cambia notablemente como resultado del modo de falla (luces de alarma, cambio en los niveles de ruido y velocidad, etc.). También debe describir si el modo de falla está acompañado (o precedido) por efectos físicos obvios, tales como, ruidos altos, fuego, humo, escapes de vapor, olores inusuales, o charcos de líquido en el piso.

Cuando se trata de protección, las descripciones de los efectos de falla deben definir brevemente lo que puede pasar si la función protectora falla mientras la protección está en estado de falla.

8.4.2 Amenazas a la Seguridad y al Ambiente

Si hay una posibilidad que alguien pueda ser herido o muerto como resultado

directo del modo de falla, o se viola una norma o regulación ambiental, el efecto de falla debe describir como podría pasar esto. Una lista seleccionada de ejemplos incluye:

- Incremento del riesgo de fuego o explosión.
- El escape de químicos peligrosos.
- Electrocutación.
- Accidentes vehiculares, descarrilamientos.
- Ingreso de suciedad en productos alimenticios o farmacéuticos.
- Exposición a bordes afilados o maquinaria en movimiento.

Quando se listan estos efectos, se debe tener cuidado de no decir que el modo de falla tiene consecuencias de seguridad o afecta el ambiente . Simplemente define que pasa, y deja la evaluación de las consecuencias para el próximo paso del proceso RCM.

8.4.3 Efecto en la producción o en las operaciones

Las descripciones de los efectos de falla deberían indicar como se afecta la producción o las operaciones (si son afectadas), y por cuánto tiempo. Se deben considerar los siguientes puntos:

- a. **Tiempo fuera de servicio:** cuanto tiempo el activo podría estar fuera de servicio debido a ese modo de falla, desde el momento que falla hasta el momento que entra de nuevo completamente en operación. Para asegurar que el programa de manejo de fallas es razonablemente conservador (pero no demasiado conservador), se debe asumir que el modo de falla ocurre en

una situación del "peor caso típico", por ejemplo, tarde en la noche en una fábrica, o si un equipo móvil está en una localidad más remota de lo usual.

- b. **Velocidad de operación:** Si el equipo ha bajado su velocidad como resultado del modo de falla, y si es así, que tanto la ha bajado.
- c. **Calidad:** Si el modo de falla afecta la calidad para la cual está configurada la función, tales como la guía de precisión o los sistemas de control, los parámetros de calidad del producto, e inclusive los asuntos de servicio al consumidor (operación a tiempo, etc.). La definición del efecto de falla debe indicar también si el modo de falla incrementa los desechos o los trozos de desperdicios, causa un aborto de la misión, o incurre en penalidades financieras contractuales significativas.
- d. **Otros sistemas:** Si otro equipo o proceso se ha detenido, bajado su velocidad, o está afectado de cualquier otra manera por el modo de falla.
- e. **Costos de operación globales:** Si el modo de falla causa cualquier otro incremento en los costos operacionales, tales como incremento del consumo de energía o desgaste excesivo de materiales del proceso.

8.4.4 Daños Físicos

Si el modo de falla en consideración causa daños significativos a otros componentes o sistemas, los efectos de este daño secundario también se deben registrar

8.4.5 Acciones correctivas requeridas

La descripción de los efectos de falla debe incluir una breve descripción de la acción que se requiere para corregir el modo de falla después que este ha ocurrido.

Una vez que se hayan determinado las funciones, las fallas funcionales, los modos de falla y los efectos de los mismos en cada elemento significativo, el próximo paso en el proceso del RCM es preguntar cómo y (cuánto) importa cada falla. La razón de esto es porque las consecuencias o gravedad de cada falla dicen si se necesita tratar de prevenirlas. Si la respuesta es positiva, también sugieren con qué esfuerzo debemos tratar de encontrar las fallas.

RCM clasifica las consecuencias de las fallas en cuatro grupos:

1. Consecuencias de las fallas Ocultas o no evidentes: Las fallas ocultas o que no son evidentes no tienen impacto directo, pero exponen a la organización a otras fallas con consecuencias serias, a menudo catastróficas. Un punto fuerte del RCM es la forma en que trata las fallas que no son evidentes, primero reconociéndolos como tales, en segundo lugar otorgándoles una prioridad muy alta y finalmente adoptando un acceso simple, práctico y coherente con relación a su mantenimiento. El RCM se aproxima a la evaluación de las consecuencias de fallas comenzando por la separación de las fallas ocultas de las fallas evidentes. Las fallas ocultas se pueden considerar para la mitad de los modos de falla que pueden afectar equipos modernos, los equipos complejos necesitan ser manejados con un cuidado especial. John Moubray 1991 (mantenimiento centrado en confiabilidad), clasifica en 3 categorías de importancia decreciente las fallas evidentes.

2. Consecuencias para la seguridad y el medio ambiente: Una falla tiene consecuencias para la seguridad si puede lesionar o matar a alguien. . Tiene

consecuencias para el medio ambiente si puede infringir alguna normativa relativa al medio ambiente de carácter corporativo, regional o nacional.

3. Consecuencias Operacionales: Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción o las operaciones (volumen de producción, calidad de producto, servicio al cliente o costo operacional, además del costo directo de la reparación).

4. Consecuencias que no son operacionales: Las fallas evidentes que caen dentro de esta categoría no afectan ni a la seguridad ni a la producción, de modo que solo involucran el costo directo de la reparación.

Moubray (2004:97) menciona que con esta jerarquización de las fallas evidente, el modelo de RCM garantiza que se consideren las repercusiones a la seguridad y el medio ambiente en todo modo de falla evidente.

Es muy importante denotar que RCM mediante este enfoque coloca al personal antes que a la producción.

Esta combinación de contexto, estándares y efectos implica que todo modo de falla tiene un conjunto específico de consecuencias asociadas a él. Si las consecuencias son muy serias, entonces se deberán hacer esfuerzos considerables para prevenir el modo de falla, o al menos para anticiparlo en el tiempo con la finalidad de reducir o eliminar las consecuencias. Por otro lado, si el modo de falla sólo tiene consecuencias menores, es posible que no se tome ninguna acción proactiva y el modo de falla simplemente se corregirá cada vez que ocurra.

Esto implica que las consecuencias de los modos de falla son más importantes que sus características técnicas. Esto también sugiere que la idea

entera de manejo de falla no está muy cercana de anticipar o prevenir los modos de falla per se, más bien es cercana a evitar y reducir sus consecuencias.

En otras palabras, si una falla tiene consecuencias significativas en los términos de cualquiera de estas categorías, es importante tratar de prevenirlas. Por otro lado, si las consecuencias no son significativas, entonces no merece la pena hacer cualquier tipo de mantenimiento sistemático que no sea el de las rutinas básicas de lubricación y servicio. Ver figura 8.4-A anexos capítulo 8.

Es por esto, en este punto del proceso del RCM, que es necesario preguntar si cada falla tiene consecuencias significativas. Si no es así, la decisión normal a falta de ellas es un mantenimiento que no sea sistemático. Si por el contrario fuera así, el paso siguiente sería preguntar qué tareas sistemáticas (si las hubiera) se deben de realizar.

Sin embargo, el proceso de selección de la tarea no puede ser revisado significativamente sin considerar primero el modo de falla y su efecto sobre la selección de los diferentes métodos de prevención.

De allí la necesidad de efectuar un análisis de los efectos que las fallas puedan generar y las estrategias de mantenimiento adecuadas para reducir o eliminar dichos efectos.

La siguiente figura, que corresponde al denominado Árbol Lógico de Decisión del RCM, plantea los diferentes caminos y alternativas de técnicas de mantenimiento en base a las consecuencias de las fallas. (Véase Figura 8.4-B anexo capítulo 8)

8.5 Estrategias proactivas e intervalos de labores

Las estrategias de mantenimiento bajo un ambiente de trabajo RCM, pueden

ser:

Estrategias Proactivas

1. Tareas de Prolongación
2. Tareas Predictivas (MBC)
3. Tareas Preventivas (MP)
4. Inspección Basada en Riesgo (RBI)

Las estrategias proactivas buscan evitar las consecuencias de la ocurrencia de fallas funcionales, bien sea mejorando la confiabilidad de los sistemas o mediante la detección temprana de las fallas.

Cualquier tarea programada vale la pena hacerla sólo si reduce (evita, elimina o minimiza) las consecuencias del modo de falla a una magnitud que justifique los costos directos o indirectos de realizar la tarea. (Nótese que en este contexto los dispositivos de monitoreo incorporados constituyen una "tarea programada" ya que una se está ejecutando automáticamente -continuamente o a intervalos predeterminados- por el dispositivo de monitoreo. Por consiguiente están sujetas al mismo criterio de selección que cualquier otro tipo de tareas programadas.

Note también que tales dispositivos por si mismos requieren diseño, instalación y mantenimiento, lo cual también se deben considerar cuando se evalúa su costo- efectividad).

Si no se puede hallar una tarea programada apropiada, y si las consecuencias del modo de falla no son aceptables por el dueño o usuario del activo, entonces se debe encontrar alguna otra manera de manejar las consecuencias de falla.

Por supuesto, esto también tiene que ser técnicamente posible para cualquier política de manejo de fallas que inflencie las consecuencias de falla. El hecho de que

tal política sea o no técnicamente factible (o aplicable) depende de las características técnicas de la política y del modo de falla en consideración.

8.5.1 Tareas de Prolongación

Estas tareas buscan la eliminación de raíz de las posibles causas de fallas o una disminución de la frecuencia de las mismas, evitando de este modo que los modos de falla se desencadenen, esta estrategia está orientada más que todo a la revisión de tareas de lubricación, análisis causa raíz, y la revisión/actualización de tecnologías, procedimientos, materiales, etc.

Antes de entrar al árbol lógico de decisión deberíamos preguntarnos si existe una tarea de prolongación asociable al modo/causa de falla en discusión.

8.5.2 Tareas Predictivas (MBC)

Hay un diverso tipo de fallas donde existe un parámetro físico que se puede medir y relacionarlo con el desarrollo de la falla, pudiéndose establecer un punto donde podemos decir que tenemos una falla incipiente o falla potencial.

Podemos medir dicho parámetro para detectar la existencia de una falla potencial, así como las tareas para prevenir la falla funcional o evitar las consecuencias de esta. Este es llamado mantenimiento por condición.

Por lo general el mantenimiento por condición tiene poco que aportar en los modos de falla del tipo aleatorio (probabilidad de falla constante respecto al tiempo) e infantil. Ver figura 8.5.2 anexos capítulo 8.

□Cualquier tarea basada en condición que se seleccione (o predictiva, o

basada en condición, o tarea de monitoreo de condición) debe satisfacer los siguientes criterios adicionales:

- a) Debe existir una falla potencial claramente definida.
- b) Debe existir un intervalo P-F identificable (o período para el desarrollo de falla).
- c) El intervalo de la tarea debe ser menor que el intervalo P-F probable más cortó.
- d) Debe ser físicamente posible realizar la tarea en intervalos menores que el intervalo P-F.
- e) El tiempo más corto entre la detección de una falla potencial y la ocurrencia de una falla funcional (el intervalo P-F menos el intervalo de la tarea) debe ser suficientemente largo para predeterminar la acción a ser tomada a fin de evitar, eliminar o minimizar las consecuencias del modo de falla. □ (SAE JA1011, Sección 5.7.2)

Sánchez, Pérez, Sancho y Rodríguez (2007:13), en su libro comentan que el mantenimiento predictivo corrige las desventajas del mantenimiento preventivo, cambiando las sustituciones periódicas por inspecciones periódicas en las que no se sustituyen piezas, solo se analiza el estado de la máquina, equipo o dispositivo mediante la medida de una serie de parámetros objetivos

8.5.2.1 Fallas Potenciales y la curva P-F

La mayoría de los modos de falla no ocurren instantáneamente del todo. En tales casos, es muy posible detectar que los elementos concernientes se encuentran en etapas finales de deterioro antes de alcanzar su estado de falla. Esta evidencia

de falla inminente se conoce como "falla potencial", la cual se define como "una condición identificable que indica que una falla funcional está a punto de ocurrir o está en un proceso de ocurrencia". Si esta condición puede ser detectada, podría ser posible tomar acción para prevenir que el elemento falle completamente y/o evitar las consecuencias del modo de falla.

La figura 8.5.2.1 anexos capítulo 8, ilustra lo que ocurre en las fases finales del proceso de falla. Esta se llama curva P-F, porque muestra como comienza una falla, deteriora hasta el punto en el cual puede ser detectada (P) y entonces, si no es detectada y corregida, continúa deteriorándose usualmente a una velocidad acelerada hasta que alcanza el punto de falla funcional (F).

Si se detecta una falla funcional entre el punto P y el punto F de la figura 8.5.2.1, este es el punto al cual podría ser posible tomar acción para prevenir la falla funcional y/o evitar sus consecuencias. (si es posible o no tomar una acción significativa dependerá de cuán rápido ocurre la falla funcional, como se discutirá más adelante). Las tareas diseñadas para detectar las fallas potenciales se conocen como tareas basadas en condición.

Las tareas basadas en condición se llaman así porque los elementos se inspeccionan y se dejan en servicio bajo la condición de que continúen obteniéndose los estándares de operación especificados en otras palabras, bajo la condición que el modo de falla en consideración improbablemente ocurra antes de la próxima revisión.

Esto también se conoce como mantenimiento predictivo (porque nosotros estamos tratando de predecir si y posiblemente cuando- el elemento va a fallar en base a su comportamiento actual) o mantenimiento basado en condición (porque la necesidad de una acción correctiva o para evitar consecuencias está basada en una

evaluación de la condición del elemento).

8.5.2.2 El intervalo P-F

En adición a la falla potencial, también es necesario considerar la cantidad de tiempo (o el número de ciclos de esfuerzo) que transcurre entre el punto en el cual ocurre la falla potencial en otras palabras, el punto en el cual se hace identificable- y el punto en el que se deteriora hacia una falla funcional. Como se muestra en la figura 8.5.2.2-A anexo capítulo 8, este intervalo se conoce como el intervalo P-F.

El intervalo P-F determina que tan frecuente se deben hacer las tareas basadas en condición. Para detectar la falla potencial antes que se convierta en una falla funcional, el intervalo entre revisiones debe ser menor que el intervalo P-F. También es esencial que la condición de la falla potencial sea lo suficientemente clara para tener la certeza de que la persona que está entrenada para realizar la revisión, detectará la falla potencial siempre y cuando ocurra (o al menos, que la probabilidad de que la falla potencial no sea detectada sea suficientemente baja para reducir la probabilidad de un modo de falla no anticipado a un nivel que sea tolerable para el dueño o usuario del activo).

El intervalo P-F también se conoce como período de advertencia, el tiempo que conduce hacia una falla funcional o el período de desarrollo de la falla. Este se puede medir en cualesquiera unidades que provean una indicación de la exposición al esfuerzo (tiempo de operación, unidades de producción, ciclos parada-arranque, etc.). Para diferentes modos de falla, estos varían de fracciones de segundo a varias décadas.

Nótese que si se realiza una tarea basada en condición a intervalos que son más largos que el intervalo P-F, existe una posibilidad de que la falla potencial sea abandonada del todo. Por otro lado, si se realiza la tarea a fracciones muy pequeñas del intervalo P-F, los recursos serán gastados en el proceso de revisión.

En la práctica los intervalos de las tareas siempre se deben seleccionar para ser más cortos que el más corto intervalo P-F probable (Figura 8.5.2.2-B anexo capítulo 8). En la mayoría de los casos, es suficiente seleccionar un intervalo de tarea igual a la mitad del intervalo P-F. Sin embargo, algunas veces es apropiado seleccionar intervalos de tarea que sean alguna otra fracción del intervalo P-F. Esto se puede regir por el intervalo P-F neto requerido, o puede ser porque el usuario del activo tiene datos históricos relevantes que dictaminan que una fracción diferente es apropiada.

8.5.2.3 Categorías de técnicas basadas en condición

Las cuatro categorías mayores de técnicas basadas en condición son las siguientes:

a. Las técnicas basadas en las variaciones de la calidad del producto.

En muchos casos, la emergencia de un defecto en un artículo producido por una máquina está directamente relacionada a un modo de falla de la misma.

Muchos otros defectos surgen gradualmente, y así proveen evidencia oportuna de fallas potenciales.

b. Técnicas de monitoreo de efectos primarios. Los efectos primarios (velocidad, caudal de flujo, presión, temperatura, potencia, corriente, etc.) son otras fuentes de información acerca de las condiciones del equipo. Los efectos pueden ser

monitoreados por una persona a través de la lectura de un indicador, por un computador como parte de un sistema de control de procesos, o por un registrador de mapas.

c. **Técnicas basadas en los sentidos humanos** (observar, escuchar, sentir, y oler).

d. **Técnicas de monitoreo de condición.** Estas son técnicas para detectar fallas potenciales que involucran el uso de equipo especializado (el cual algunas veces, se incorpora al equipo que se está monitoreando). Estas técnicas son conocidas como monitoreo de condición para distinguirlas de otros tipos de mantenimiento basados en condición.

Muchos modos de falla son precedidos por más de una, frecuentemente varias fallas potenciales diferentes, así podría ser apropiada más de una categoría de tareas basadas en condición. Cada una de ellas tendrá un intervalo P-F diferente, y cada una requerirá diferentes tipos y niveles de habilidades. Esto significa que ninguna categoría de tareas por sí sola será siempre el más costo efectivo.

Entonces, para evitar inclinaciones innecesarias en la selección de la tarea, es esencial:

a. Considerar todos los fenómenos detectables que probablemente precedan cada modo de falla, junto al rango total de tareas basadas en condición que puedan utilizarse para detectar esas advertencias.

b. Aplicar el criterio de selección de tareas del RCM rigurosamente para determinar cuáles tareas (si existen) probablemente sean la manera más costo- efectiva de anticipar el modo de falla en consideración.

Nótese que cualquier dispositivo incorporado para determinar si un modo de falla está en proceso de ocurrir, debe satisfacer el mismo criterio para la factibilidad técnica y vale la pena hacerlo de cualquier mantenimiento basado en condición, con modos de falla adicionales, y se deben analizar conforme a ello.

La tarea predictiva es efectiva si el intervalo PF (intervalo de tiempo entre el punto donde la falla potencial es detectable y el punto donde la falla funcional se desarrolla) es bien conocido y no es variable, el intervalo PF debe ser lo suficientemente grande para permitir tomar acciones contra la falla potencial.

El criterio tradicional del RCM dice que:

La frecuencia de las tareas debe ser menor que el intervalo PF, en la práctica un valor a tomar podría ser la mitad del intervalo PF, cualquiera sea el criterio, el procedimiento es detectar a tiempo para poder tomar acciones al respecto.

Ahora como en el caso anterior el intervalo debe ser aquel que otorgue un valor mínimo de costo/riesgo y a su vez permita tener tiempo de reacción. Aquí el uso de herramientas como Inspección Basada en Riesgo, puede (en algunos casos donde el riesgo lo justifique) ayudar a conseguir los intervalos óptimos de inspección.

8.5.3 Tareas Preventivas/Mantenimiento Basado en el Uso (MP)

Para elegir este tipo de tarea, es obligatorio conocer la relación entre la edad (en realidad el uso) del activo y la probabilidad de falla lo cual se expresa claramente en los denominados Patrones de Falla. Se trata de tareas ejecutadas con una frecuencia fija, por ejemplo horas de operación, horas calendario, kilómetros

recorridos, número de operaciones, etc.

Solo se deberían ejecutar si se conoce de ante mano el deterioro de las condiciones del ítem o un aumento de la probabilidad de falla del mismo, relacionada con el uso después de la última acción de mantenimiento sobre este. Es decir los componentes que están sujetos a envejecimiento, según la siguiente figura solo son los que se comportan como los patrones A, B y C en la figura 8.5.3-A anexos capítulo 8.

Respecto a la aplicabilidad el criterio tradicional lo justifica sí:

Existe un momento en la vida del ítem donde la probabilidad de falla se incrementa significativamente, llegando a un periodo de desgaste, patrones A, B y C. La mayoría de los ítems deben sobrevivir al período programado pero si la falla es de consecuencia de seguridad y ambiente todos los ítems deben sobrevivir.

Estas tareas programadas en el tiempo pueden ser de dos tipos:

- a) Restauración Preventiva Programada (Overhaul).
- b) Reemplazos Preventivos Programados.

a) Restauración Preventiva Programada:

En este caso el ítem es reconstruido, buscando dejarlo "como nuevo". Especial cuidado debe tenerse con el deterioro del equipo después de cada construcción existen casos donde el costo de ciclo de vida de un equipo después de cierto uso es mayor que el de un equipo nuevo. El ítem puede ser reconstruido en sitio o enviado a taller. Ejemplos claros de esto lo reflejan algunos motores que después de cierto número de reconstrucciones, ya no vale la pena seguir reconstruyéndolos pues saldría más costoso que la compra de uno nuevo (típico en la mayoría de los automóviles).

b) Reemplazos preventivos programados:

Cuando un ítem no puede ser reconstruido o no es económico realizarlo, otra opción es el reemplazo del mismo por uno nuevo, una vez cumplido cierto uso.

8.5.4 Inspección Basada en Riesgo (RBI)

Un componente clave del mantenimiento basado en riesgo es el uso de rangos estimados de datos en relación a patrones de fallas y consecuencias. Es necesario el cálculo del impacto total al negocio de diferentes intervalos de mantenimiento, inspección o reemplazos, mientras se combinan gastos preventivos, predictivos y correctivos, costos de oportunidades perdidas y cualquier combinación de patrones de probabilidad o estimados.

Es necesario determinar el mejor intervalo de mantenimiento preventivo o de reemplazo del activo, el punto de reparación contra el punto de reemplazo y un número de decisiones relativas. Hay que entender que el riesgo, desempeño, vida útil, etc. cambian con la edad/mantenimiento/grado de inspección. Hay que cuantificar el costo riesgo para identificar la combinación óptima (rangos de peor/mejor casos de incertidumbre).

8.6 Estrategias por omisión.

¿Qué debe hacerse si una tarea proactiva adecuada no puede ser encontrada?

Las estrategias por omisión son ejecutadas si no hay ninguna manera (aplicable y efectiva) de evitar la ocurrencia de fallas funcionales y vienen a responder la séptima

pregunta del RCM: ¿Qué debería hacerse si no se pueden hallar tareas preventivas aplicables?

Algunos autores denominan estas como las estrategias reactivas, aunque en el caso del cambio de diseño se busca de una manera proactiva disminuir el riesgo, hemos preferido usar el término de tareas por omisión.

Aquí se responde una de las preguntas básicas del RCM.

¿Qué debería hacerse si no se pueden hallar tareas preventivas aplicables).

Si no es posible prevenir la ocurrencia de una falla, las acciones a tomar pueden ser las siguientes:

1. Prueba Funcional/Búsqueda de fallas ocultas
2. Operación hasta la falla
3. Modificación al diseño

8.6.1 Prueba Funcional/búsqueda de fallas ocultas

Consiste en la búsqueda sistemática y programada de fallas ocultas (no evidentes), mediante la prueba de funciones, es decir operando los dispositivos de modo de estar seguros de su correcta operación. Solo se deberá ejecutar si no es técnicamente aplicable otra tarea de mantenimiento y se asegura con esta un nivel aceptable de riesgo.

La frecuencia de las tareas de búsqueda de fallas ocultas estarán definidas por la disponibilidad requerida para la función escondida y su tiempo promedio entre falla. Esto no es lo suficientemente robusto al no tomar en cuenta factores como el riesgo, costo de la prueba, mortalidad infantil, etc.

Los nuevos criterios establecen que la frecuencia de prueba de función debe tomar una serie de factores como riesgo introducido por la prueba, probabilidades de falla, consecuencias de la misma, costos de prueba, etc. para hallar de esta manera un intervalo al menor costo/riesgo.

8.6.2 Operación hasta la falla

Se trata de la decisión justificada de operar hasta la falla y soportar sus consecuencias. "Cualquier política de operar hasta fallar seleccionada debe satisfacer los criterios apropiados como sigue:

- a. En casos donde la falla es oculta y no hay ninguna tarea programada apropiada, la falla múltiple asociada no debe tener consecuencias en la seguridad ni el ambiente.
- b. En casos donde la falla es evidente y no hay ninguna tarea programada apropiada, el modo de falla asociado no debe tener consecuencias en la seguridad ni en el ambiente. (SAE JA1011, Sección 5.8.2).

En el caso de algunas fallas que son evidentes y que no afectan la seguridad o el ambiente, o que son ocultas y la falla múltiple no afecta la seguridad o el ambiente, la política de manejo de falla más costo efectiva podría ser simplemente permitir que las fallas ocurran y entonces tomar los pasos apropiados para repararlas. En otras palabras, "operar hasta fallar" es válido sólo si:

- a. No se puede encontrar una tarea programada conveniente para una falla oculta, y la falla múltiple asociada no tiene consecuencias en la seguridad o el

ambiente, y

b. No se puede encontrar una tarea proactiva costo-efectiva para fallas con consecuencias operacionales y no operacionales.

8.6.3 Modificaciones al diseño

- Si las consecuencias del tipo Seguridad y Ambiente no pueden ser prevenidas, siendo este caso una tarea obligatoria.
- Si las consecuencias son del tipo económico (Operacional y no operacional) el rediseño puede ser recomendable más no es obligatorio.

El rediseño es una acción recomendada para disminuir las probabilidades de falla o disminuir las consecuencias de las mismas y su justificación debe ser realizada en función de una disminución considerable del costo/riesgo.

Es posible que se identifiquen varias alternativas de soluciones, por lo cual es necesario determinar cuál de las posibles soluciones es la más rentable para la organización, es por esto que se debe cuantificar la situación actual y compararla con una posible situación futura. Para este análisis se propone utilizar la metodología de Análisis de Costo-Riesgo-Beneficio (ACRB) y expresarlo en Costos Anuales Equivalentes como lo muestra la figura 8.7.3 anexo capítulo 8.

8.7 La documentación del análisis RCM bajo en enfoque AMEF

Cada uno de los siete (7) pasos de la metodología de RCM, están perfectamente identificados en el modelo de Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF). Cabe destacar que aunque el modelo AMEF fue básicamente desarrollado como una herramienta que puede ser utilizada indistintamente para asegurar la calidad

desde el diseño como para hacer confiable la manufactura o el proceso de fabricación del producto, también es aplicable en el ámbito del mantenimiento al facilitar la documentación y el análisis de los diferentes modos de falla que afectan la disponibilidad de los activos de mayor riesgo con que cuenta el negocio producto de las fallas de sus partes o componentes.

En la actualidad las empresas están muy interesadas en obtener la mayor disponibilidad de sus medios de producción. Para lograrlo es esencial trabajar en pro de la confiabilidad con el objetivo principal de reducir la tasa de fallo de las máquinas, utensilios, motores, etc., que se emplean para llevar a cabo el diseño, desarrollo, producción, mantenimiento, medida y otras actividades diferentes. Por tanto, el AMEF se convierte en una herramienta esencial en el análisis y prevención de fallos en los medios de producción que se emplean para obtener el producto o servicio, asegurando una adecuada disponibilidad y mantenibilidad.

La confiabilidad es una de las características que aportan calidad. En este sentido el AMEF aporta la metodología y el análisis ordenado para resolver los problemas de confiabilidad de los diversos elementos, o sistemas que componen los medios de producción, mediante la prevención y detección de dichos problemas antes de que puedan repercutir en el producto o proceso.

En este caso los efectos repercutirán sobre un cliente «interno», como puedan ser los operarios de máquina, de mantenimiento, de medición, de proceso, etc., que son los usuarios de los medios de producción.

Se analizan, por tanto, los posibles modos de falla de componentes y su influencia en la productividad del proceso productivo, así como el riesgo en cuanto a

Seguridad y Ambiente que dicha falla pueda ocasionar.

Este es el tipo de AMEF que hoy sustenta el modelo de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad o RCM

En el formato AMEF se puede documentar los siete (7) pasos de la metodología de RCM sobre el modelo gráfico del AMEF y también se pueden evaluar los cambios como consecuencias de las acciones que se hayan tomado.

CAPITULO 9

9.1 Conclusiones

Lo importante no es mantener en funcionamiento las grúas de pórtico, puesto que se supone que son altamente confiables gracias a su diseño. Se trata de mantener los más altos estándares de calidad de la grúa controlando las condiciones de los elementos y sistemas .

Este principio que aplica el mantenimiento centrado en la confiabilidad se define como un proceso sistemático que permite preservar las funciones prioritarias, de tal forma de identificar los modos de fallas para con esto poder planificar las tareas de mantenimiento que sean efectivas y aplicables a cada uno de los sistemas de las grúas.

Contreras (2011) comenta que el hecho que RCM cambie el enfoque de los equipos por enfoque al de sistemas, es ahí donde el mantenimiento está dirigido para preservar las funciones de los sistemas.

Con la implementación del RCM y la Gestión de Confiabilidad se incrementan las tareas proactivas (antes de la falla) y se disminuyen las reactivas (después de la falla), teniendo un incremento en la calidad del producto y el cumplimiento producción de las grúas (cumplimiento de los movimientos programados por grúa), ayudando con esto al área operativa de que pueda realizar ajustes en los procesos productivos para competir en mercados exigentes. Otros beneficios son el aumento del tiempo entre fallas y la mejora de la mantenibilidad y de la disponibilidad.

Pensar en RCM es bueno, y elaborar la implementación no resulto tan complicado debido a que se tuvo acceso a la información necesaria y adecuada para tal trabajo, mas sin embargo en la práctica, la implantación se convierte en una labor extrema y extenuante.

El más importante ingrediente a tener en cuenta al abordar el tema de la confiabilidad es el recurso humano participativo: La primera tarea proactiva a implementar es la seguridad humana y ambiental del proceso, seguida por el mantenimiento autónomo por parte de las personas que rodean las grúas. Si se encuentran esquemas de comunicación adecuados para involucrar al personal administrativo, productivo y de mantenimiento en el programa, la probabilidad de éxito en los avances de RCM aumentará considerablemente.

La implantación del sistema RCM se esta desarrollando en el periodo 2011-2015, lo cual la primer etapa ha tenido una gran aceptación con el personal que conforma el departamento de mantenimiento de la Terminal Portuaria de Contenedores, a tal grado que el cambio de paradigmas en la forma habitual de dar mantenimiento preventivo y correctivo esta cambiando en forma proactiva a generada por el mismo personal de departamento. Esto es un logro muy importante provocado por Gerencia Senior de Mantenimiento.

Hay un involucramiento total por parte de la Subgerencia, Jefaturas y Técnicos del departamento de Mantenimiento de darle seguimiento a este proyecto y concluir en la implantación al total.

Cabe señalar la gran aceptación y participación por parte del área operativa de

este proyecto en los dos primeros cursos que se han tendido sobre RCM.

9.2 Comentarios Finales

Dando por terminado el trabajo de investigación de implementación y por iniciado el trabajo de implantación del sistema RCM, será necesario realizar una evaluación a las siguientes áreas, con el propósito de tener un esquema de cómo se están llevando a cabo los procesos del departamento y adecuar los cambios que se deberán de realizar en la implantación del modelo RCM. Para cada una de ellos la empresa deberá tener preparada la información que se indica, esto con la finalidad de facilitar la auditoría de la gestión de mantenimiento. Y partiendo del resultado evaluativo tomar acciones para asegurar que la implantación del sistema sea un éxito en la empresa.

Esta auditoría se recomienda sea realizada por un auditor externo especializado en RCM con el propósito de no perder la objetividad del resultado para tomar acciones adecuadas al proceso del departamento que sea benéfico y aplicable en la empresa.

ÁREA I: Organización de la empresa

I.1 Funciones y Responsabilidades. Principios

- Organigrama general y por gerencias o departamentos
- Descripciones de puesto de las diferentes funciones con su correspondiente asignación de responsabilidades para todas las unidades estructurales de la organización (guardando la relación con su tamaño y complejidad en producción).

I.2 Autoridad y Autonomía.

- Procedimientos para la toma de decisiones

I.3 Sistema de Información.

- Diagramas de flujo de los procedimientos de manejo de información
- Formatos o procedimientos de actividades

ÁREA II: ORGANIZACIÓN DE MANTENIMIENTO

II.1 Funciones y Responsabilidades

- Organigrama de la Gerencia de Mantenimiento donde se muestren sus diferentes Departamentos
- Descripciones de puesto de las diferentes funciones con su correspondiente asignación de responsabilidades para todas las unidades estructurales de mantenimiento

II.2 Autoridad y Autonomía.

- Procedimientos para la toma de decisiones

II.3 Sistema de Información.

- Diagramas de flujo de los procedimientos de manejo de información
- Formatos o procedimientos de actividades, tales como Reportes de Fallas, Ordenes de Trabajo, movimientos de refacciones, etc
- Programación del mantenimiento

- Estadísticas de mantenimiento
- Costos de mantenimiento

ÁREA III: PROGRAMACION DEL MANTENIMIENTO

III.1 Objetivos y Metas

- Objetivos y metas de la función mantenimiento
- Plan de necesidades de personal, equipamiento, herramientas y refacciones
- Clasificación de los activos del negocio por criticidad

III.2 Políticas para la Programación

- Clasificación de las fallas
- Necesidades reales y objetivas de cada activo del negocio
- Orden de prioridad de los activos del negocio
- Políticas para la toma de decisiones

III.3 Control y Evaluación

- Procedimientos que utilizan para recabar información
- Manuales técnicos de la maquinaria y catálogos de partes o refacciones
- Reportes de Fallas
- Patrones de fallas
- Indicadores de mantenimiento (Disponibilidad, Confiabilidad y Mantenibilidad)

ÁREA IV: MANTENIMIENTO AUTÓNOMO

IV.1 Programación

- Acciones autónomas asignadas al personal de producción
- Instrucciones para las acciones autónomas
- Materiales o herramientas asignadas para las acciones autónomas

IV.2 Planificación e implantación

- Programa de mantenimiento autónomo

IV.3 Control y Evaluación

- Formatos de registros de acciones autónomas
- Control de las acciones autónomas

ÁREA V: MANTENIMIENTO PREVENTIVO

V.1 Programación

- Priorización para la programación del mantenimiento preventivo
- Identificación de la vida útil de las piezas y equipos
- Determinación de las frecuencias de inspección de los equipos
- Determinación de la carga laboral para cumplir con la programación

V.2 Planificación e implantación

- Reportes de cumplimiento de los programas de mantenimiento preventivo
- Procedimientos de ejecución del mantenimiento preventivo

V.3 Control y evaluación

- Formatos o Medios para controlar la ejecución del mantenimiento preventivo
- Reportes de ejecución del mantenimiento preventivo

ÁREA VI: MANTENIMIENTO DE MEJORA

VI.1 Programación

- Análisis de causas raíz
- Procedimientos de modificación, cambios o mejoras en los equipos

VI.2 Planificación e Implantación

- Procedimientos para priorizar las acciones de mejora

VI.3 Control y Evaluación

- Formatos o Medios para controlar la ejecución del mantenimiento de mejora
- Reportes de ejecución del mantenimiento de mejora

ÁREA VII: MANTENIMIENTO CORRECTIVO PLANIFICADO

VII.1 Programación

- Reportes de Fallas y manejo de esta información
- Prioridades para las acciones correctivas planificadas

VII.2 Planificación e Implantación

- Registros de tiempos de respuesta para las acciones correctivas

VII.3 Control y Evaluación

- Formatos o Medios para controlar la ejecución del mantenimiento correctivo planificado
- Reportes de ejecución del mantenimiento correctivo planificado

ÁREA VIII: MANTENIMIENTO PREDICTIVO

VIII.1 Determinación de la Condición de la Maquinaria

- Clasificación de fallas que puedan ser detectadas por técnicas predictivas
- Técnicas predictivas utilizadas
- Estudios P-F

VIII.2 Programación

- Identificación de equipos sujetos a técnicas predictivas

VIII.3 Planificación e Implantación

- Identificación de frecuencias de inspección

VIII.4 Control y Evaluación

- Formatos o Medios para controlar la ejecución del mantenimiento predictivo
- Reportes de ejecución del mantenimiento predictivo

ÁREA IX: MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE EMERGENCIA

IX.1 Atención a las fallas

- Registros de tiempos de respuesta para las acciones correctivas de emergencia
- Reportes de fallas
- Elaboración de Órdenes de Trabajo
- Reportes de falta de repuestos o refacciones (nivel de servicio de almacenes)

IX.2 Supervisión y Ejecución

- Control y ejecución de las acciones correctivas de emergencia
- Revisión de los reportes de fallas
- Registros de los tiempos de mantenibilidad

IX.3 Información sobre las fallas

- Historiales de Fallas
- Patrones de Fallas
- Modos y Efectos de Fallas

ÁREA X: PERSONAL DE MANTENIMIENTO

X.1 Cuantificación de las necesidades del personal

- Cómo cuantifican la necesidad de personal

X.2 Selección y Formación

- Cómo identifican el perfil del mantenedor
- Descripciones de cargo o puesto de los mantenedores

X.3 Motivación e Incentivos

- Modelos de evaluación del personal de mantenimiento
- Estrategias de motivación e incentivos del personal de mantenimiento
- Plan de adiestramiento y capacitación del personal de mantenimiento

ÁREA XI: APOYO LOGÍSTICO

XI.1 Apoyo Administrativo

- Diagrama de flujo del proceso administrativo para la solicitud de soporte logístico

XI.2 Apoyo Gerencial

- Políticas de la empresa en cuanto al proceso de adquisiciones de materiales y/o refacciones

XI.3 Apoyo General

- Evaluaciones y/o informes de clima organizacional donde se muestren las relaciones entre las diferentes áreas funcionales

ÁREA XII: RECURSOS

XII.1 Equipos

- Políticas para la adquisición o renovación de maquinaria

XII.2 Herramientas

- Políticas para la adquisición o renovación de herramientas

XII.3 Instrumentos

- Políticas para la adquisición o renovación de instrumentación y/o control

XII.4 Materiales

- Determinación de cuales mantener o no mantener en stock
- Determinación de máximos y mínimos en cuanto a materiales para mantenimiento
- Determinación de los costos por falta de materiales

XII.5 Repuestos

- Determinación de cuales mantener o no mantener en stock
- Determinación de máximos y mínimos en cuanto a repuestos para mantenimiento
- Determinación de los costos por falta de repuestos

ÁREA XIII: EVALUACION DE EQUIPOS ESTRATEGICOS

XIII.1 Identificación de la Criticidad de los Activos

- Estudio de Criticidad de sus Activos con el propósito de identificar los equipos y sistemas de interés estratégicos.

XIII.2 Identificación de Factores

- Historiales de costos por fallas
- Frecuencias de fallas que ayuden a cuantificar el impacto de las fallas no solo en los equipos sino en los resultados operativos de la organización.

XIII.3 Inspección Física de los Activos

- Información actualizada del estado de los activos a mantener

9.3 Bibliografías

Moubray, J. (1997), *Rehability centered Maintenance*. 2da. edición

Corral, P. (2008). *Mantenimiento Preventivo de Grúas Portacontenedores*

Corral, P. (2008). *RCM en Grúas Portacontenedores (STS)*

Contreras, J. (2011) *Mantenimiento centrado en confiabilidad*

Contreras, J. (2011) *Análisis de modos de fallas*

Bromma Conquip (2000) *BGS Manual*

Sacristán, Francisco Rey. (2001), *Manual de mantenimiento integral en la empresa*, FC Editorial

González Fernández, Javier.(1995), *Teoría y práctica del mantenimiento industrial*, FC Editorial, 2da edición.

Gómez de León, Félix Cesáreo. (1998), *Tecnología de mantenimiento industrial*, Editorial. Servicios de publicaciones de Murcia.

Amendola, José Luis, (2006), *Gestión de Proyectos de Activos Industriales*, Editorial de la UPV.

Ministerio de Educación y Cultura, (1999), *Mantenimiento y Servicios a la Producción*, Editorial ANECE.

De Bona, José María, (2010), *Gestión de Mantenimiento*, Editorial: Fundación Confemental.

Fernández Cabañas, Manes, (1998), Técnicas para el mantenimiento y Diagnostico de Máquinas Eléctricas Rotativas, Editorial Marcombo

Céspedes Ruiz, Arturo, (1981), Principios de Mantenimiento, Editorial Universidad Estatal a Distancia.

Parra, Carlos & Crespo, Adolfo, (2012), Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la Gestión de Activos.

González Ruiz, Agustín, Mateo Floria, Pedro & González Maestre, Diego (2006), Manual para el técnico en prevención de riesgos laborales, FC Editorial.

Rodellar Lisa, Adolfo (1988), Seguridad e Higiene en el Trabajo, Editorial Marcombo.

Rey Sacristán, Francisco, (2002), El auto mantenimiento en la Empresa, Editorial Fundación Confemetal.

<http://www.paceco.es/actividadesproductos/PRODUCTOSESP/gruaportainer.htm>

LCTPC, (2011), Terminal Portuaria de contenedores Lázaro Cárdenas. Extraído de <http://www.lctpc.com.mx/>.

Bravo, Roberto & Barrantes Ana Cecilia, (1989), Administración del Mantenimiento Industrial, Editorial Universidad Estatal Ira. Edición.

[http://www: semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx)

Sánchez Marín, Francisco, Pérez González, Antonio, Sancho Bru, Joaquín, Rodríguez Cervantes, Pablo, (2007), Mantenimiento mecánico de máquinas.

Ediciones Publicaciones de la Universidad de Jaune

<http://es.scrib.com/doc/3755032/PROGRAMA-DE-MANTENIMIENTO-ALQ-SA->

[Preliminar2](#)

Arques Patón, José Luis, (2009), Ingeniería y Gestión del Mantenimiento en el Sector Ferroviario, Ediciones: Díaz de Santos

Larode, Emilio & Miravete, Antonio, (1996), Grúas, 1ra. Edición

Montalván Garcés, Cesar, (1999), Los Recursos Humanos para la pequeña y mediana empresa. Impreso en México, 1ra. Edición

Gómez Fernández, José Manuel, (1999), Recursos Humanos, Ediciones Encuentro, Madrid.

Enríquez Harper, Gilberto, (2004), El ABC de la reparación y mantenimiento de los aparatos electrodomésticos

Ramírez Calassia, Cesar, (1996), Seguridad Industrial, Editorial Limusa

López Garachana, Hilario, (1999), Seguridad Industrial y Protección Ambiental para la pequeña y mediana Empresa, 1ra. Edición, Impreso y hecho en México.

D'elia, Gustavo Eduardo, (2011), Como Hacer Indicadores de la Calidad Productiva en la Empresa, Editorial Alsina

González Fernández, Francisco Javier, (2004), Auditoria de Mantenimiento e Indicadores de Gestión, FC Editorial

Robbins, Stephen P, (2004), Comportamiento Organizacional, Prentice Hall, 1ra.

Edición

Delgado González, Susana & Ena Ventura, Belem, (2006), Recursos Humanos: Administración y Finanzas, Ediciones Paraninfo, S.A. 3ra. Edición

Seoanez Calvo, Mariano, (2000), Tratado de Gestión del Medio Ambiente, Ediciones Mundi-Prensa

Tavares Lourival, Augusto, (2003), Administración Moderna del Mantenimiento

Acuña Acuña, Jorge (2003), Ingeniería de confiabilidad, Editorial Tecnológica de Costa Rica, 1ra. Edición

Arata, Adolfo, (2009), Ingeniería y Gestión de la Confiabilidad Operacional en Plantas Industriales, Ril Editores, 1ra. Edición.

Calloni, (2007), Mantenimiento Eléctrico y Mecánico para pequeñas y medianas empresas, impreso en Argentina

García Garrido, Santiago, (2010), La Contratación del Mantenimiento Industrial, Editorial Díaz de Santos

Menéndez Díaz, Faustino, Fernández Zapico, Florentino, Llaneza Álvarez, Francisco Javier, Vázquez González, Ignacio, Rodríguez Getino, José Ángel & Espeso Expósito, Minerva, (2009), Formación Superior en Prevención de Riesgos Laborales, Editorial: Lex Nova. 4ta. Edición.

Plaza Tovar, Alejandro, (2009:14), Apuntes teóricos y ejercicios de aplicación de gestión de mantenimiento.

Delgado González, Susana & Ena Ventura, Belén, (2006), Recursos Humanos: Administración y Finanzas, Ediciones Paraninfo, S.A. 3ra. Edición

Souris, Jean-Paul, (1992), El mantenimiento fuente de beneficios, Ediciones Diaz de Santos

Camero Mora, Mar a Del Carmen, (2012), Programas de mantenimiento predictivo, Editorial Acad MIA Espa Ola.

ANEXO CAPITULO 2

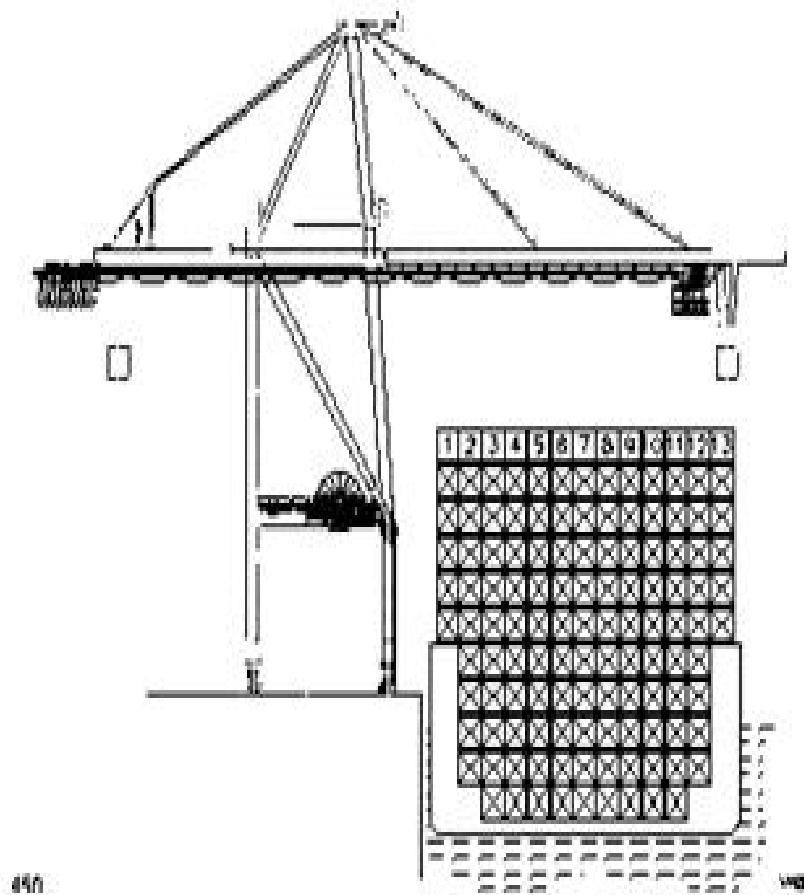


Figura No. 2.1.1¹ Grúa Panamax

Fuente: Corral, Pedro Javier, 2008 □ Mantenimiento Preventivo de Grúas

Portacontenedores □

¹ Quay Crane Panamax

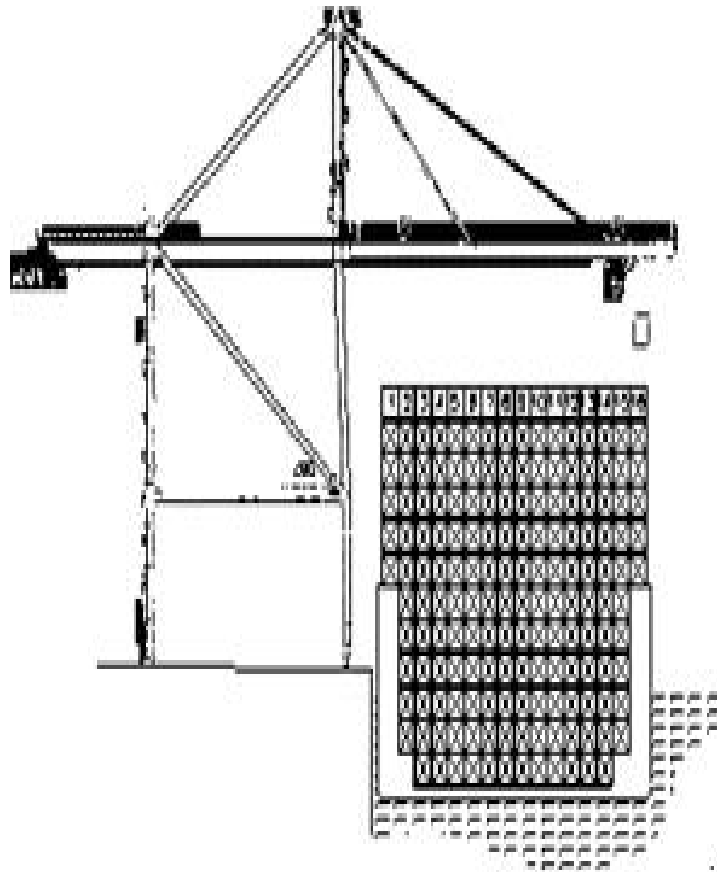


Figura 2.1.2.² Grúa Post Panamax

Fuente: Corral, Pedro Javier, 2008 □Mantenimiento Preventivo de Grúas

Portacontenedores□

² Quay Crane Post Panamax

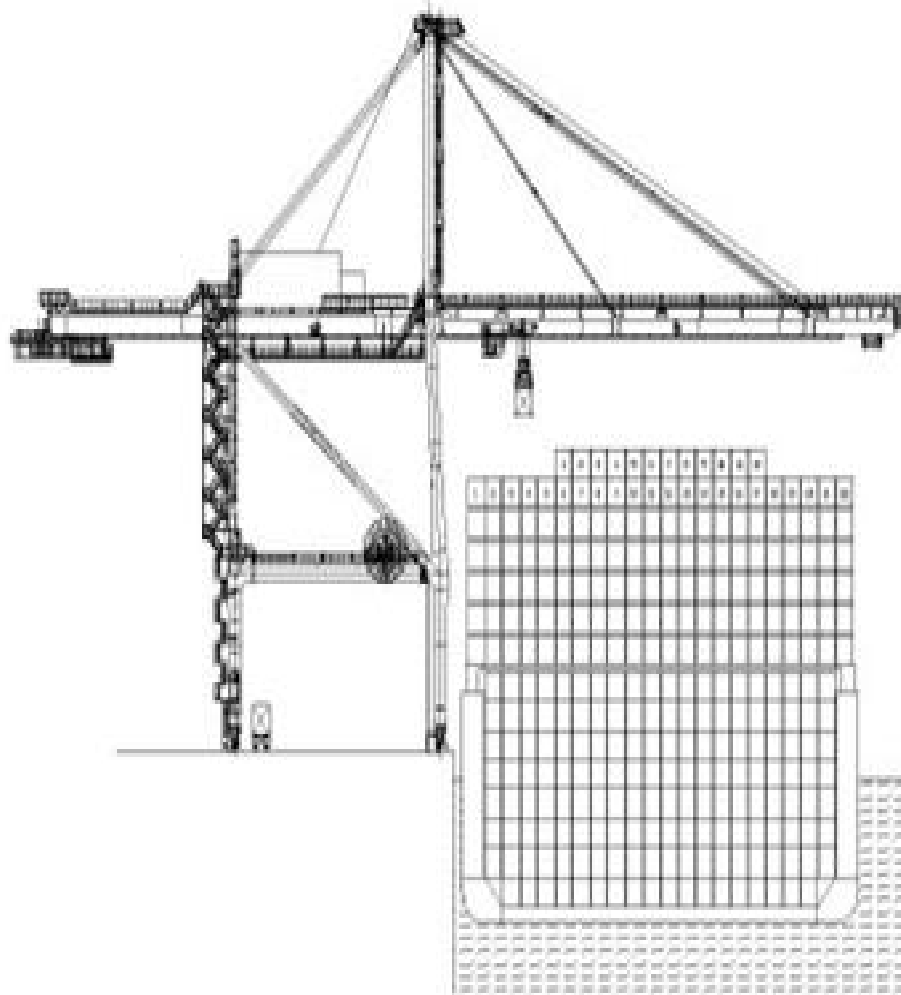
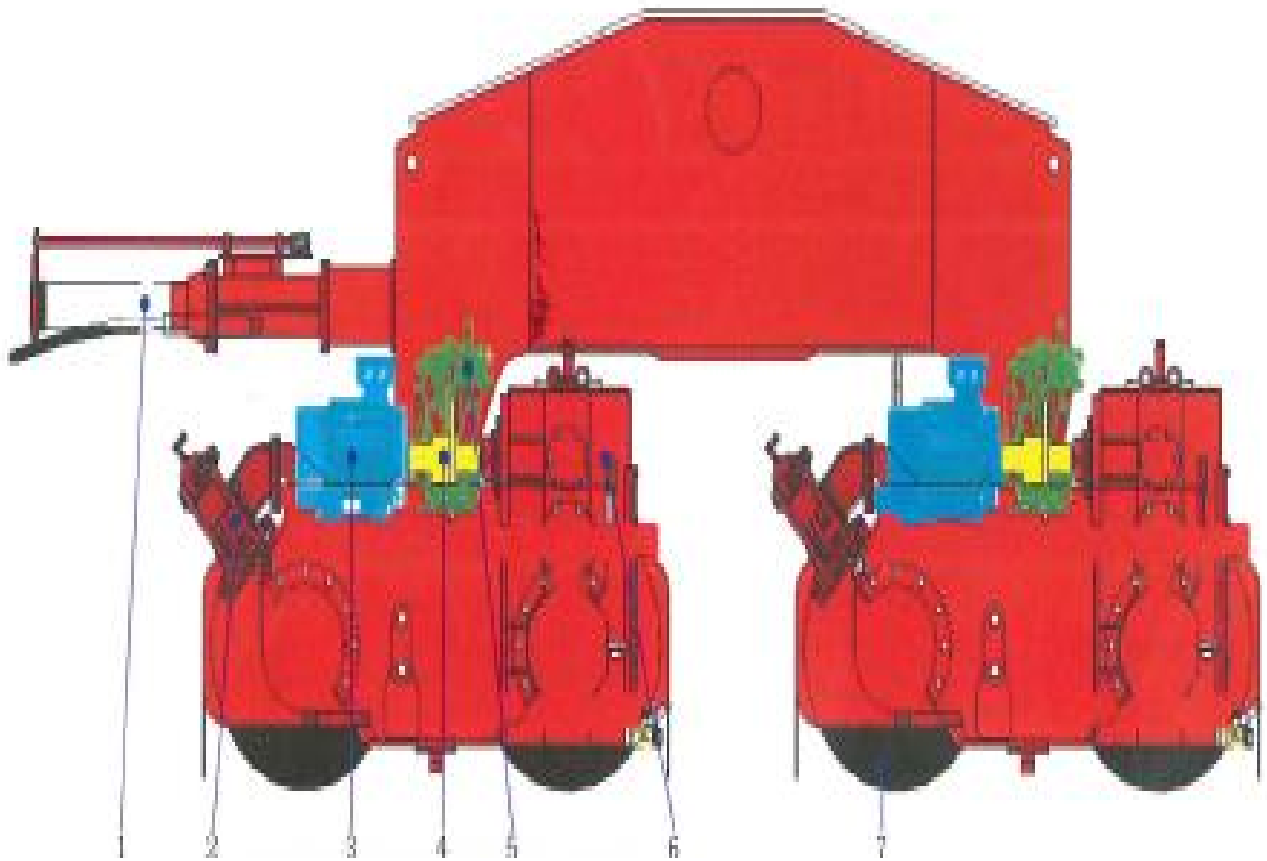


Figura 2.1.3³ Grúa Súper-Post Panamax

Fuente: Corral, Pedro Javier, 2008 □Mantenimiento Preventivo de Grúas

Portacontenedores□

³ Quay Crane Súper-Post Panamax



⁴Figura 2.2.2. Trucks del sistema de gantry

Fuente: ZPMC, 2009 □Quayside Container Crane Configuration and Maintenance
Manual□

⁴ 1Buffer, 2 Wheel brake, 3 Motor, 4 Motor compling, 5 Motor brake, Gear reducer y 7 Gantry wheel

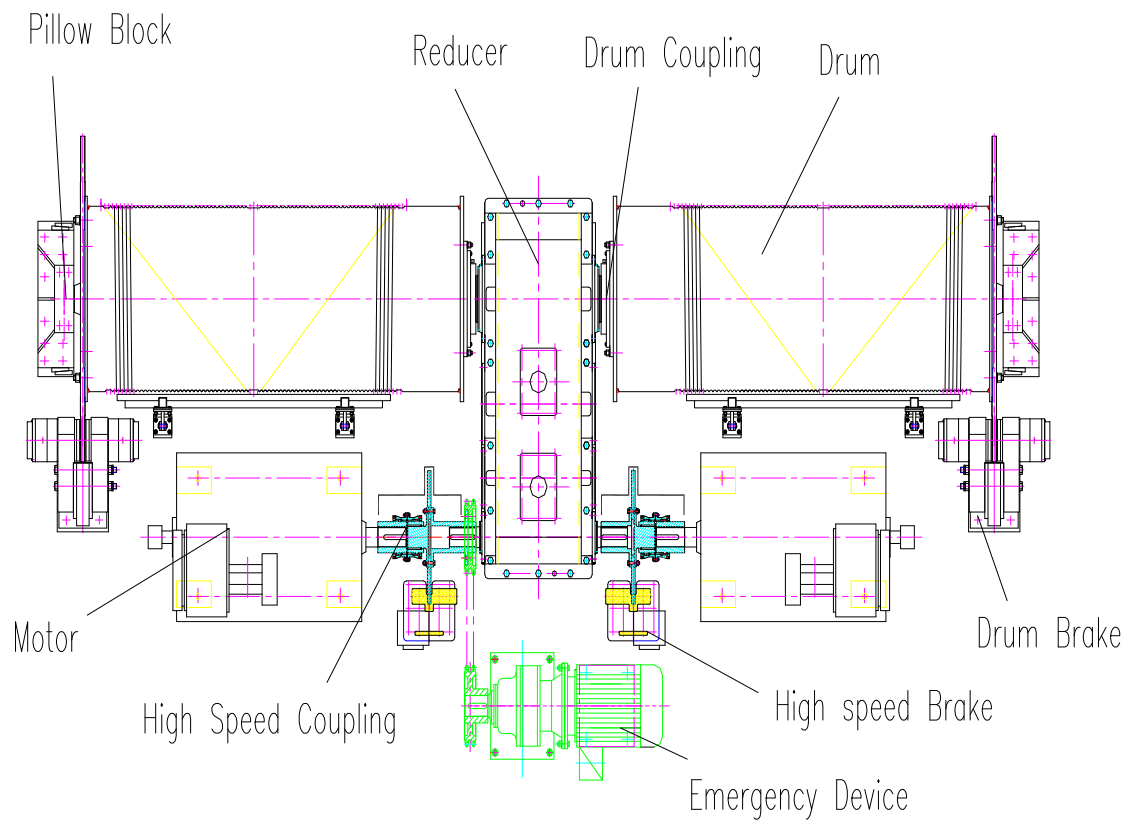


⁶Figura 2.2.4 □A, 2.2.4-B Sistema mecánico de anclaje y anti huracanes

Fuente: Corral, Pedro Javier, 2008 □Mantenimiento Preventivo de Grúas

Portacontenedores□

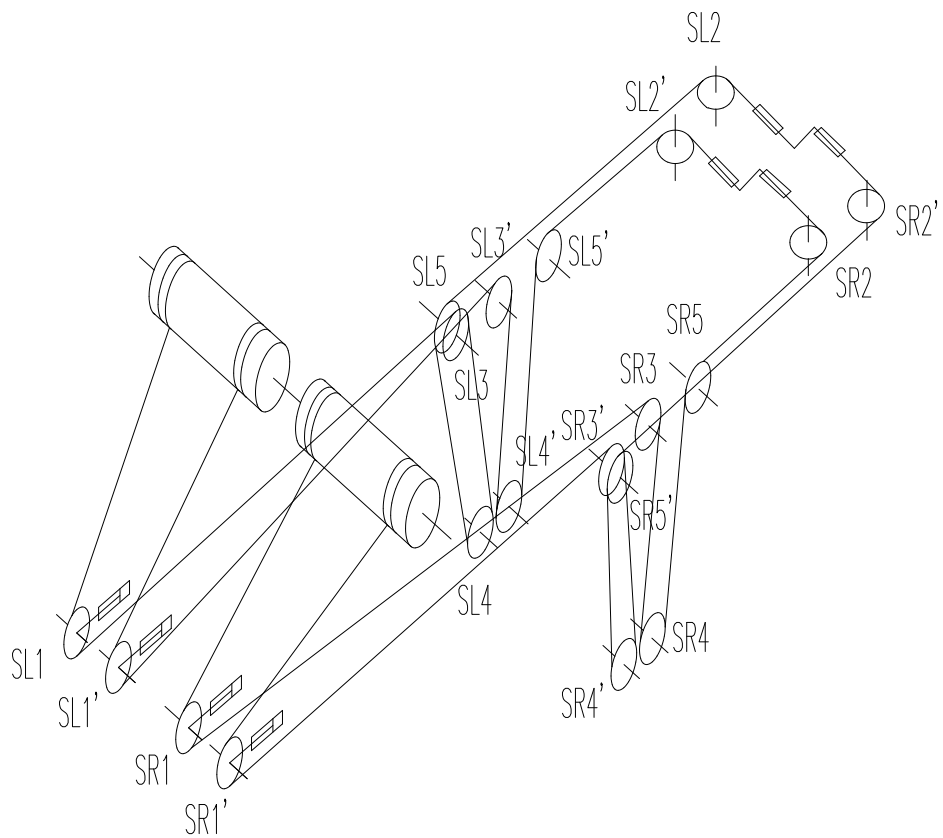
⁶ Sistema de anclaje y anti huracanes que permiten asegurar la grúa cuando la velocidad del viento supera los rangos de operación permitidos



Main Hoist Device

⁷Figura 2.2.5-A Sistema de hoist

⁷ Dispositivos que componen el sistema de hoist, ubicados en cuarto de maquinas

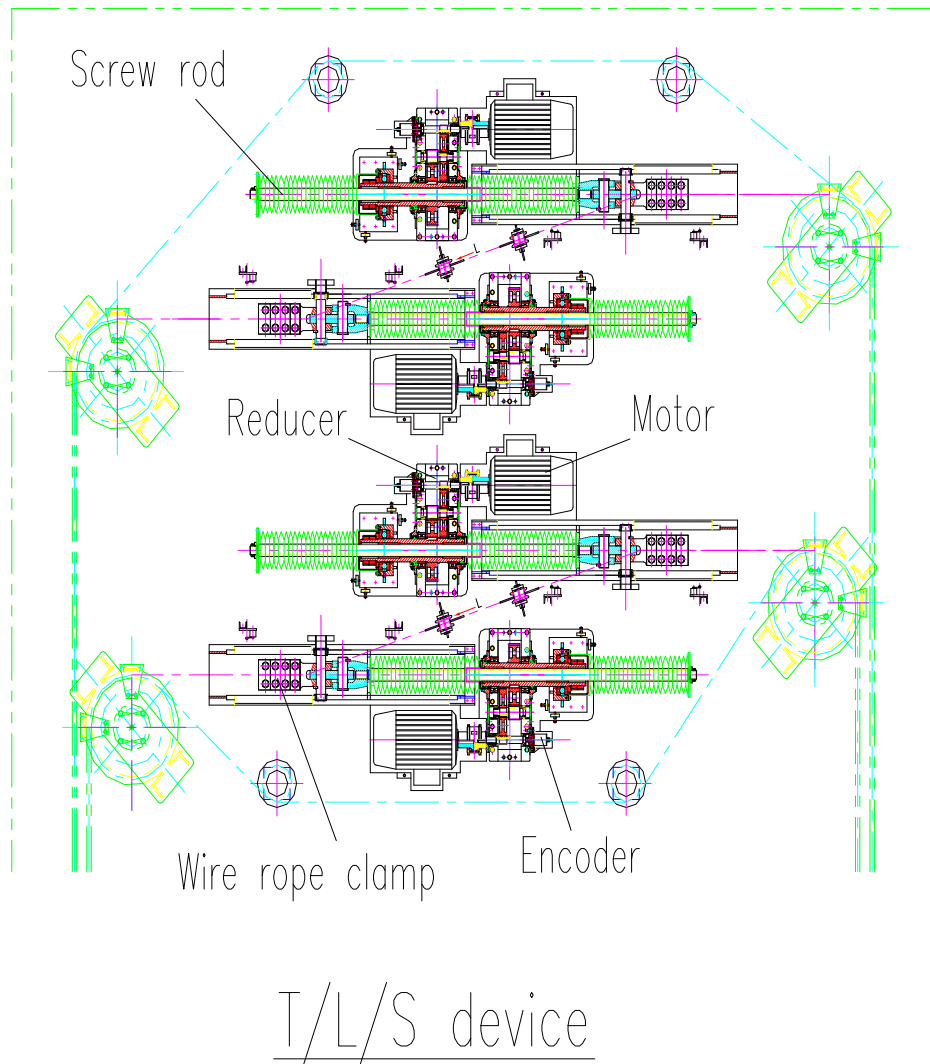


⁸Figura 2.2.5-B Sistema de reenvío

Fuente: Corral, Pedro Javier, 2008 □Mantenimiento Preventivo de Grúas

Portacontenedores□

⁸ Ubicación del cable de acero del sistema de hoist

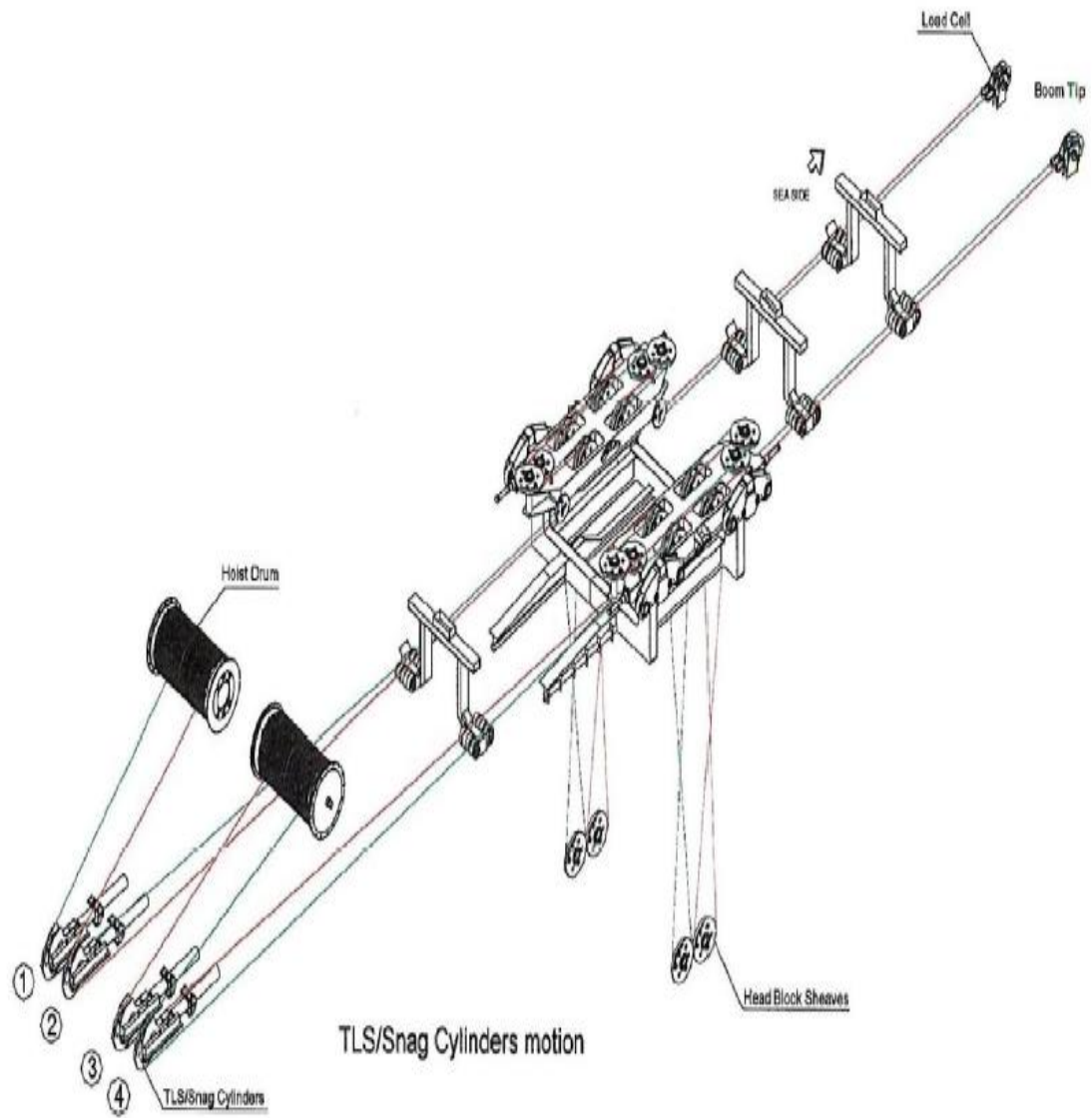


⁹Figura 2.2.6-A Sistema trim/list/skew

Fuente: Corral, Pedro Javier, 2008 □Mantenimiento Preventivo de Grúas

Portacontenedores□

⁹Dispositivos que conforman el sistema trim/list/skew, ubicados en la plataforma del trolley

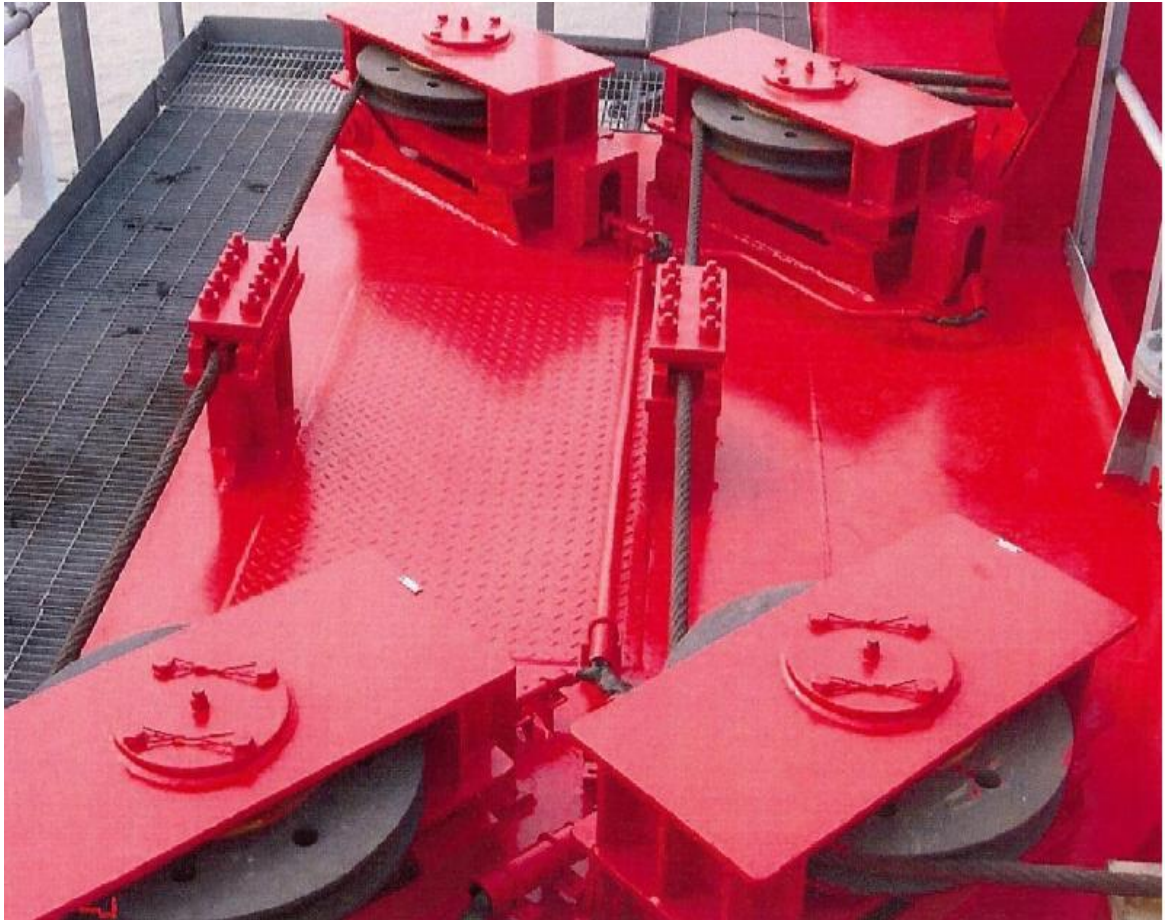


¹⁰Figura 2.2.6-B Sistema de Snag

Fuente: Corral, Pedro Javier, 2008 □Mantenimiento Preventivo de Grúas

Portacontenedores□

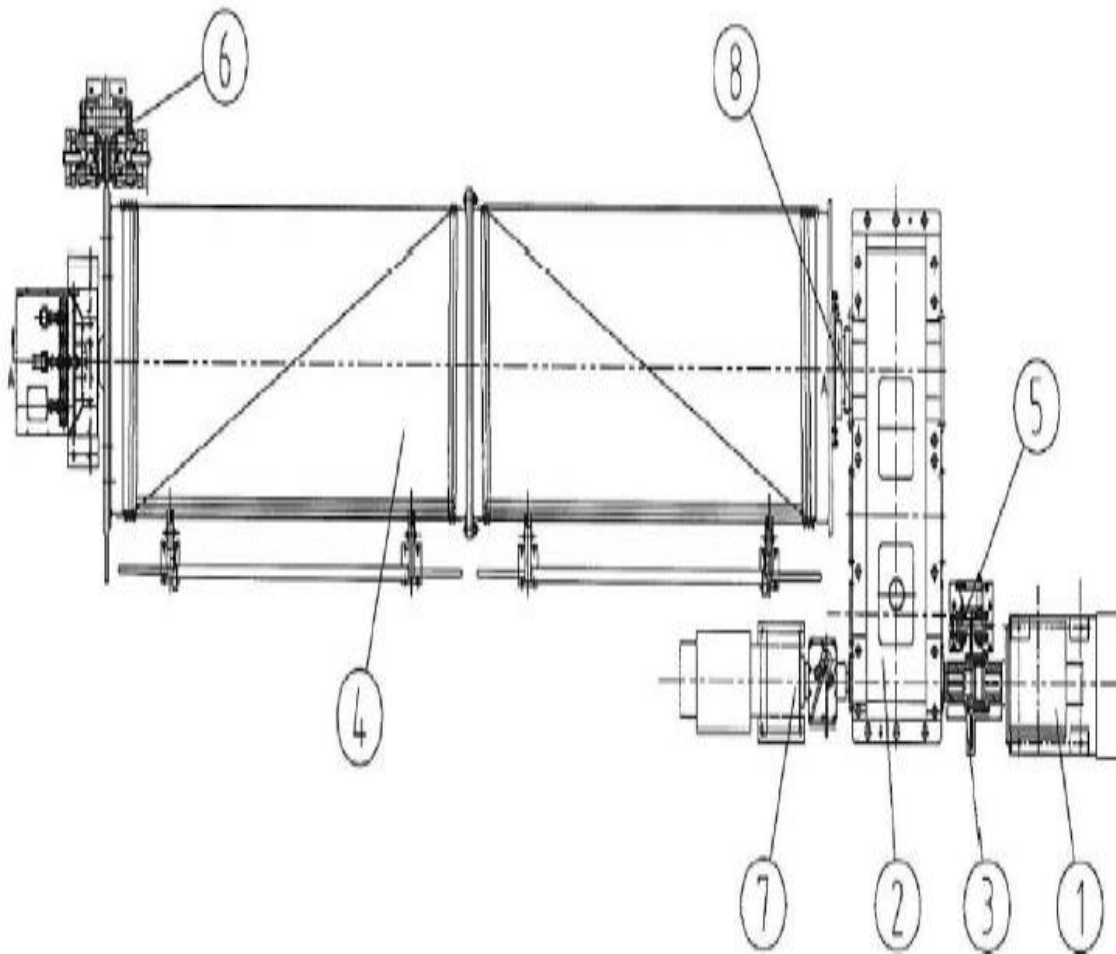
¹⁰ Ubicación de los cables de acero del snag que controla movimientos bruscos en el contenedor



¹¹Figura 2.2.7 Sistema de pesaje

Fuente: Corral, Pedro Javier, 2008 □Mantenimiento Preventivo de Grúas
Portacontenedores□

¹¹ Ubicación de las celdas de pesaje en la punta de la pluma y el control en la sala eléctrica

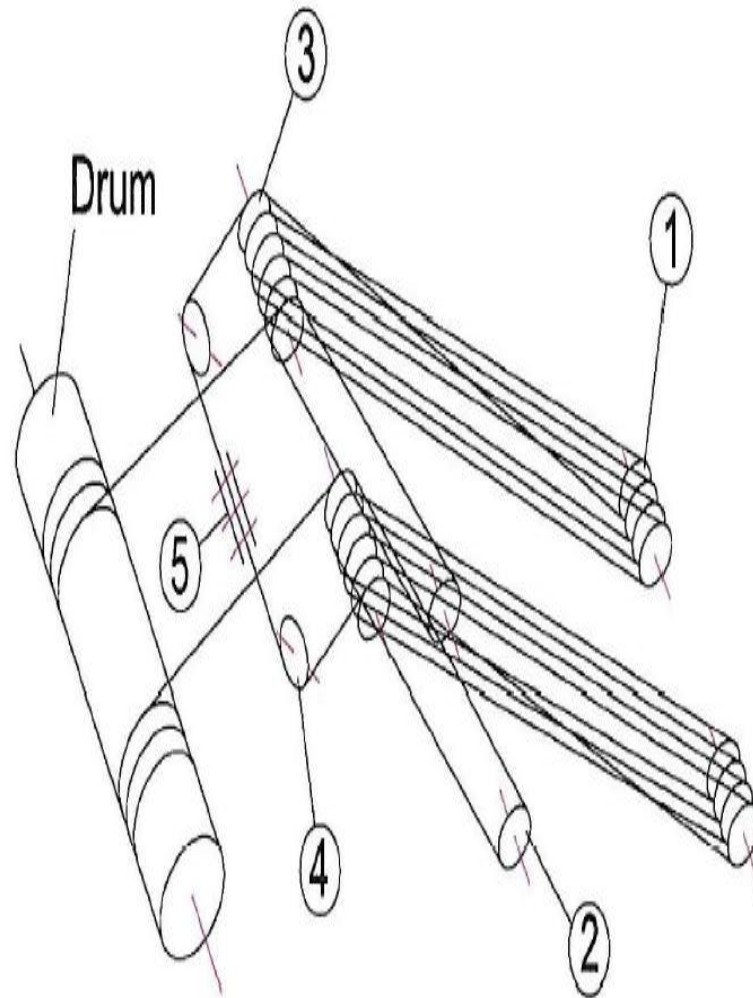


¹²Figura 2.2.8-A Sistema de brazo

Fuente: Corral, Pedro Javier, 2008 □Mantenimiento Preventivo de Grúas

Portacontenedores□

¹² Dispositivos que conforman el sistema de brazo ubicados en el cuarto de maquinas

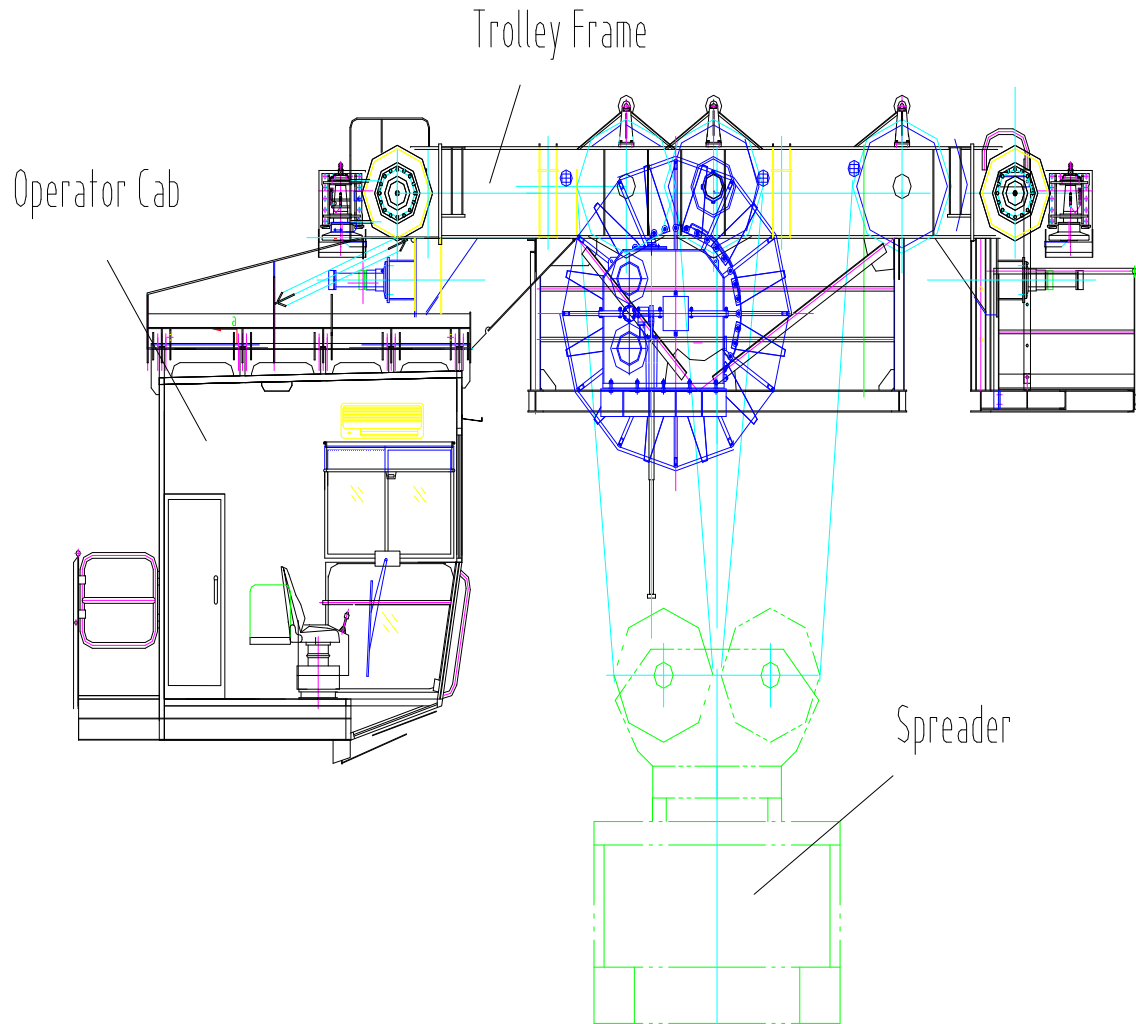


¹³Figura 2.2.8-B Sistema de reenvió de la pluma

Fuente: Corral, Pedro Javier, 2008 □Mantenimiento Preventivo de Grúas

Portacontenedores□

¹³ Ubicación de los cables de acero de la pluma

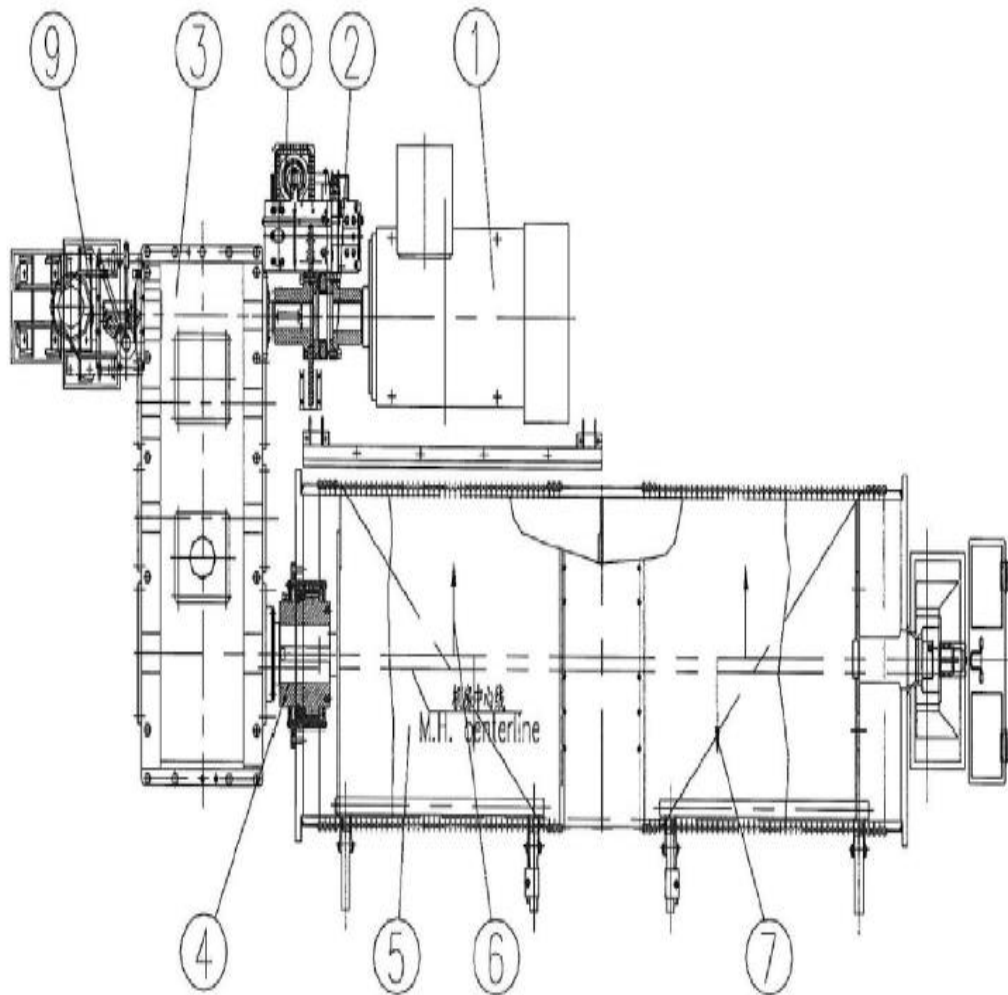


¹⁴Figura 2.2.9-A Sistema de trolley

Fuente: Corral, Pedro Javier, 2008 □Mantenimiento Preventivo de Grúas

Portacontenedores□

¹⁴ Elementos ubicados en el trolley, cabina del operador, bastidor del spreader, carrete enrollador, spreader, etc

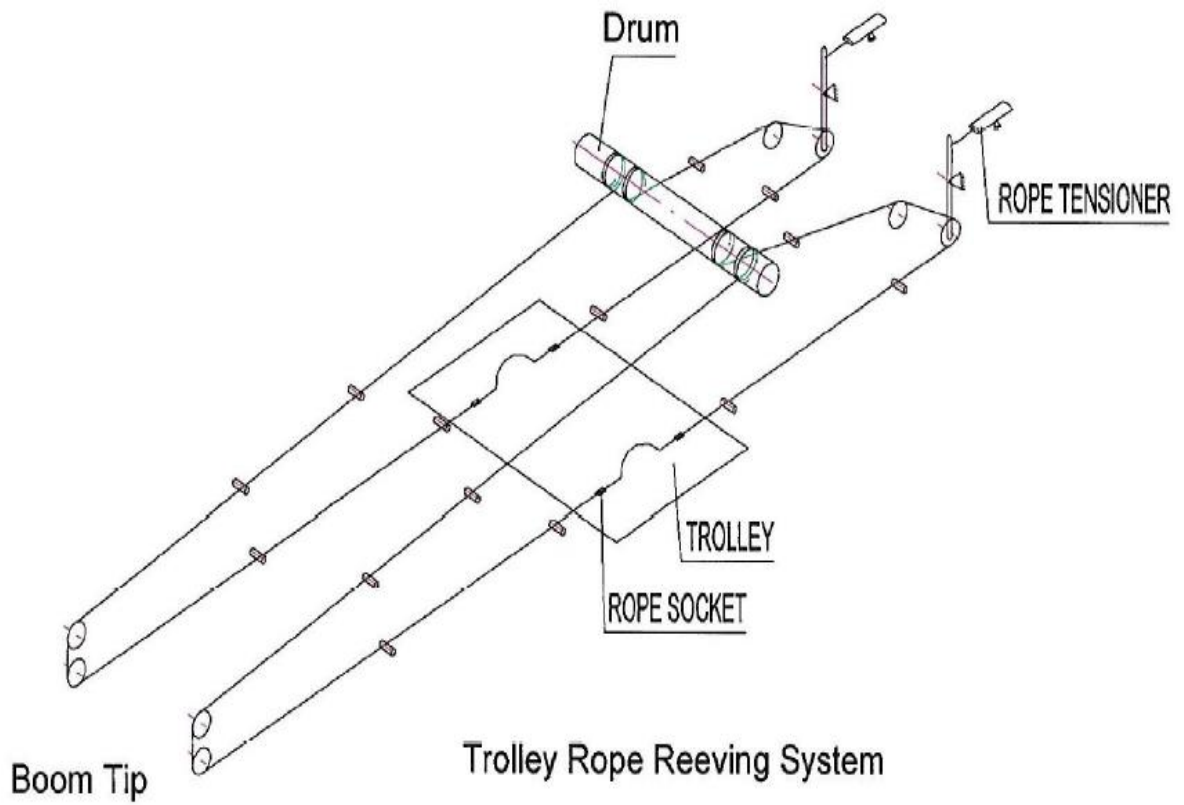


¹⁵Figura 2.2.9-B Motor-Reductor sistema de trolley

Fuente: Corral, Pedro Javier, 2008 □Mantenimiento Preventivo de Grúas

Portacontenedores □

¹⁵ Elementos ubicados en el motor-Reductor sistema de trolley

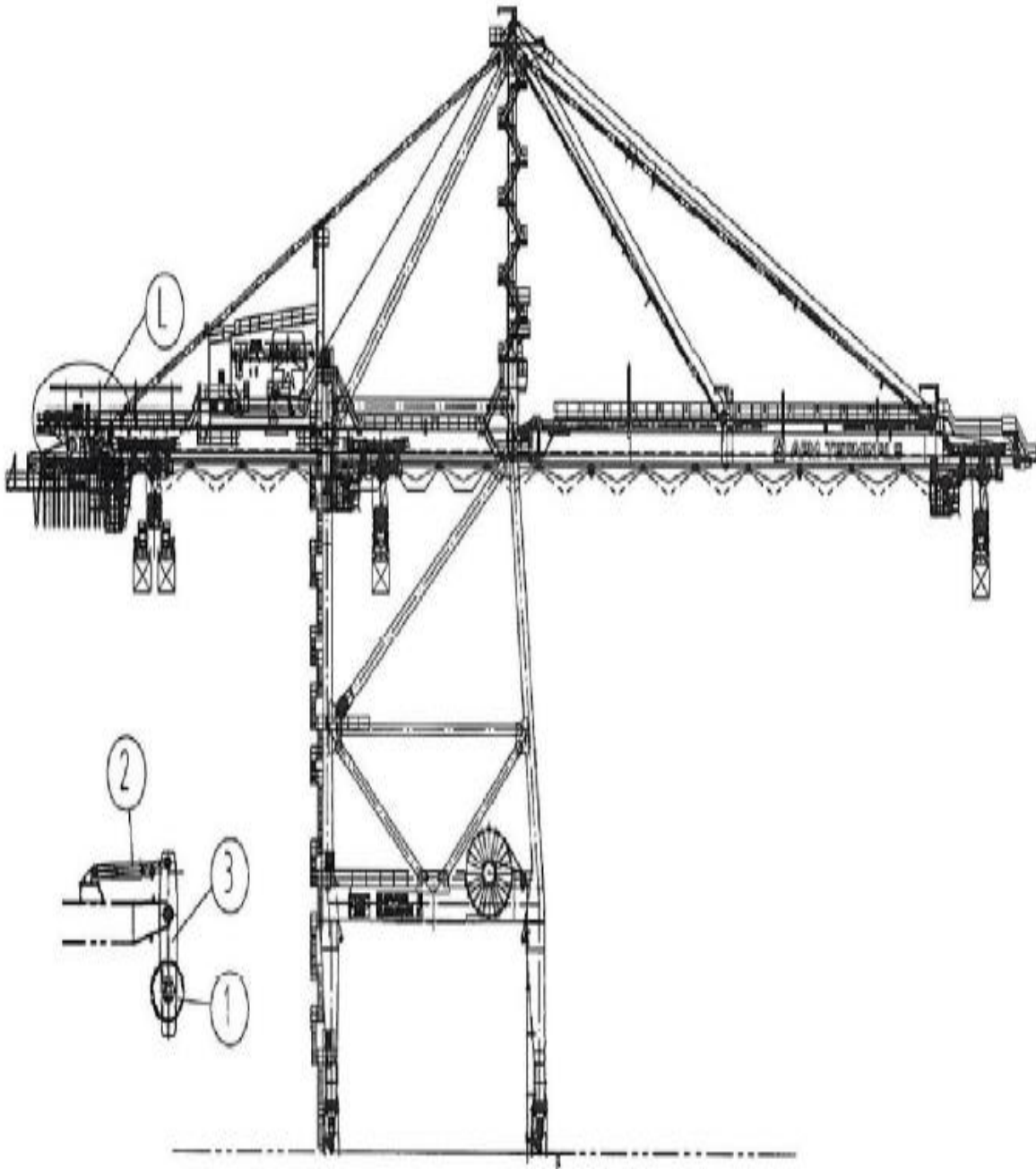


¹⁶Figura 2.2.9-C Sistema de reenvío de trolley

Fuente: Corral, Pedro Javier, 2008 □Mantenimiento Preventivo de Grúas

Portacontenedores□

¹⁶ Ubicación de los cables de acero del sistema de trolley

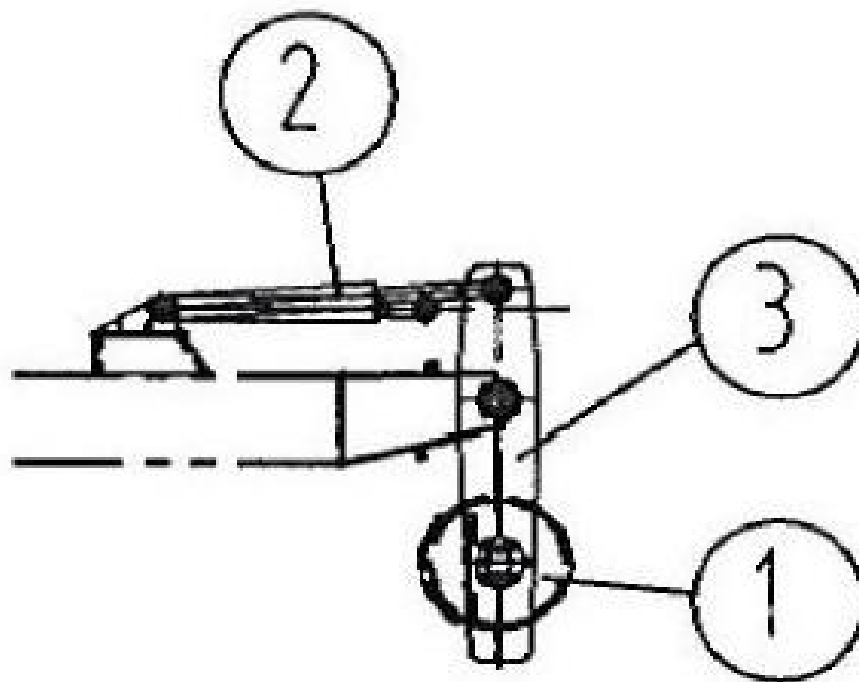


¹⁷Figura 2.2.10-A Sistema tensor de los cables del sistema de trolley

Fuente: Corral, Pedro Javier, 2008 □Mantenimiento Preventivo de Grúas

Portacontenedores□

¹⁷Ubicación de los cables de acero en la punta de la pluma del sistema tensor de trolley controlado por sistema hidráulico y electrónico

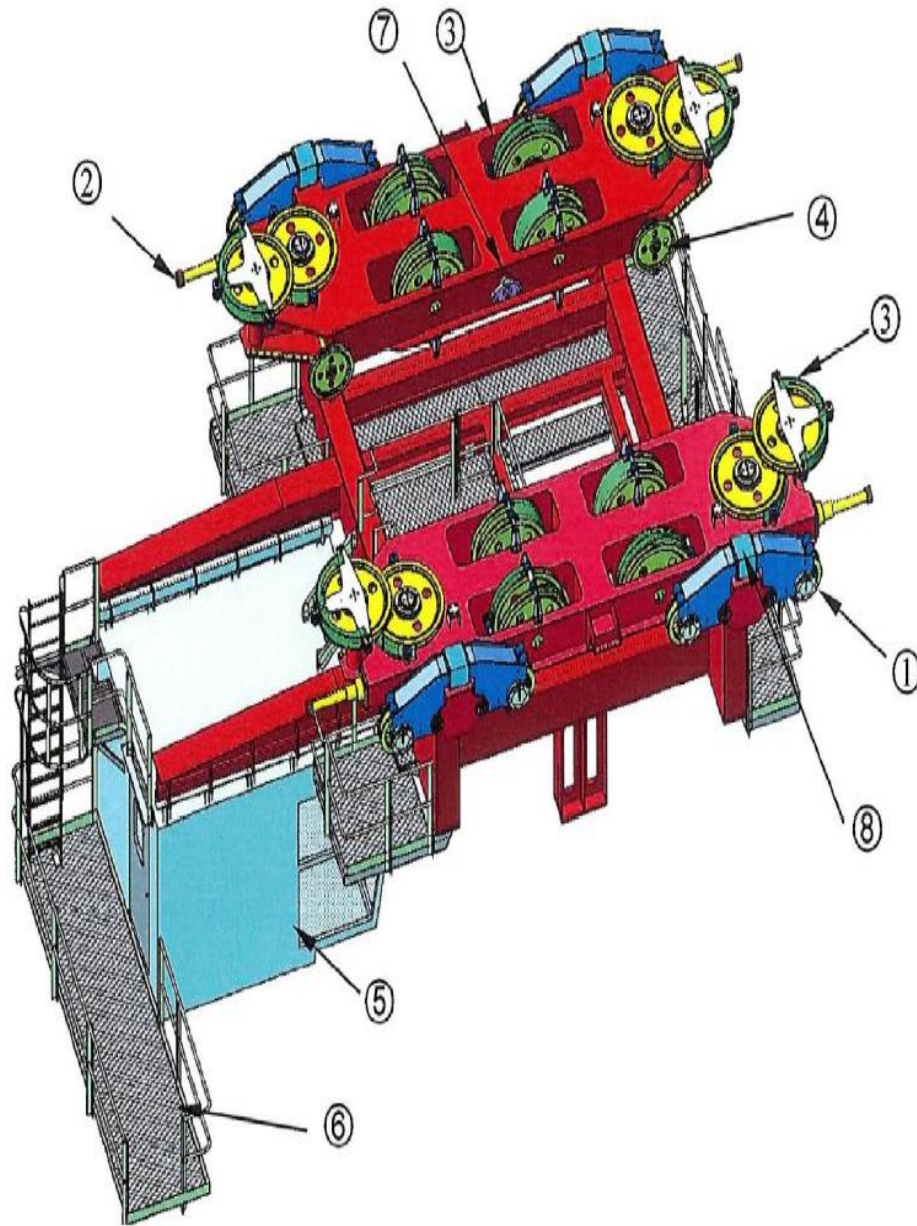


¹⁸Figura 2.2.10-B Sistema tensor de los cables del sistema de trolley

Fuente: Corral, Pedro Javier, 2008 □Mantenimiento Preventivo de Grúas

Portacontenedores□

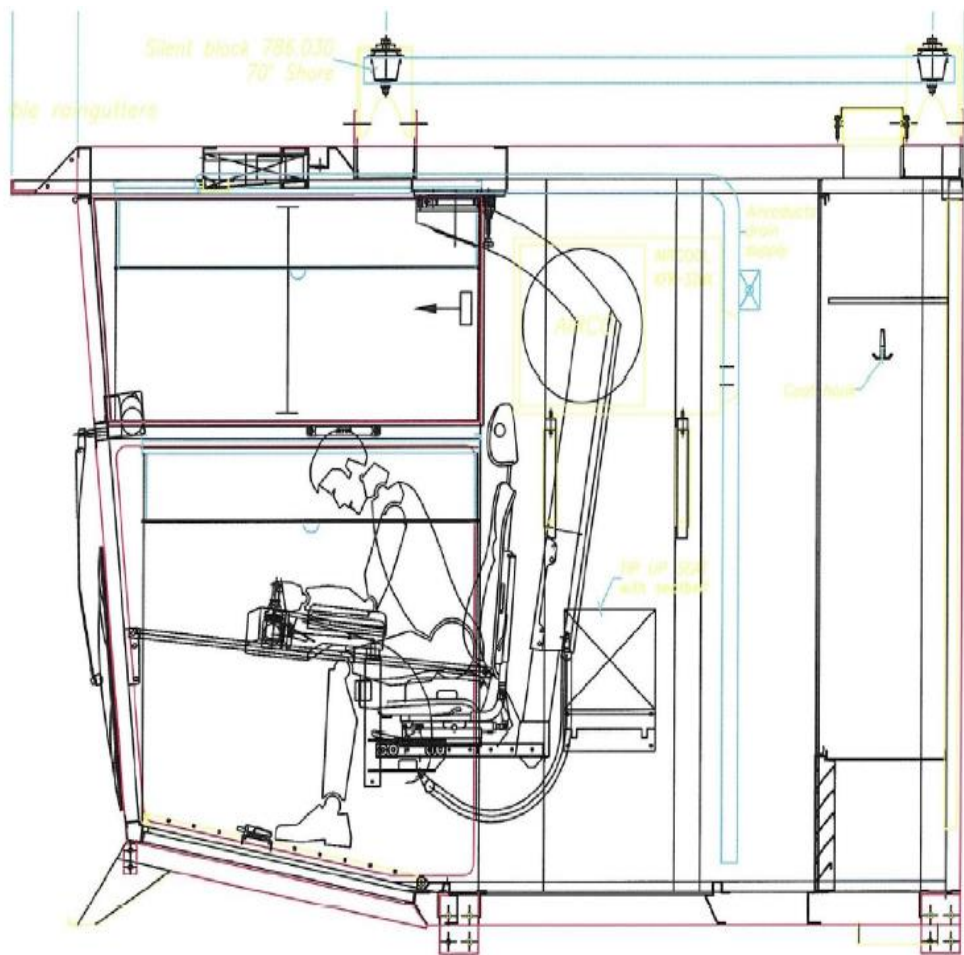
¹⁸ Ubicación de los cables de acero del reenvío del sistema tensor de trolley



¹⁹Figura 2.2.11 Plataforma del carro

Fuente: Corral, Pedro Javier, 2008 □Mantenimiento Preventivo de Grúas
 Portacontenedores□

¹⁹ Plataforma del carro de trolley que muestra poleas, cabina del operador, pasillos y escaleras, truck's de desplazamiento de la plataforma sobre el riel, ruedas del truck.



²⁰Figura 2.2.12 Cabina del operador

Fuente: Corral, Pedro Javier, 2008 □Mantenimiento Preventivo de Grúas

Portacontenedores□

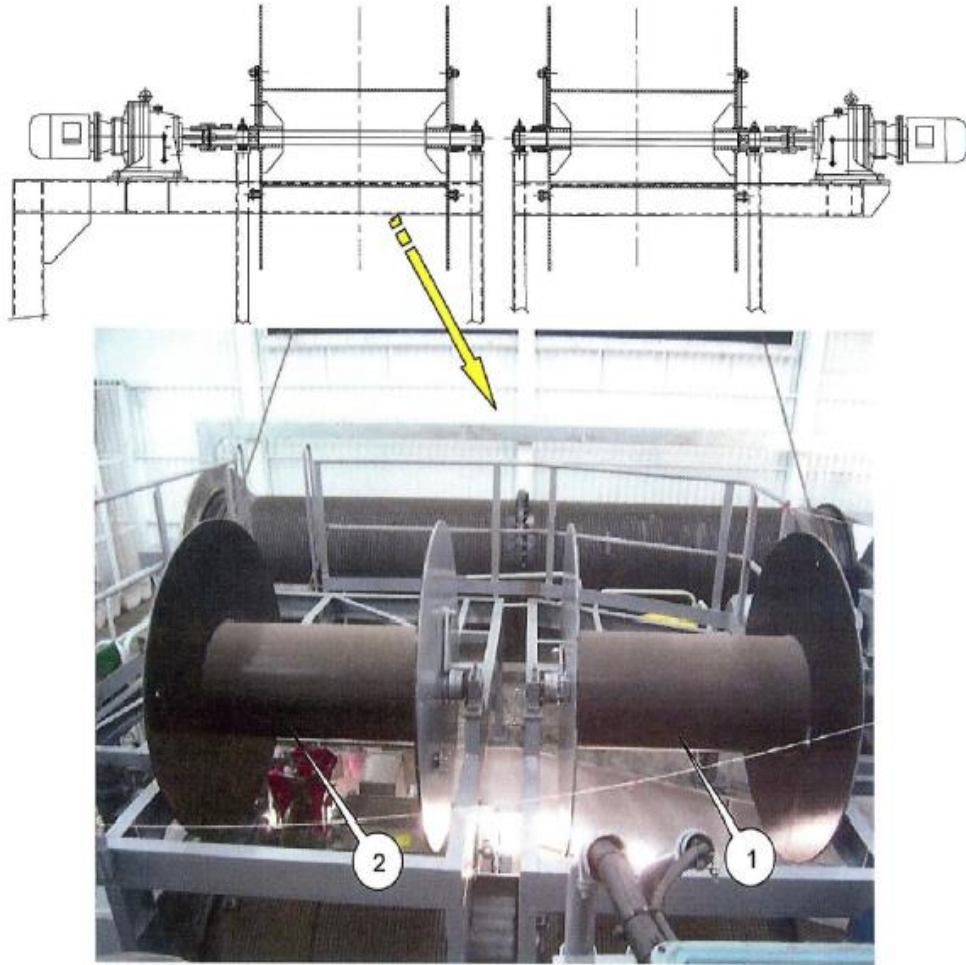
²⁰ Se muestra la cabina del operador y la posición que toma al estar operando



²¹Figura 2.2.13 Grúa puente

Fuente: Elaboración propia

²¹ Grúa puente ubicada en el cuarto de maquinas utilizada principalmente en maniobras de cambios de cable de acero, aceite de reductores y motores eléctricos.

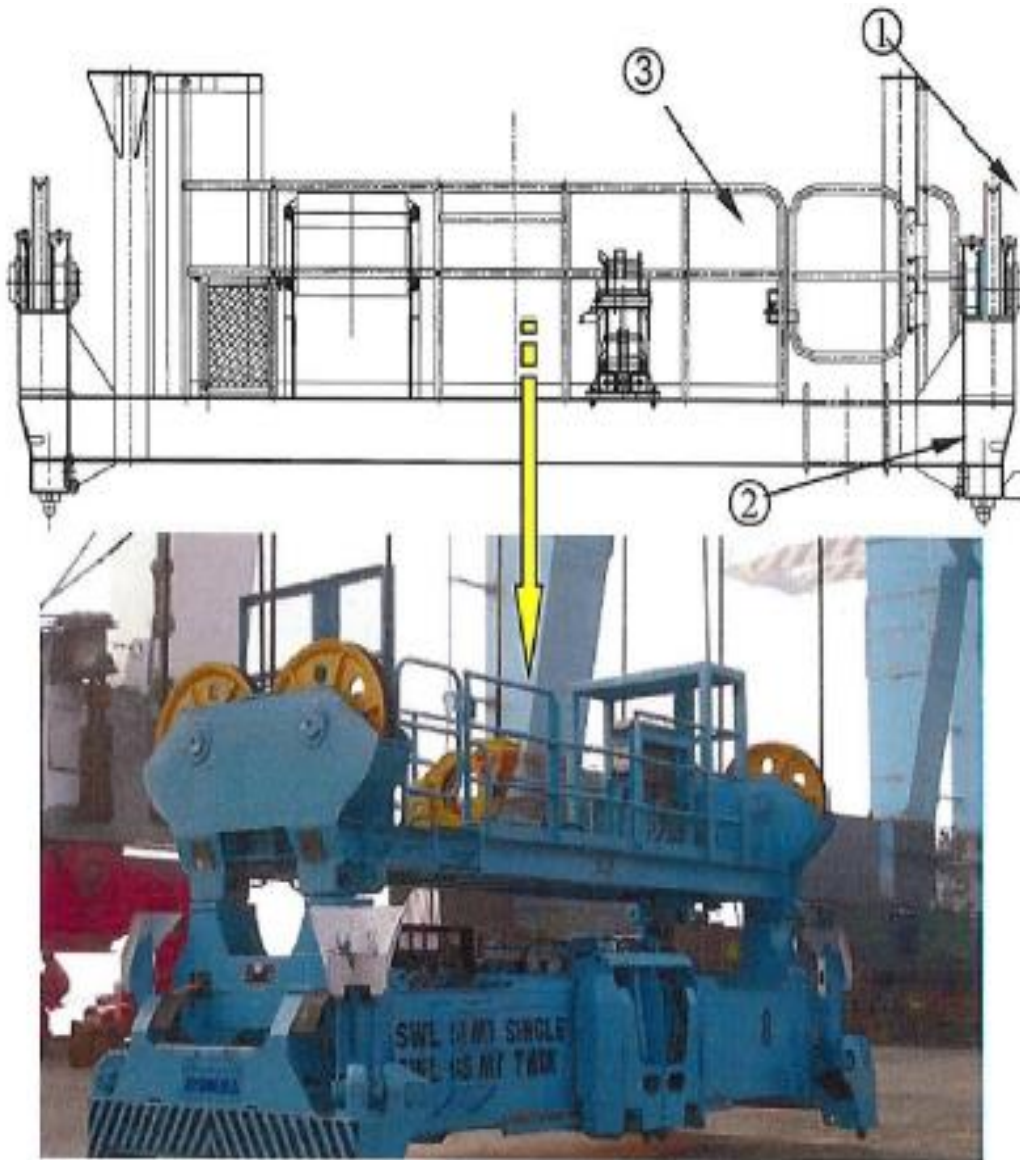


²²Figura 2.2.14 Sistema de cambio de cable

Fuente: Corral, Pedro Javier, 2008 □Mantenimiento Preventivo de Grúas

Portacontenedores□

²² Sistema ubicado en el cuarto de maquinas que facilita la maniobra del cambio de cable de acero de los diferentes sistemas, reduciendo tiempos y aumentando la seguridad de las actividades

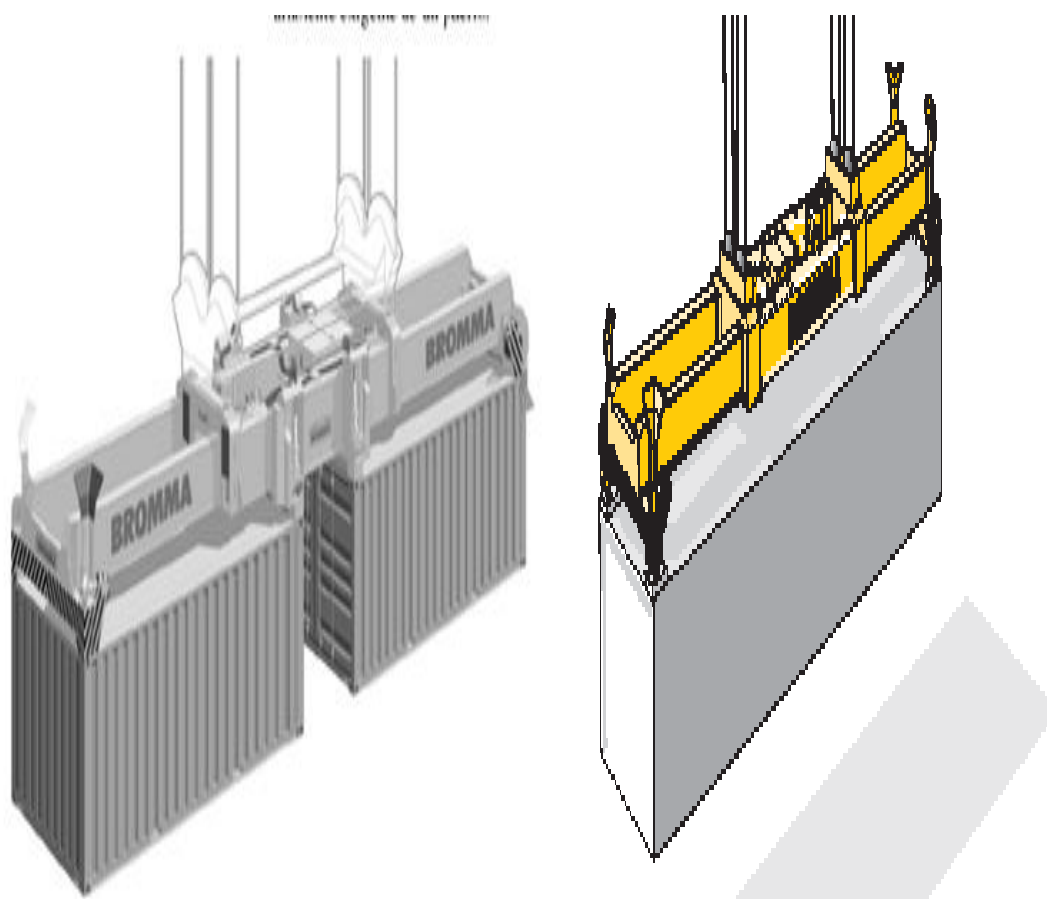


²³Figura 2.2.15 headblock/spreader

Fuente: Corral, Pedro Javier, 2008 □Mantenimiento Preventivo de Grúas

Portacontenedores□

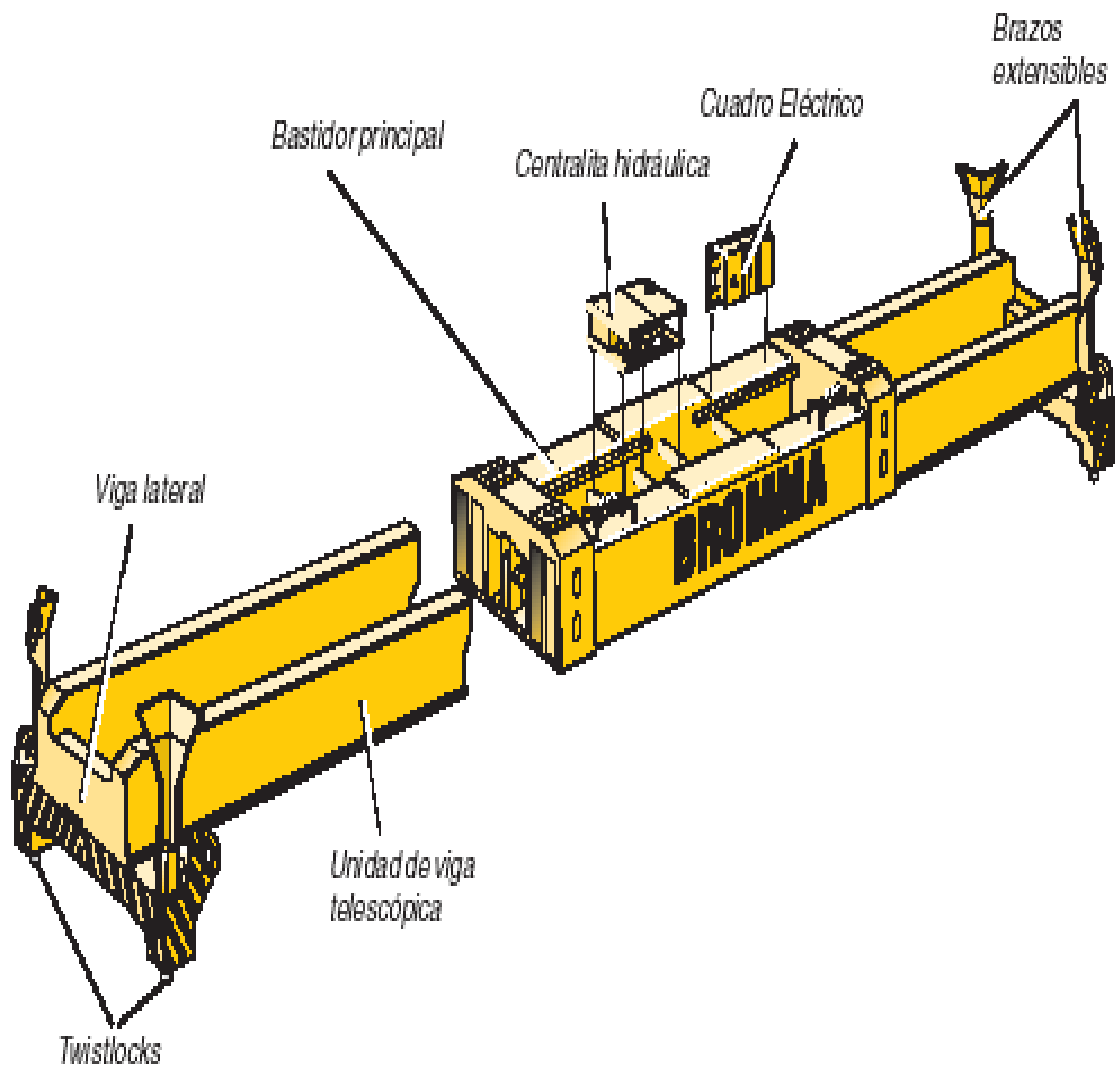
²³ El headblock es mejor conocido como bastidor del spreader, se encuentra fijo a la plataforma del trolley a través de poleas y cables de acero. Se une al spreader a través de candados de acción mecánica



²⁴Figura 2.2.16-A Spreader telescópico

Fuente: Manual de Spreader Bromma

²⁴ Se denomina telescópico por que se ajusta a la medida del contenedor que levantara

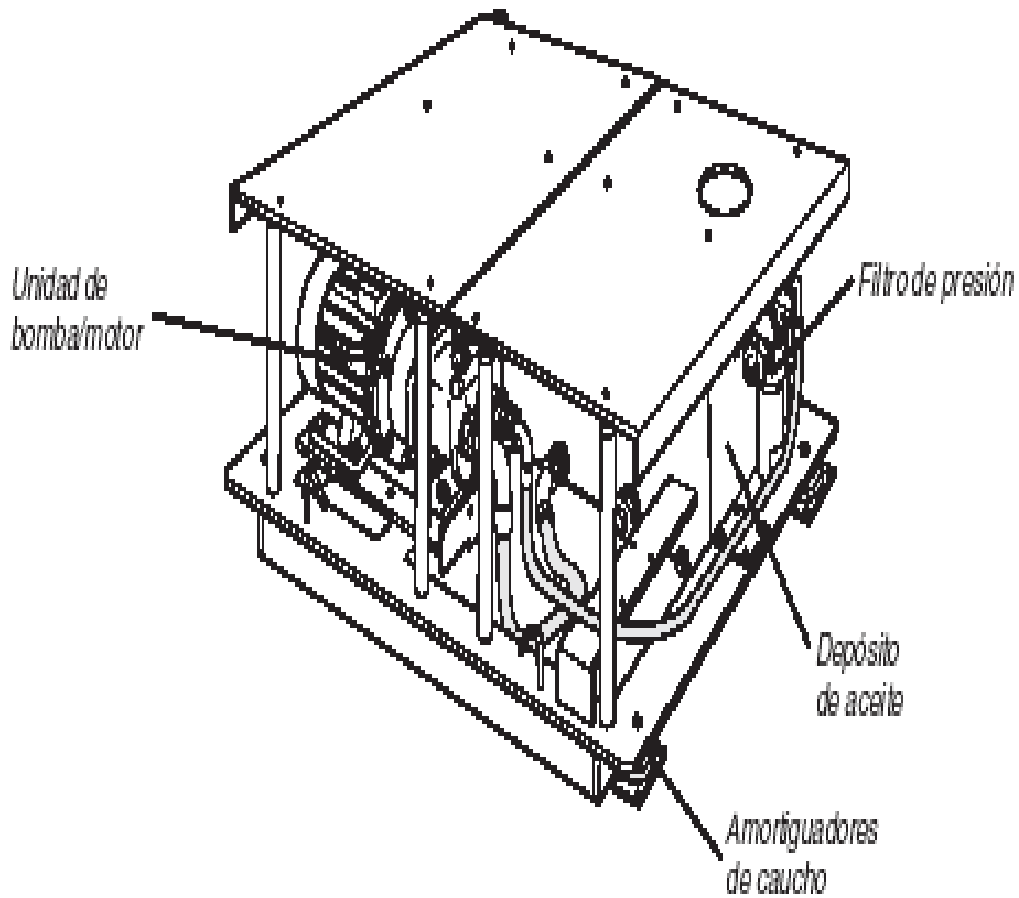


²⁵Figura 2.2.16-B Elementos del spreader

Fuente: Manual de Spreader Bromma

²⁵ La figura muestra los elementos principales del spreader de forma general

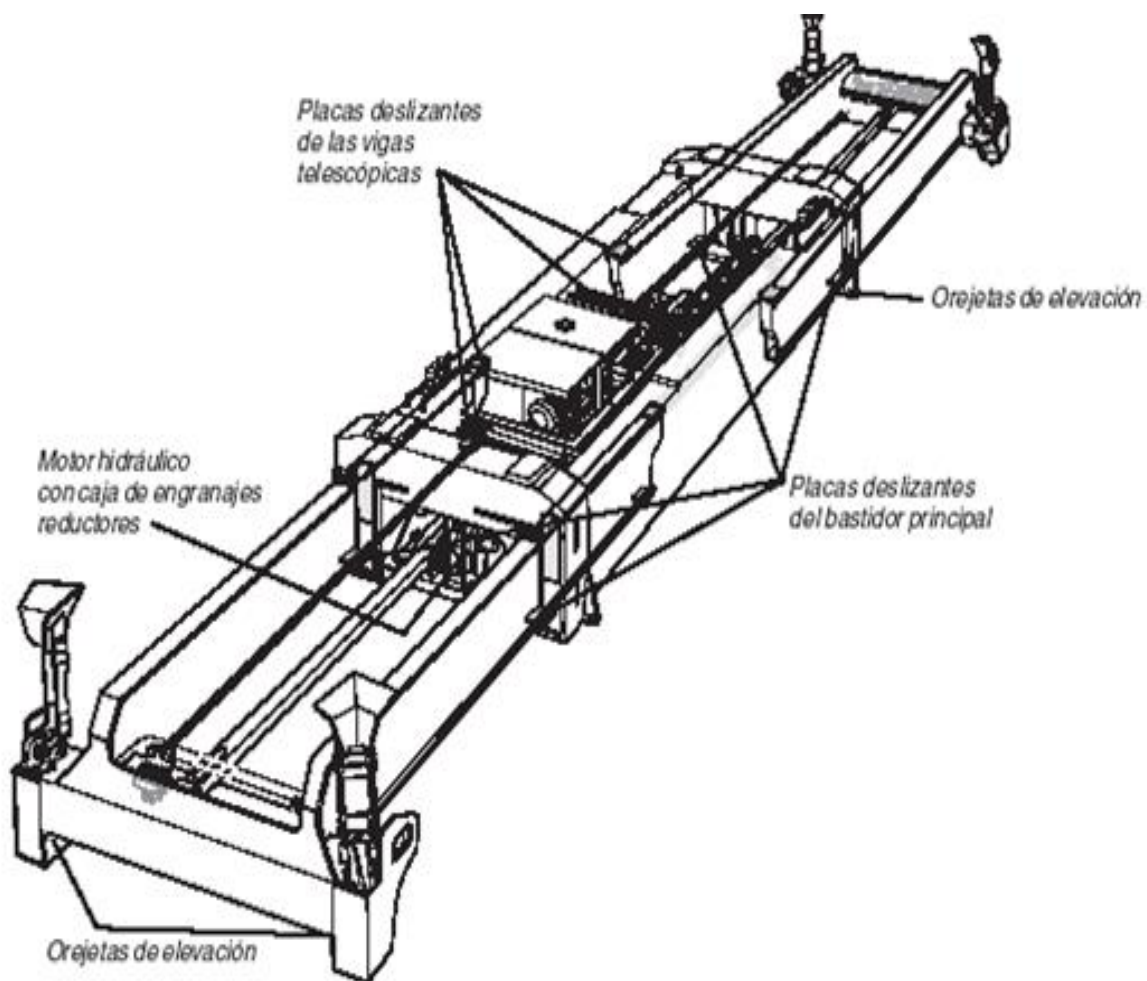
La bomba es accionada por un motor eléctrico.



²⁶Figura 2.2.16-C Sistema hidráulico spreader

Fuente: Manual de Spreader Bromma

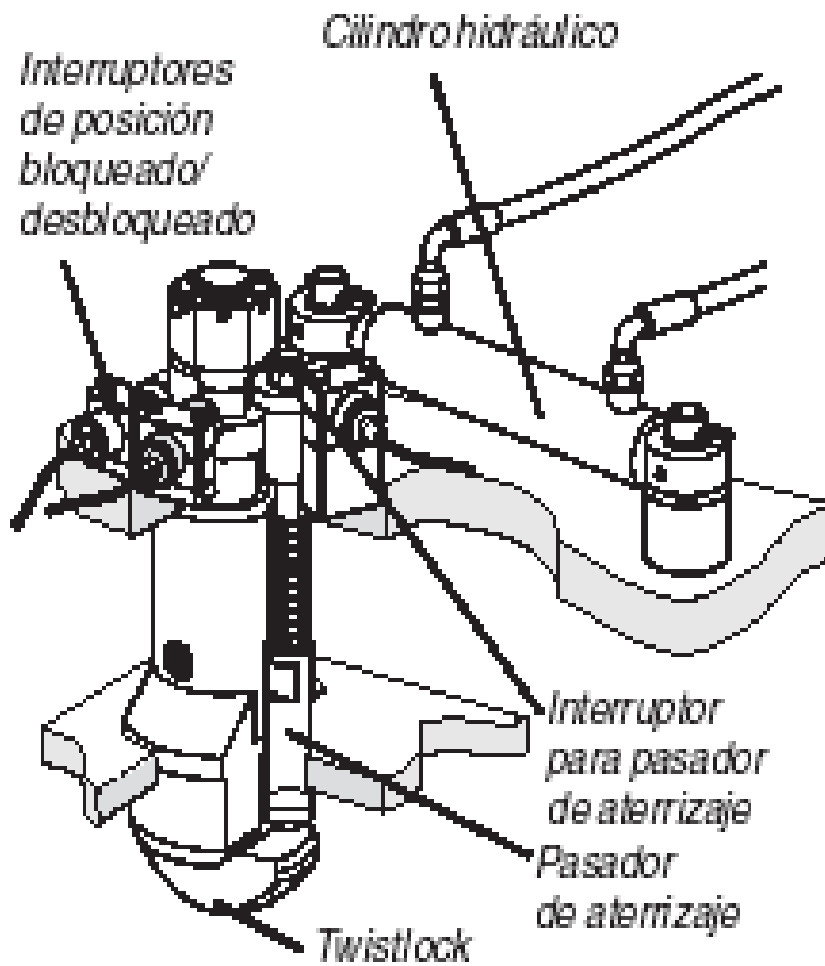
²⁶ Mediante el sistema hidráulico se controla el movimiento de los candados, flipper, expansión y retracción del spreader, sistema central de candados



²⁷Figura 2.2.16-D Sistema Telescópico del Spreader

Fuente: Manual de Spreader Bromma

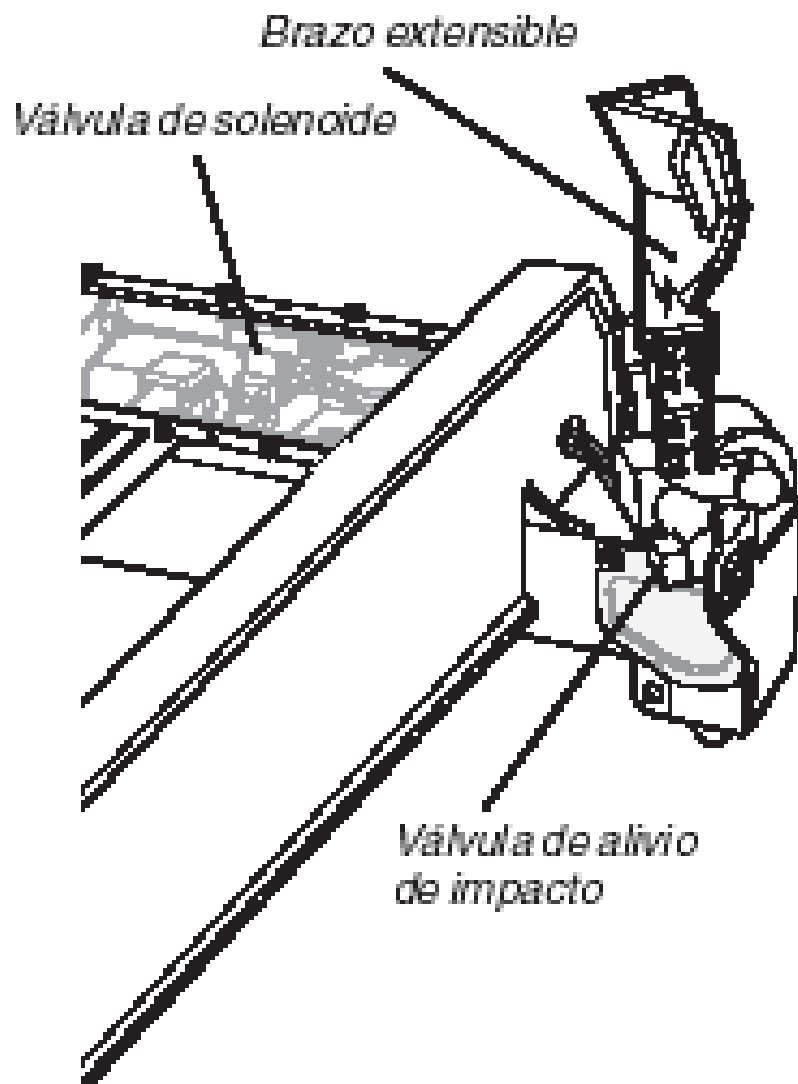
²⁷ Las placas deslizantes permiten el buen funcionamiento del sistema telescópico del spreader



²⁸Figura 2.2.16-E Sistema de twistlock

Fuente: Manual de Spreader Bromma

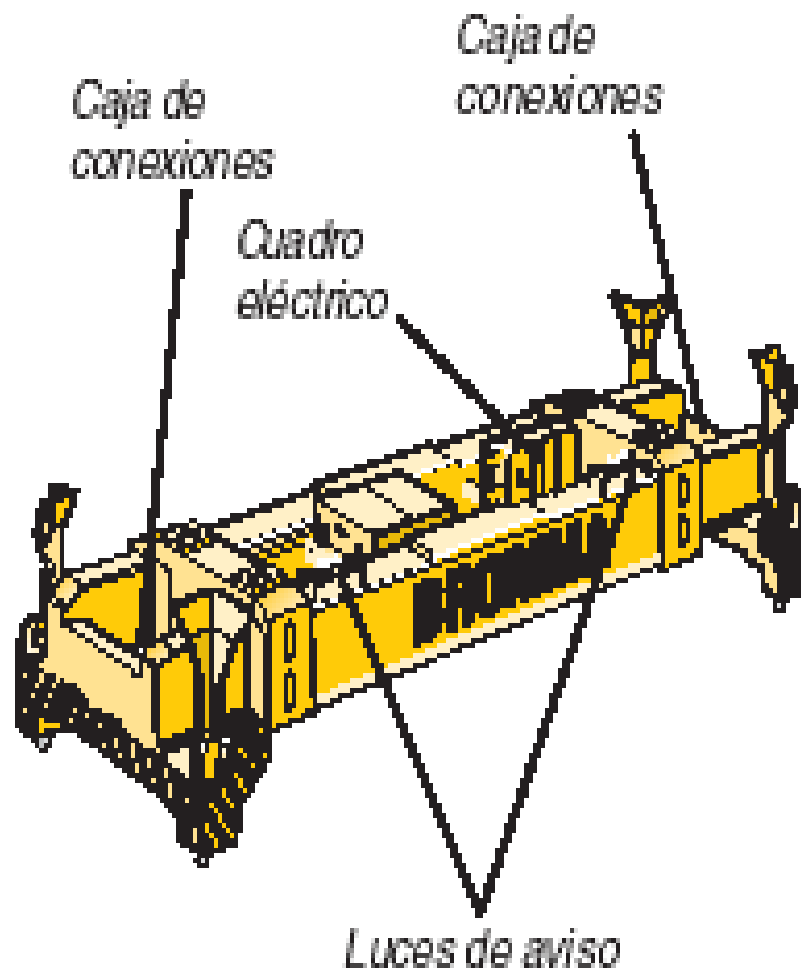
²⁸ Elementos de sistema de funcionamiento de los candados (twistlock,(Manual Bromma)



²⁹Figura 2.2.16-F Flippers

Fuente: Manual de Spreader Bromma

²⁹ El flipper es un brazo móvil que ayuda al operador a tomar de forma mas segura y rápida el contenedor con el spreader



³⁰Figura 2.2.16-G Sistema eléctrico

Fuente: Manual de Spreader Bromma

³⁰ Tres cajas de conexiones, cableado, sensores de proximidad, motor y bomba, luces de señalización son los elementos principales del sistema eléctrico del spreader

	Intervalo (h.)		300	1.000	3.000	6.000
	50	100				
Acciones de mantenimiento						
Lubricación*	X		X	X		
Twistlocks**						
Apretar, comprobar el funcionamiento		X				
Desmontar, inspeccionar, detectar fisuras					X	
Sustituir pasadores y arandelas estancas						X
Sistema hidráulico						
Comprobar la presión del sistema y eventuales fugas, y apretar		X				
Cambiar filtro	X***			X		
Cambiar aceite hidráulico	X***			X		
Placas deslizantes						
Comprobar	Una vez al año					
Cambiar					X****	
Sistema telescópico						
Comprobar tensión de la cadena					X****	
Comprobar estiramiento de la cadena						X
Comprobar engranajes						
Comprobar y limpiar sensores de posición						
Tirantes, vigas soportantes, fijaciones de rodillo	Válido para YTR, YTS, STR y STS					
Apretar		X				
Rieles inferiores (2 unidades)						
Comprobar si presentan deformación		X				

³¹Tabla 2.2.16 Programa de mantenimiento preventivo

Fuente: Manual de Spreader Bromma

³¹ Programa de mantenimiento preventivo spreader de acuerdo a manual de fabricante del spreader



³²Figura 2.2.17 Pasillos y escaleras

Fuente: Corral, Pedro Javier, 2008 □Mantenimiento Preventivo de Grúas
Portacontenedores□

³² Ubicación del sistema de acceso a la grúa a través de los pasillos y escaleras

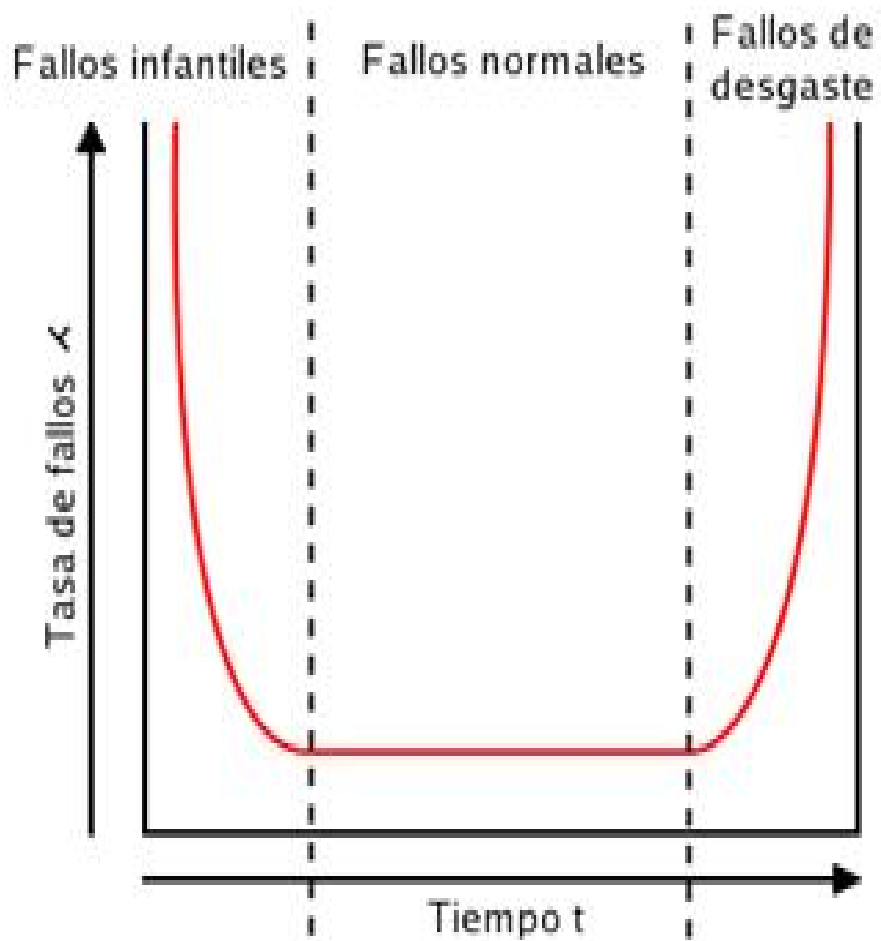
ANEXO CAPITULO 3



³³Figura 3.3 Origen de las fallas

Fuente: Contreras, José, 2011 □Introducción a la gestión de mantenimiento□

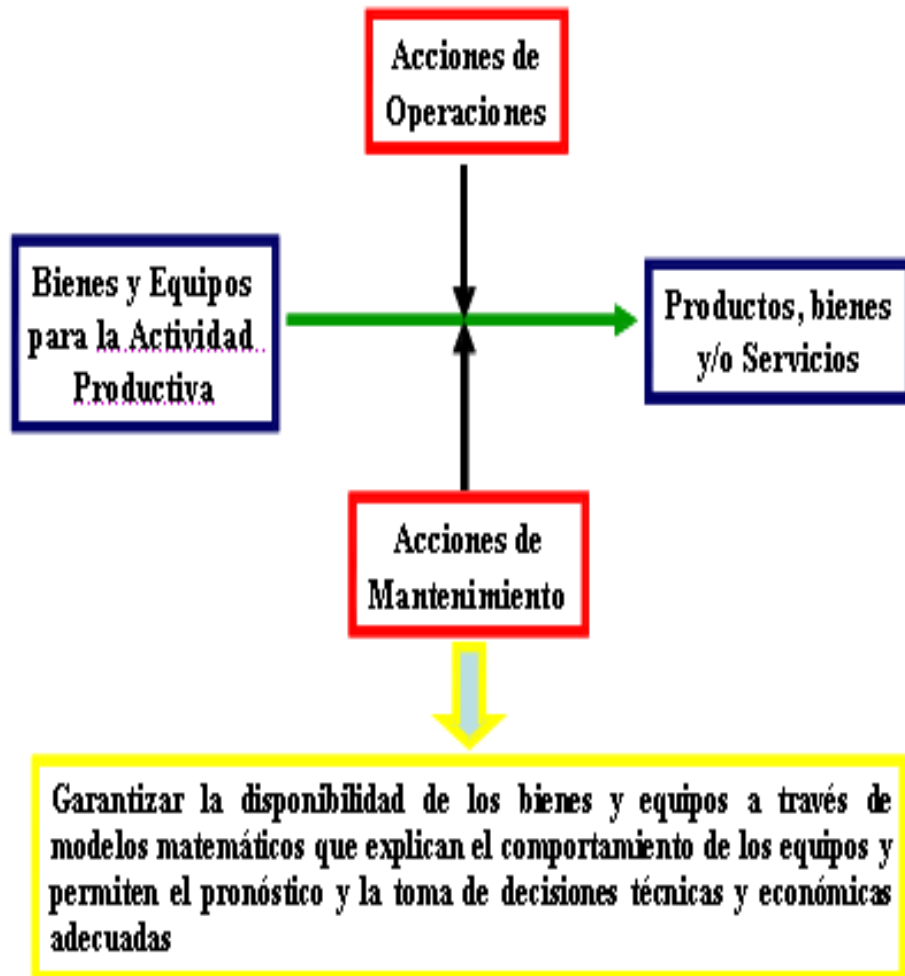
³³Cinco causas que originan las fallas en los sistemas o componentes



³⁴Figura 3.4 Curva de la bañera

Fuente: Contreras, José, 2011 □ Introducción a la gestión de mantenimiento □

³⁴ Curva de la bañera que muestra los tres posibles fallos comunes en un componente



³⁵Figura 3.6 ¿El por qué del mantenimiento?

Fuente: Contreras, José, 2011 □ Introducción a la gestión de mantenimiento □

³⁵ ¿El por qué del mantenimiento?, (Contreras 2011)

ANEXO CAPITULO 4

4/ENERO/2010 // MAF-6.3-4-03/02

SOLICITUD DE EQUIPO PORTUARIO MAYOR

LAZARO CARDENAS MICH. 08/AGOSTO /2011

PARA: SR. MANUEL GARCIA GORDILLO
GERENTE DE OPERACIONES.

DE: ING. ADALID SANTOS Y/O OSCAR TRUJILLO GOMEZ,
SUPERVISOR Y/O JEFE DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

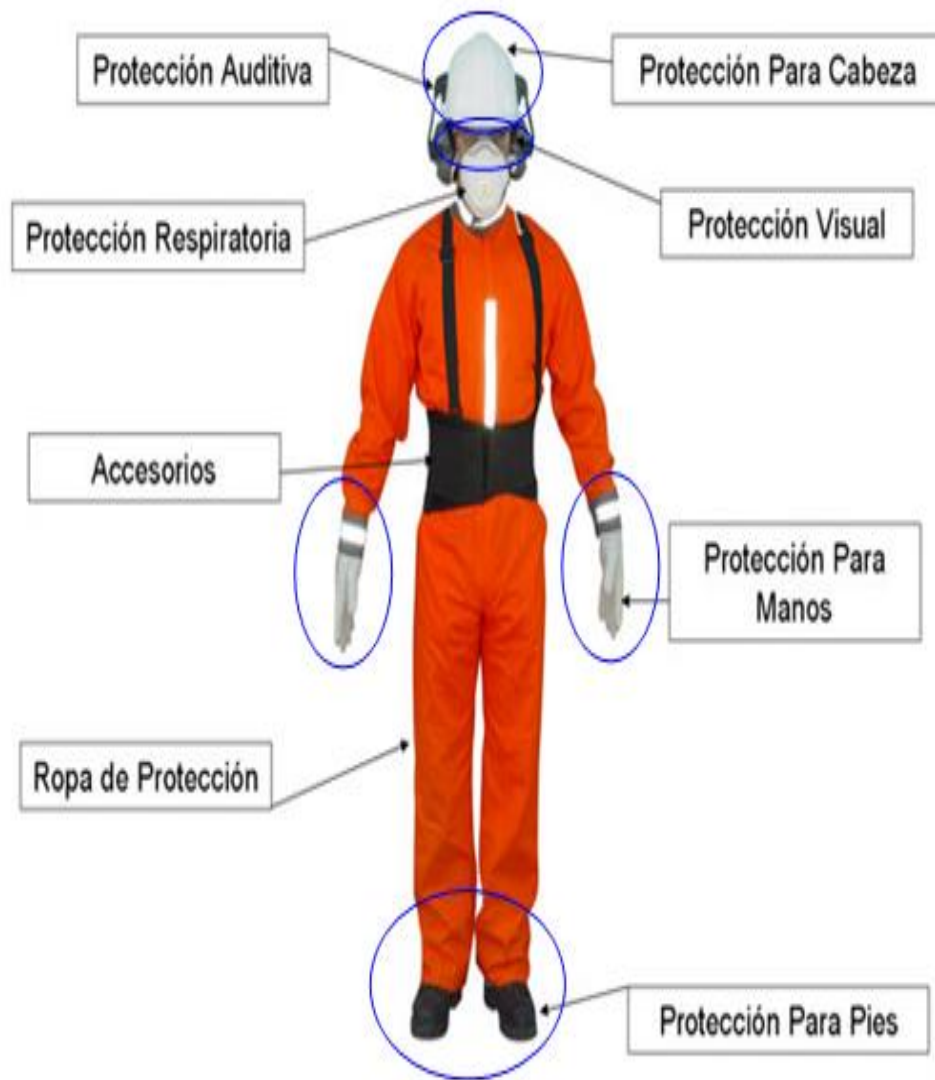
POR MEDIO DEL PRESENTE SE LES INFORMA Y SOLICITA POR FAVOR PERMITAN LA LIBERACION DE OPERACIONES DE LOS EQUIPOS EN LA FECHA Y NUMERO DE TURNOS MOSTRADOS PARA SU MANTENIMIENTO, TODOS ESTOS EQUIPOS REQUIEREN SERVICIO DE ACUERDO AL CUMPLIMIENTO DEL INTERVALO DE SERVICIO BASADO EN HOROMETROS Y CRONOGRAMA.

EQUIPOS	TURNOS	TIEMPO ESTIMADO (HORAS)	PRIORIDAD	OBSERVACIONES
<u>QC-ZPM-103-HOY</u>	2	16	1,2 Y 3	HOROMETRO DE SERVICIO 7500 (22)
<u>QC-ZPM-103-GAN</u>	2	16	1,2 Y 3	HOROMETRO DE SERVICIO 675 (4)
<u>QC-ZPM-105-HOY</u>	2	16	1,2 Y 3	HOROMETRO DE SERVICIO 750 (46)
<u>RT-ZPM-103-HOY</u>	2	16	1,2 Y 3	HOROMETRO DE SERVICIO 5000 (56)
<u>RT-SPR-107</u>	2	16	1,2 Y 3	SE DISPARA POR HOIST RTG 103
<u>RT-ZPM-104-HOY</u>	2	16	1,2 Y 3	HOROMETRO DE DISPARO 5000 (16)
<u>RT-SPR-108</u>	2	16	1,2 Y 3	SE DISPARA POR HOIST RTG 104
<u>RT-ZPM-105-HOY</u>	2	16	1,2 Y 3	HOROMETRO DE DISPARO 5250 (48)
<u>RT-SPR-109</u>	2	16	1,2 Y 3	SE DISPARA POR HOIST RTG 105
<u>QC-ANS-101</u>	1	8	P1,P2	AUXILIARES
<u>RT-PAC-01-SPR</u>	1	8	1,2 Y 3	HOROMETRO DE SERVICIO 3125 (-14)
<u>RT-PAC-03-SPR</u>	1	8	1,2 Y 3	HOROMETRO DE SERVICIO 3375 (21)
<u>RS-KAL-08</u>	2	16	1,2 Y 3	HOROMETRO DE SERVICIO 16750 (58)

³⁶Figura 4.2.4-A Solicitud de equipo

Fuente: Elaboración propia

³⁶ Solicitud de equipo



³⁷ Figura 4.3 □C Equipo de protección personal

Fuente: http://dihargentina.blogspot.mx/2011_09_01_archive.html

³⁷ Equipo de protección personal

Tarea	Descripción sistemas auxiliares	Organización	Clase	Hr. solicitadas	Pers. necesarias
QC-61T-62-ALT-E-AÑO	PREVENTIVO ANUAL DE ALTA TENSION	NTLCT	1	35	3
QC-61T-62-AUX-E-M	PREVENTIVO SISTEMAS AUXILIARES ELECTRICO MENSUAL	NTLCT	3	12.75	2
QC-61T-62-AUX-E-T	PREVENTIVO SISTEMAS AUXILIARES ELECTRICO TRIMESTRAL	NTLCT	2	13.25	2
QC-61T-62-AUX-M-AN	PREVENTIVO SIST.AUXILIAR MECANICO ANUAL	NTLCT	2	16	2
QC-61T-62-AUX-M-B	PREVENTIVO SISTEMAS AUXILIARES MECANICO BIMESTRAL	NTLCT	3	17	2
QC-61T-62-AUX-M-M	CANCELAR ESTA OT.	NTLCT	1	2	1
QC-61T-62-AUX-M-T	PREVENTIVO SISTEMAS AUXILIARES MECANICO TRIMESTRAL	NTLCT	2	21	2
QC-61T-62-AUX1-E-M	PREVENTIVO ELECTRICO SISTEMAS AUXILIARES 1 MENSUAL	NTLCT	1	17	2
QC-61T-62-AUX1-E-SEM	CCMS DE DRIVES Y FUENTE	NTLCT	1	7	3
QC-61T-62-AUX1-E-T	PREVENTIVO SISTEMAS AUXILIARES ELECTRICO 1 TRIMESTRAL	NTLCT	2	5	2
QC-61T-62-AUX2-E-SEM	CCMS AUXILIARES CAXX	NTLCT	1	4	2
QC-61T-62-AUX3-E-SEM	CCM DE GANTRY CABLE REEL	NTLCT	1	3	1
QC-61T-62-AUX4-E-SEM	CCM DEL PLC PRINCIPAL	NTLCT	1	4.5	2

³⁸Tabla 4.5-A Configuración tareas preventivas sistemas auxiliares

Fuente: Elaboración propia

³⁸Configuración tareas preventivas sistemas auxiliares

Tarea	Descripción sistema brazo	Organización	Clase	Hr. solicitadas	Pers. necesarias
QC-61T-62-BRA-E-25	PREVENTIVO SISTEMA DE BRAZO ELECTRICO 25 HRS	NTLCT	2	11	2
QC-61T-62-BRA-E-50	PREVENTIVO SISTEMA DE BRAZO ELECTRICO 50 HRS	NTLCT	3	5.25	2
QC-61T-62-BRA-M-25	PREVENTIVO SISTEMA DE BRAZO MECANICO 25 HRS	NTLCT	1	18	2
QC-61T-62-BRA-M-50	PREVENTIVO SISTEMA DE BRAZO MECANICO 50 HRS	NTLCT	1	4	1
QC-61T-62-BRA-M-M	REVISION DE CABLE DE ACERO SISTEMA BRAZO	NTLCT	1	2	2

³⁹Tabla 4.5-B Configuración tareas preventivas sistema de brazo

Fuente: Elaboración propia

³⁹ Configuración tareas preventivas sistema de brazo

Tarea	Descripción sistema gantry	Organización	Clase	Hr. solicitadas	Pers. necesarias
QC-61T-62-GAN-E-25	PREVENTIVO SISTEMA DE GANTRY ELECTRICO 25 HRS.	NTLCT	3	21.75	2
QC-61T-62-GAN-E-50	PREVENTIVO SISTEMA DE GANTRY ELECTRICO 50 HRS.	NTLCT	3	8.5	2
QC-61T-62-GAN-E-SEM	PREVENTIVO ELECTRICO SISTEMA GANTRY CABLE REEL SEMES	NTLCT	1	4	2
QC-61T-62-GAN-M-100	PREVENTIVO SISTEMA DE GANTRY 100 HRS MECANICO	NTLCT	2	64	2
QC-61T-62-GAN-M-25	PREVENTIVO SISTEMA DE GANTRY MECANICO 25 HRS	NTLCT	1	28	2
QC-61T-62-GAN-M-50	PREVENTIVO SISTEMA DE GANTRY MECANICO 50 HRS	NTLCT	1	57	2

⁴⁰Tabla 4.5-C Configuración tareas preventivas sistema de gantry

Fuente: Elaboración propia

⁴⁰ Configuración tareas preventivas sistema de gantry

Tarea	Descripción sistema hoist	Organización	Clase	Hr. solicitadas	Pers. necesarias
QC-61T-62-HOI-E-250	PREVENTIVO SISTEMA DE HOIST ELECTRICO 250	NTLCT	3	17.5	2
QC-61T-62-HOI-E-500	PREVENTIVO ELECTRICO SISTEMA DE HOIST 500 HRS.	NTLCT	2	12.5	2
QC-61T-62-HOI-M-1000	PREVENTIVO SISTEMA DE HOIST 1000 HRS	NTLCT	3	12	2
QC-61T-62-HOI-M-2000	PREVENTIVO SISTEMA DE HOIST 2000 HRS	NTLCT	2	68.5	2
QC-61T-62-HOI-M-250	PREVENTIVO SISTEMA DE HOIST MECANICO 250	NTLCT	1	28.5	2
QC-61T-62-HOI-M-4000	PREVENTIVO DE SISTEMA DE HOIST DE 4000 HRS	NTLCT	2	76.5	3
QC-61T-62-HOI-M-500	PREVENTIVO SISTEMA DE HOIST 500 HRS	NTLCT	1	32.5	2
QC-61T-62-HOI-M-M	REVISION CABLE DE ACERO SISTEMA HOIST	NTLCT	1	4	2

⁴¹Tabla 4.5 -D Configuración tareas preventivas sistema de hoist

Fuente: Elaboración propia

⁴¹ Configuración tareas preventivas sistema de hoist

Tarea	Descripción sistema trolley	Organización	Clase	Hr. solicitadas	Pers. necesarias
QC-61T-62-TR-M-1000	SISTEMA DE TROLLEY INSPECCION CABLE ACERO 1000 HRS	NTLOT	2	8	2
QC-61T-62-TRO-E-250	PREVENTIVO SISTEMA DE TROLLEY ELECTRICO 250	NTLOT	3	16	2
QC-61T-62-TRO-E-500	PREVENTIVO SISTEMA DE TROLLEY ELECTRICO 500 HRS.	NTLOT	2	6	2
QC-61T-62-TRO-M-250	PREVENTIVO SISTEMA DE TROLLEY MECANICO 250	NTLOT	1	19	2
QC-61T-62-TRO-M-500	PREVENTIVO DE TROLLE MECANICO 500 HRS	NTLOT	*	32	2
QC-61T-62-TRO-M-M	REVISION CABLE DE ACERO SISTEMA TROLLEY	NTLOT	1	4	2
QC-61T-62-CAT-M-M	REVISION DE CABLE DE ACERO SISTEMA CATENARIA	NTLOT	1	2	2

⁴²Tabla 4.5-E Configuración tareas preventivas sistema de trolley

Fuente: Elaboración propia

⁴² Configuración tareas preventivas sistema de trolley

Tarea	Descripción sistema spreader	Organización	Clase	Hr. solicitadas	Pers. necesarias
QC-ST545-SPR-E-250	PREVENTIVO ELECTRICO SPREADER QC-ZPMC	NTLCT	1	12.75	2
QC-ST545-SPR-E-500	PREVENTIVO ELECTRICO SPREADER QC-ZPMC	NTLCT	2	1.25	1
QC-ST545-SPR-M-1000	PREVENTIVO MECANICO SPREADER QC-ZPMC 1000 HRS.	NTLCT	2	2	1
QC-ST545-SPR-M-250	PREVENTIVO MECANICO SPREADER QC-ZPMC 250 HRS	NTLCT	1	19	2
QC-ST545-SPR-M-3000	PREVENTIVO MECANICO SPREADER STS45 3000 HRS	NTLCT	1	17	1
QC-ST545-SPR-M-500	PREVENTIVO MECANICO SPREADER STS 45 500 HRS.	NTLCT	1	17.5	2
QC-ST545-SPR-M-SEM	REVISION DE CORDONES DE SOLDADURA ESTRUCTURA GENERAL	NTLCT	1	1.5	1

⁴³Tabla 4.5-F Configuración tareas preventivas sistema spreader

Fuente: Elaboración propia

⁴³ Configuración tareas preventivas sistema spreader

ABREVIACION	DEFINICION	INTERPRETACION
CM	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	TIEMPO EN QUE EL EQUIPO ESTA POR UN CORRECTIVO QUE NO AFECTA LA OPERACION
DT	TIEMPO MUERTO	TIEMPO EN QUE EL EQUIPO ESTA EN UN CORRECTIVO AFECTANDO LA OPERACION
PM	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	TIEMPO EN QUE EL EQUIPO ES INTERVENIDO PARA PREVENTIVO
No. DE FALLAS	FALLAS	TOTAL DE NUMERO DE FALLAS EN UN PERIODO
TIEMPO OPS	OPERACION	HORAS TOTALES DE OPERACIÓN EN UN PERIODO
MMBF	MOVIMIENTOS/FALLAS	TOTAL DE MOVIMIENTOS, ENTRE TOTAL DE FALLAS EN UN PERIODO
UTLIZACION U%	% DE UTILIZACION DEL EQUIPO	HRS DE OPERACIÓN EN UN PERIODO ENTRE HRS DISPONIBLES DEL PERIODO
INHERENTE AVAILABILITY Ai%	DISPONIBILIDAD INHERENTE	HRS DEL PERIODO, MENOS MANTENIMIENTO PREVENTIVO, CORRECTIVO, TIEMPO MUERTO ENTRE HRS DEL PERIODO
AVAILABILITY OCCUPIED TIME	DISPONIBILIDAD ALCANZADA DURANTE EL PERIODO OCUPADO	TIEMPO TOTAL DE OPERACIÓN, MENOS CM, TM, ENTRE EL TIEMPO TOTAL DE OPERACION
BREAKDOWN	TIEMPO DE PARADA DE UNA MAQUINA DURANTE EL PERIODO OCUPADO	PORCENTAJE DE PARADA DE UNA MAQUINA DURANTE EL PERIODO OCUPADO
PLANNED MAINTENANCE	% DE TIEMPO DE MP DURANTE EL PERIODO	TIEMPO DE MP, ENTRE EL PERIODO POR 100.
EMERGENCY MAINTENANCE EM%	% DE TC+TM DURANTE EL PERIODO	TIEMPO DE TC, TM, ENTRE EL PERIODO POR 100.
UMAX, MOVES/MONTH	NUMERO MAXIMO DE MOVIMIENTOS AL 100% DE	NUMERO DE CONTENEDORES EN UN PERIODO ENTRE EL % DE UTILIZACION

(PER CRANE)	UTILIZACION	DEL PERIODO
TOTAL DOWN TIME TDT%	% DE TIEMPO EN UN PERIODO EN EL CUAL EL EQUIPO ESTA DISPONIBLE POR MANTENIMIENTO	% RESIDUAL DE UN PERIODO MENOS EL % DE LA DISONIBILIDAD INHERENTE
U'(U*Ai)	ES EL % DE UTILIZACION DEL EQUIPO EN UN PERIODO	ES EL P'RODUCTO DE LA UTILIZACION Y LA DISPONIBILIDAD INHERENTE
M TDT%U% < 0.1	PERMITE SABER EL % DE IMPACTO DE QUIETE EL DT SOBRE EL % DE UTILIZACION EL CUAL EL D.T DEBE ESTAR POR DEBAJO DEL % DE UTILIZACION	RELACION ENTRE EL DOWN TIME Y EL TIEMPO DE UTILIZACION DEL EQUIPO
MD TDT HRS/TLC/K < 5.0	PERMITE SABER QUE LAS HRS DE MANTTO DEBE SER MENOR A 5 POR CADA MIL MOVIMIENTOS	RELACION DE LAS HRS DE DOWN TIME Y LA MILESIMA PARTE DE LOS MOVIMIENTOS

⁴⁴**Tabla 4.6.2-A Indicadores de mantenimiento**

Fuente: Elaboración propia

⁴⁴ Indicadores de mantenimiento

MES DE JULIO			2011	Ira Caratula			Reporte	Llegada del	(En minutos)	(En contra)
Item	Fecha	Turno	Area	Grupo	Sistema	No. Equipo	de falla	tecnico a grúa	Indicador	Diferencia
1	03/07/2011	C	Falla ajena	Portico	CONTROL	QC-ZPM-101	00:50	00:52	5.00	N/A
2	08/07/2011	A	Falla ajena	Portico	Gantry	QC-ZPM-106	11:15	11:18	5.00	N/A
3	08/07/2011	A	Electrica	Portico	SPR	QC-ZPM-106	12:02	12:05	5.00	N/A
4	08/07/2011	A	Falla ajena	Portico	Gantry	QC-ZPM-101	12:30	12:32	5.00	N/A
5	12/07/2011	B	Electrica	Portico	SPR	QC-ZPM-103	18:34	18:39	5.00	N/A
6	12/07/2011	B	Falla ajena	Portico	SPR	QC-ZPM-104	18:00	18:05	5.00	N/A
7	12/07/2011	B	Electrica	Portico	SPR	QC-ZPM-101	03:20	03:22	5.00	N/A
8	13/07/2011	C	Electrica	Portico	SPR	QC-ZPM-101	06:20	06:22	5.00	N/A
9	13/07/2011	C	Falla ajena	Portico	SPR	QC-ZPM-104	06:10	06:12	5.00	N/A
10	13/07/2011	C	Falla ajena	Portico	SPR	QC-ZPM-105	05:35	05:38	5.00	N/A
11	14/07/2011	A	Electrica	Portico	SPR	QC-ZPM-101	13:20	13:25	5.00	N/A

Valora la falla	Determinan la Falla	Minutos Indicador	En contra Diferencia	Falla	Tiempo Total (Min.)	> 30 Min	No. de O.T.	Nombre del Operador
00:56	00:57	20.00	N/A		10.00		333271	JESUS RAMOS
11:25	11:25	20.00	N/A		10.00		334156	ANTONIO CAMACHO SOLIS
12:18	12:18	20.00	N/A		16.00		334162	ANTONIO CAMACHO SOLIS
12:33	12:35	20.00	N/A		5.00		334168	FERNANDO RODRIGUEZ
19:00	19:02	20.00	N/A		30.00		334914	ALFREDO REYES
18:10	18:11	20.00	N/A		13.00		334913	OSCAR VILLANUEVA
03:30	03:30	20.00	N/A		10.00		334942	RAFAEL ESPINO
06:30	06:30	20.00	N/A		10.00		335209	ALEJANDRO VAZQUEZ ESPIN
06:20	06:20	20.00	N/A		10.00		335208	ROGUELIO OROSCO
05:40	05:40	20.00	N/A		5.00		335213	DATO INCOMPLETO
13:30	13:30	20.00	N/A		10.00		335302	FELIX CANO

⁴⁵Tabla 4.7.1-A Indicadores de mantenimiento correctivo

Fuente: Elaboración propia

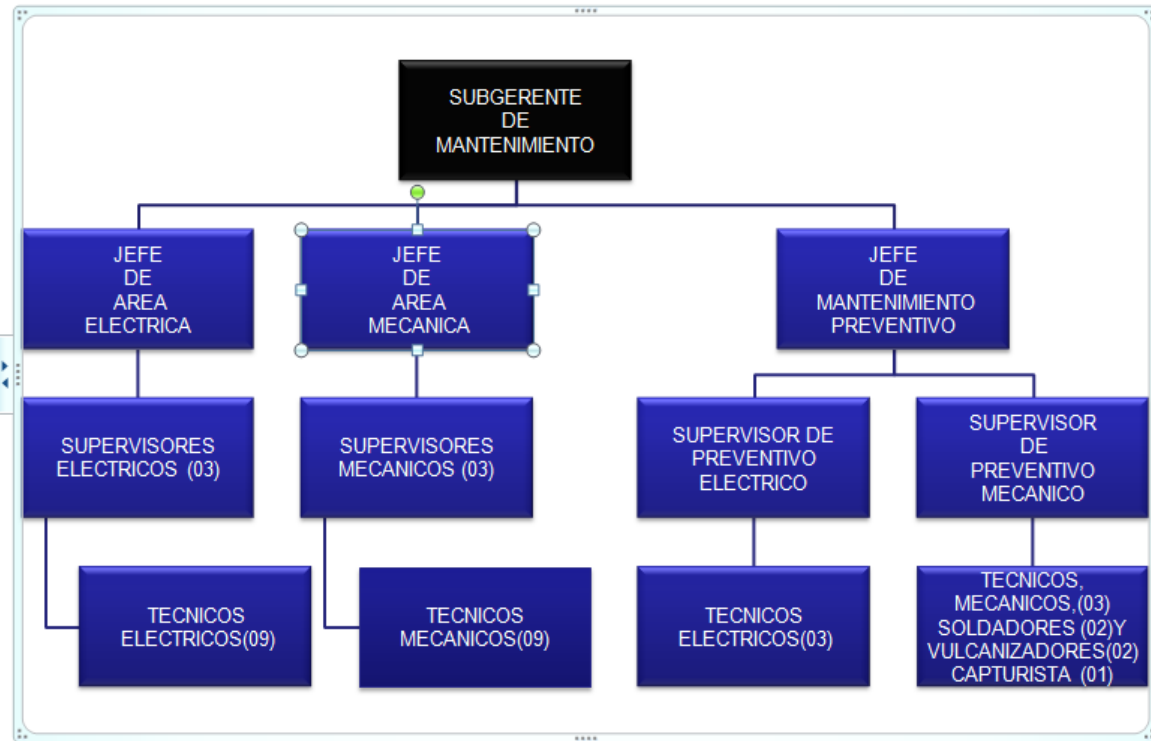
⁴⁵ Indicadores de mantenimiento correctivo

Sistema	Componente	Descripción
Spreader	Candados	Revisión de fisuras con liquido penetrantes
Hoist, brazo, trolley	Reductores	Análisis químico en laboratorio de proveedor
Eléctrico	Cajas de conexiones eléctricas	Revisión con cámara termo gráfica de puntos calientes
Hoist, brazo, trolley y catenaria	Maquinas eléctricas	Inspección de impedancia
Hoist, brazo, trolley y catenaria	Cable de acero	Limpieza, inspección de desgaste y estado físico

⁴⁶Tabla 4.9.1.2 **Gestion actual de mantenimiento predictivo**

Fuente: Elaboración propia

⁴⁶ Gestión actual de mantenimiento predictivo

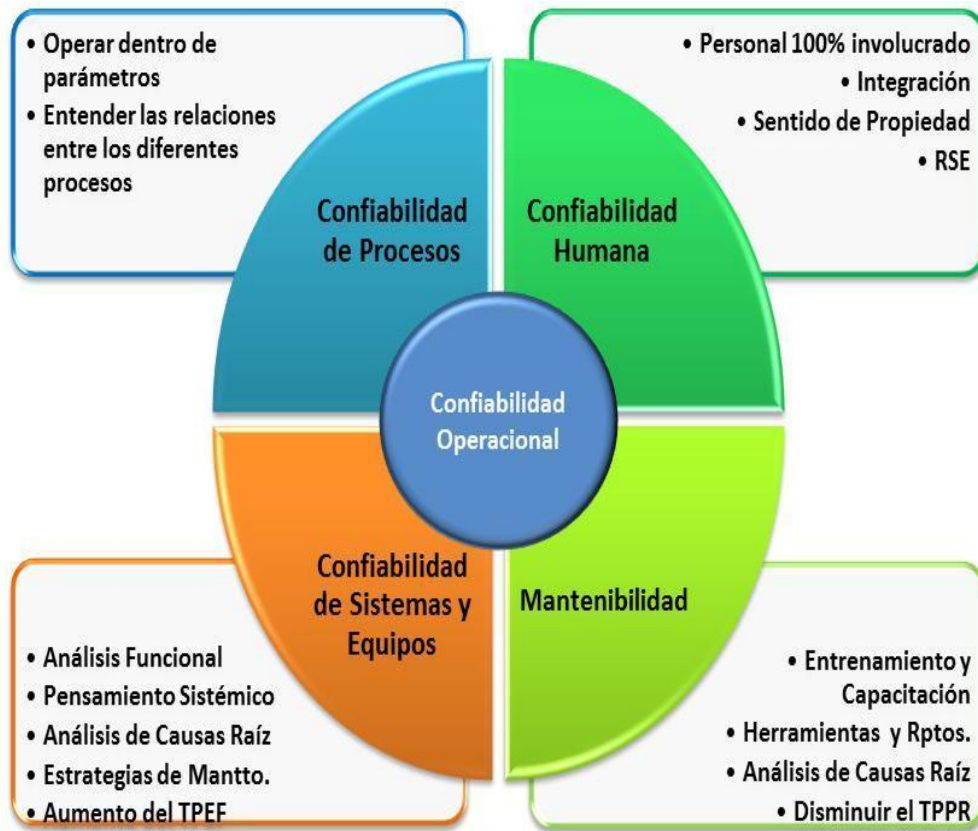


⁴⁷Figura 4.10 Cronograma del departamento de mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

⁴⁷ Cronograma del departamento de mantenimiento

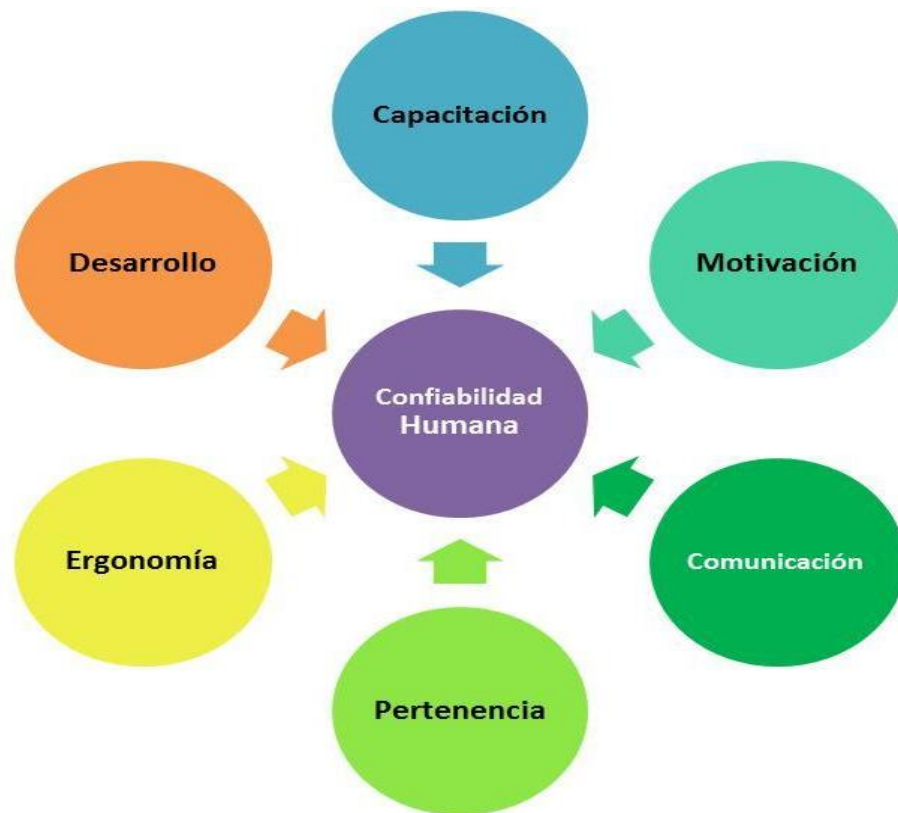
ANEXO CAPITULO 5



⁴⁸Figura 5.3 Confiabilidad operacional

Fuente: Contreras, José, 2011 □La cultura de la confiabilidad□

⁴⁸ Confiabilidad operacional, (Contreras 2011)

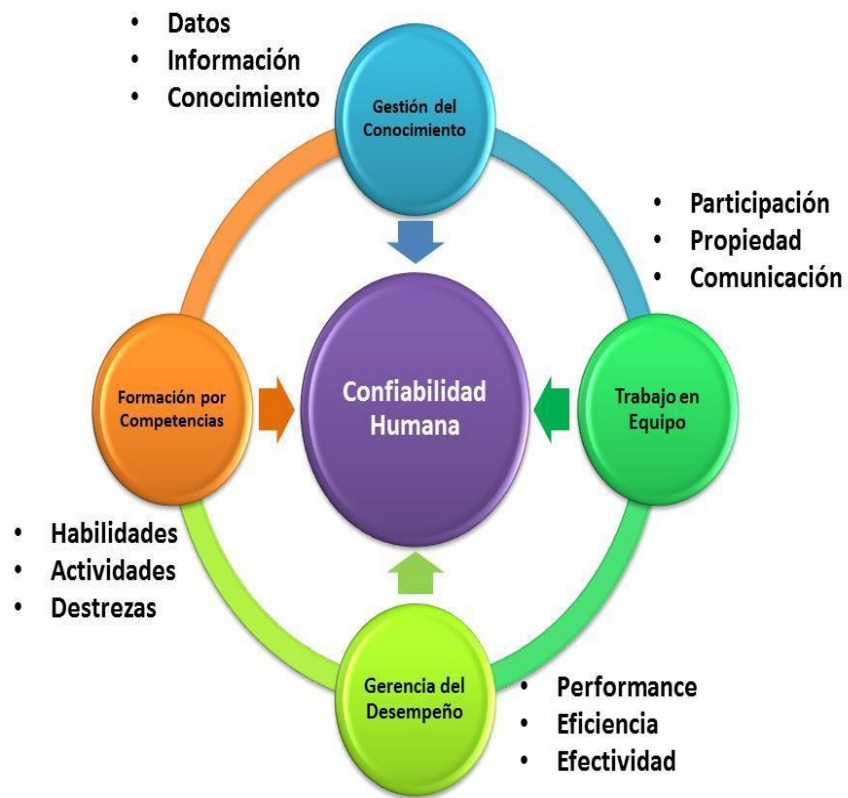


49

Figura 5.4.1 Elementos de la confiabilidad

Fuente: Contreras, José, 2011 □La cultura de la confiabilidad□

⁴⁹ Elementos de la confiabilidad humana, (Contreras 2011)

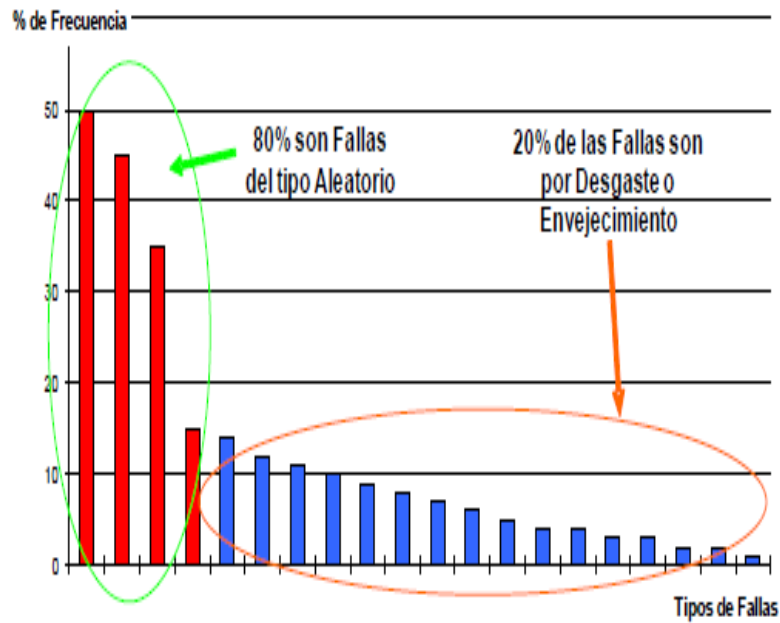


⁵⁰Figura 5.4.2 Estrategias de la confiabilidad humana

Fuente: Contreras, José, 2011 □La cultura de la confiabilidad□

⁵⁰ Estrategias de la confiabilidad humana, (Contreras 2011)

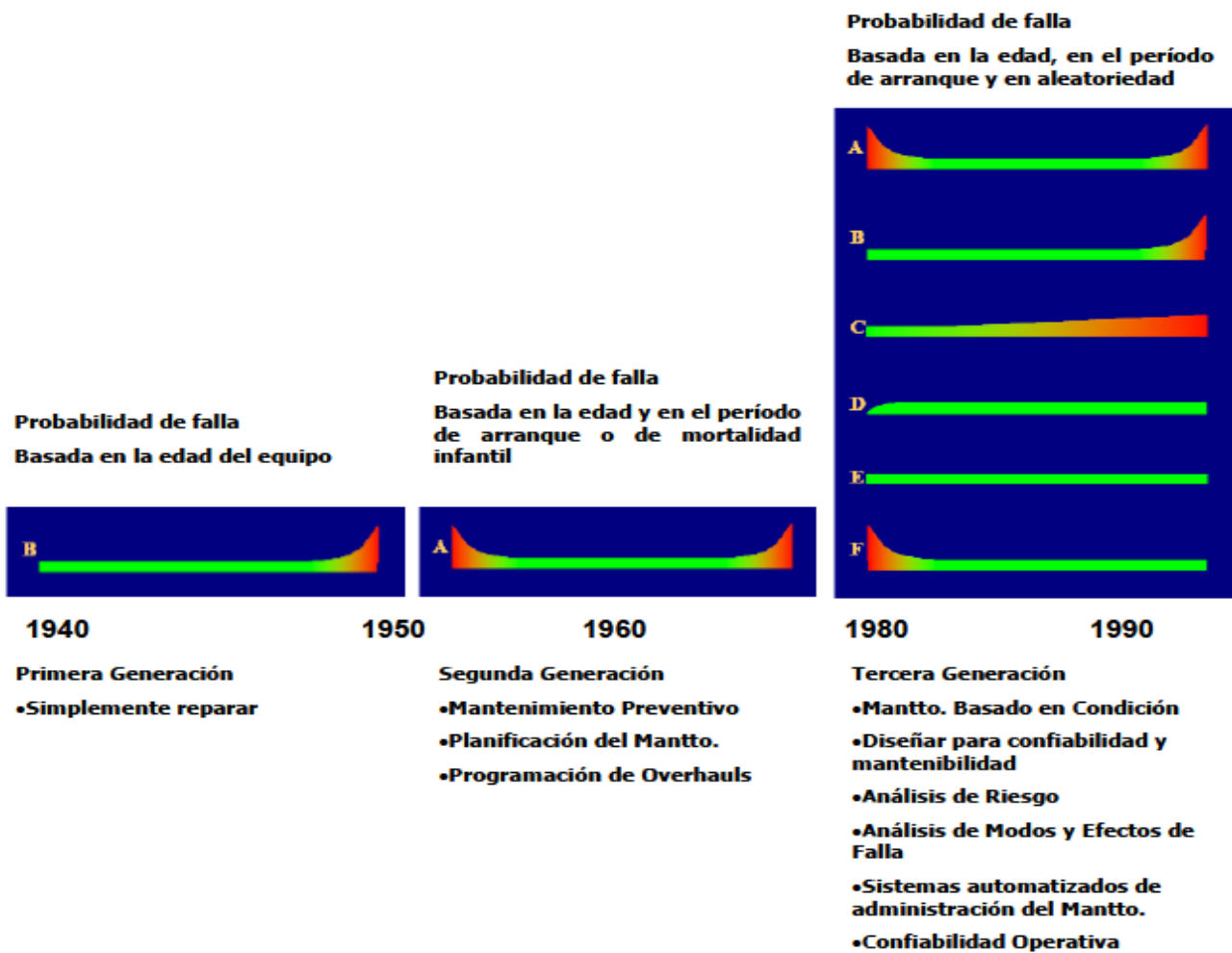
ANEXO CAPITULO 6



⁵¹ Figura 6.2-A Grafica de falla

Fuente: Contreras, José, 2011 Filosofía del RCM

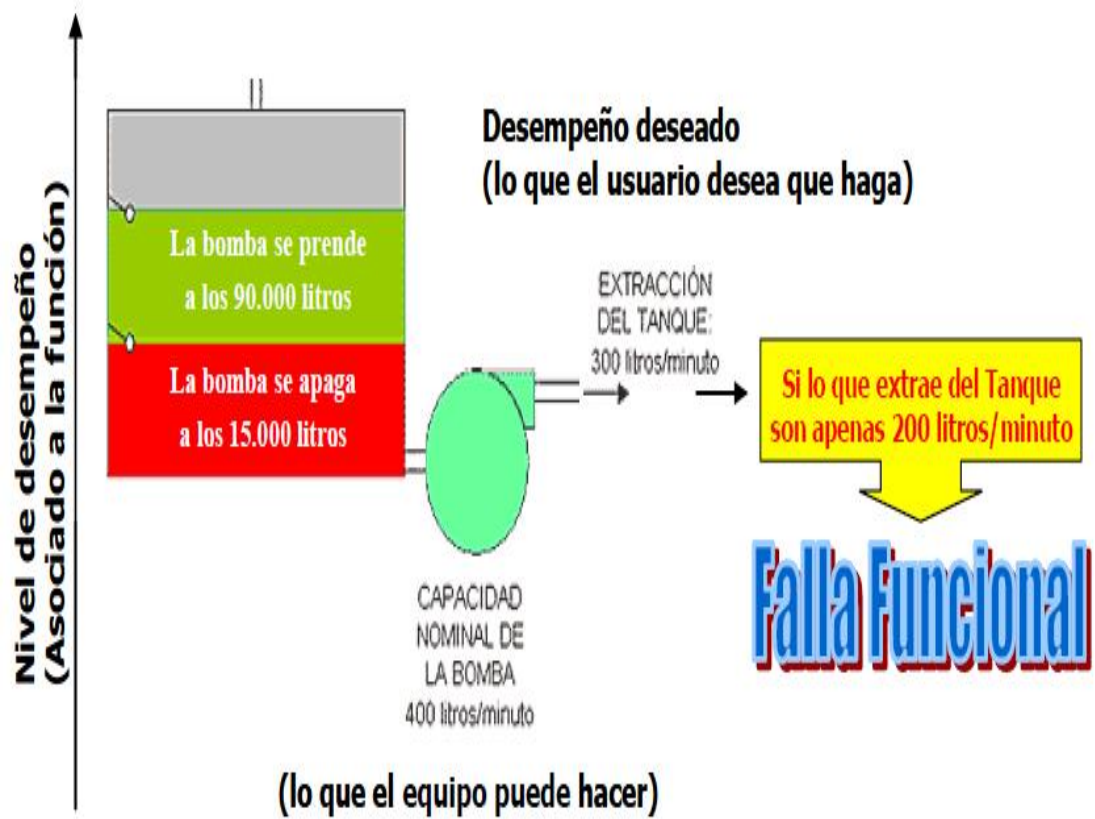
⁵¹ Grafica de falla, (Contreras 2011)



⁵²Figura 6.2.-B Patrones de fallas

Fuente: Contreras, José, 2011 Filosofía del RCM

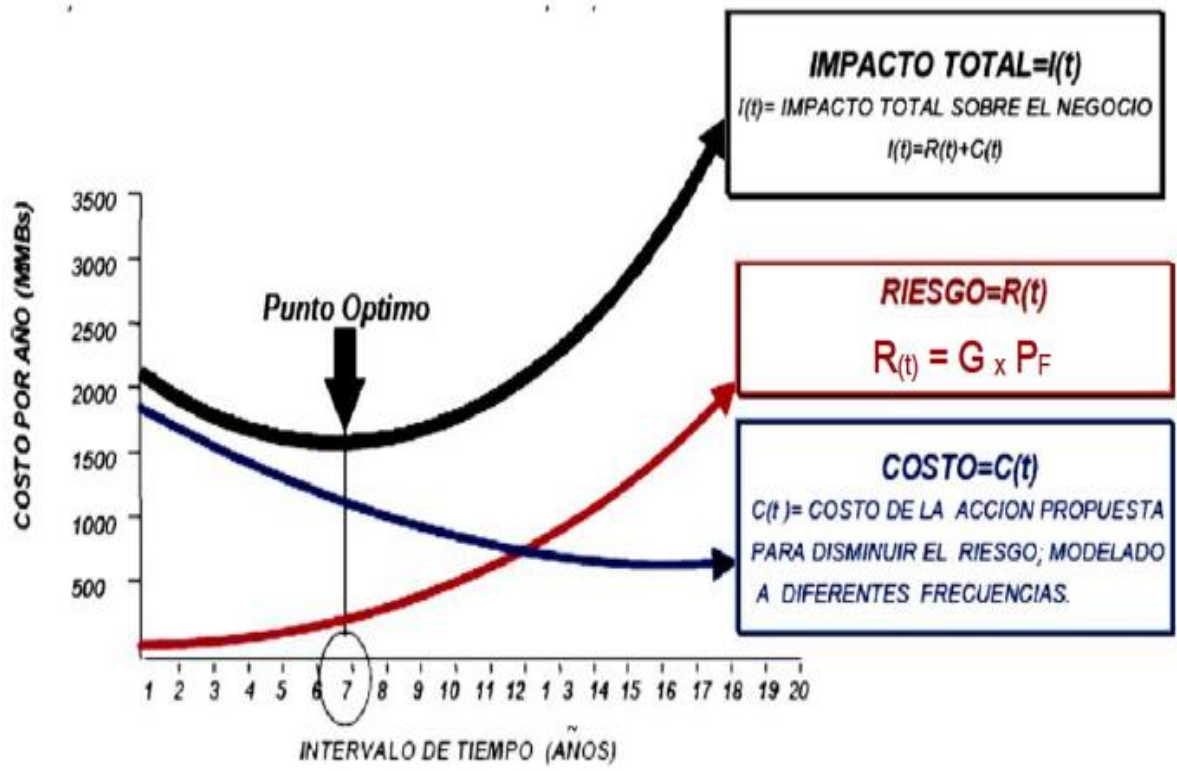
⁵² Patrones de fallas, (Contreras 2011)



⁵³Figura 6.3 Falla funcional

Fuente: Contreras, José, 2011 Filosofía del RCM

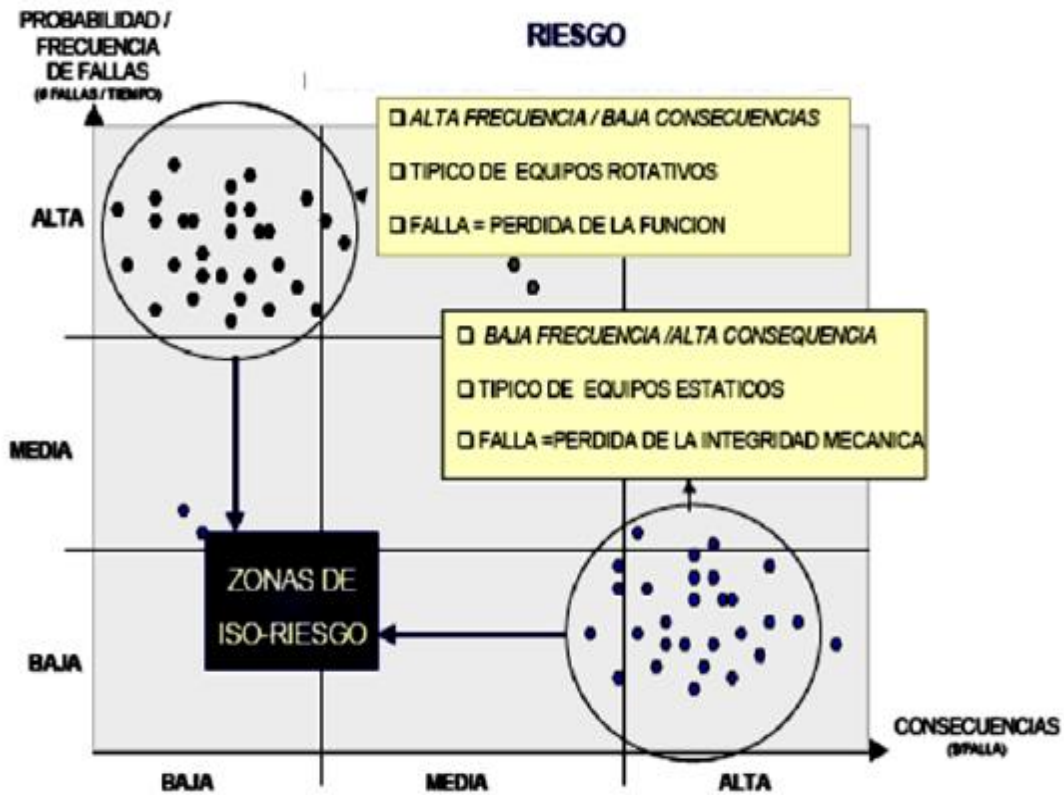
⁵³Falla funcional, (Contreras 2011)



⁵⁴Figura 6.5-A Modelos de decision

Fuente: Contreras, José, 2011 Filosofía del RCM

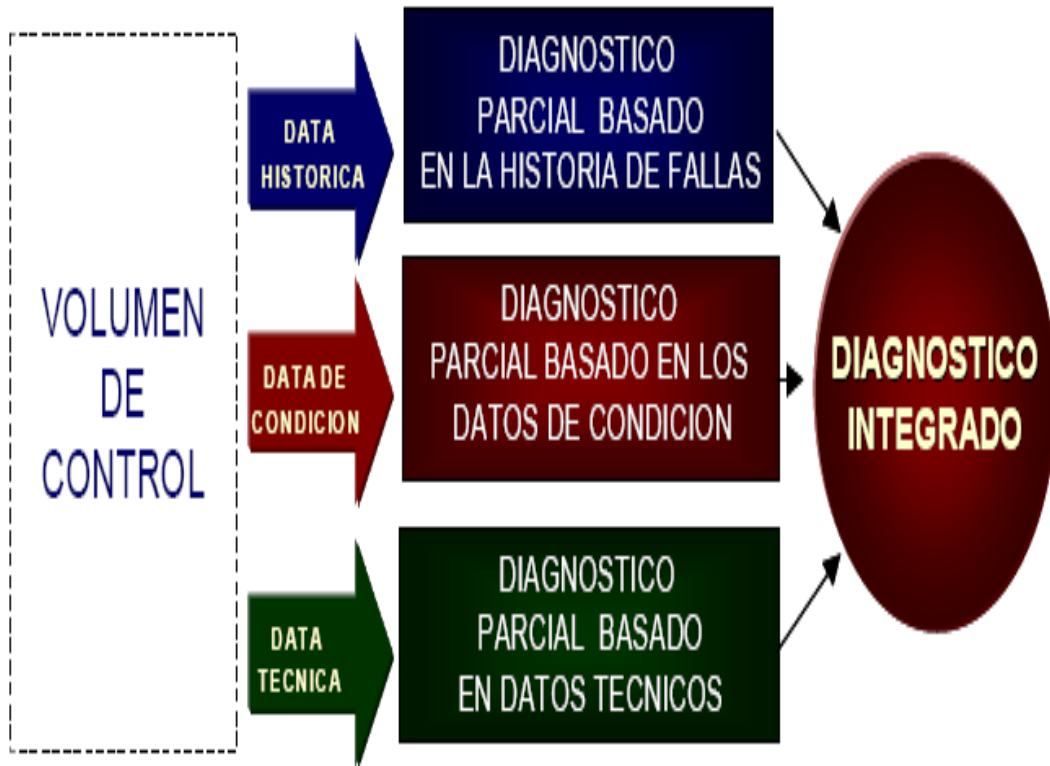
⁵⁴ Modelos de decisión, (Contreras 2011)



⁵⁵Figura 6.5-B Análisis de riesgos

Fuente: Contreras, José, 2011 Filosofía del RCM

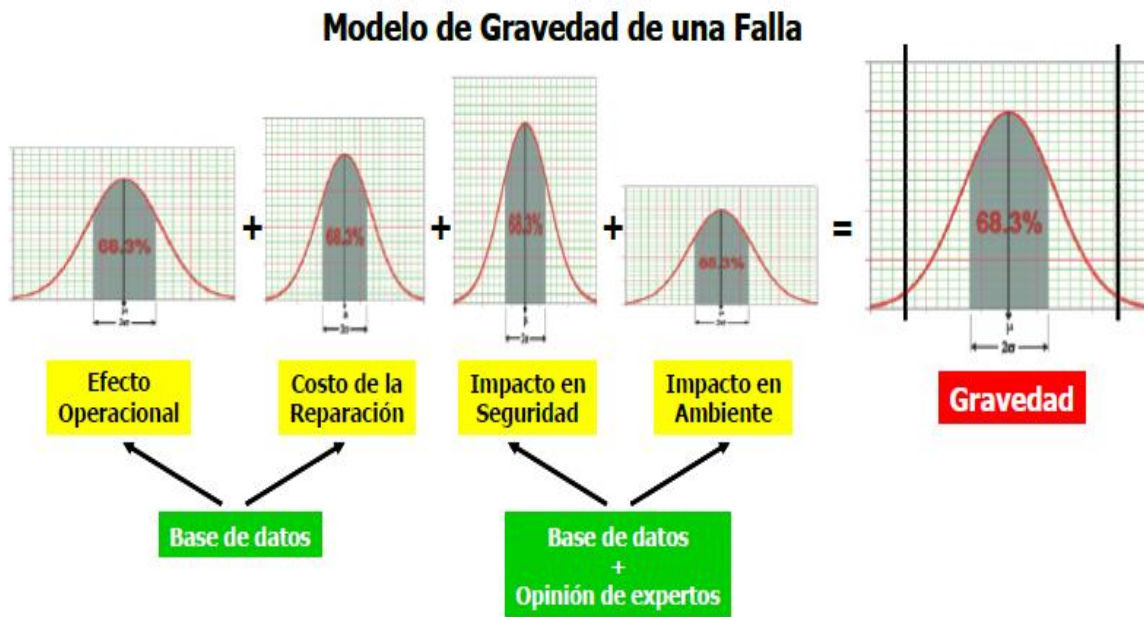
⁵⁵ Análisis de riesgos, (Contreras 2011)



⁵⁶Figura 6.5-C Diagnostico integrado

Fuente: Contreras, José, 2011 [Filosofía del RCM]

⁵⁶ Diagnostico integrado, (Contreras 2011)



⁵⁷Figura 6.5.2 Modelo de gravedad de fallas

Fuente: Contreras, José, 2011 Filosofía del RCM

⁵⁷ Modelo de gravedad de fallas, (Contreras 2011)



⁵⁸Figura 6.5.3 Cultura de la confiabilidad

Fuente: Contreras, José, 2011 Filosofía del RCM

⁵⁸ Cultura de la confiabilidad, (Contreras 2011)

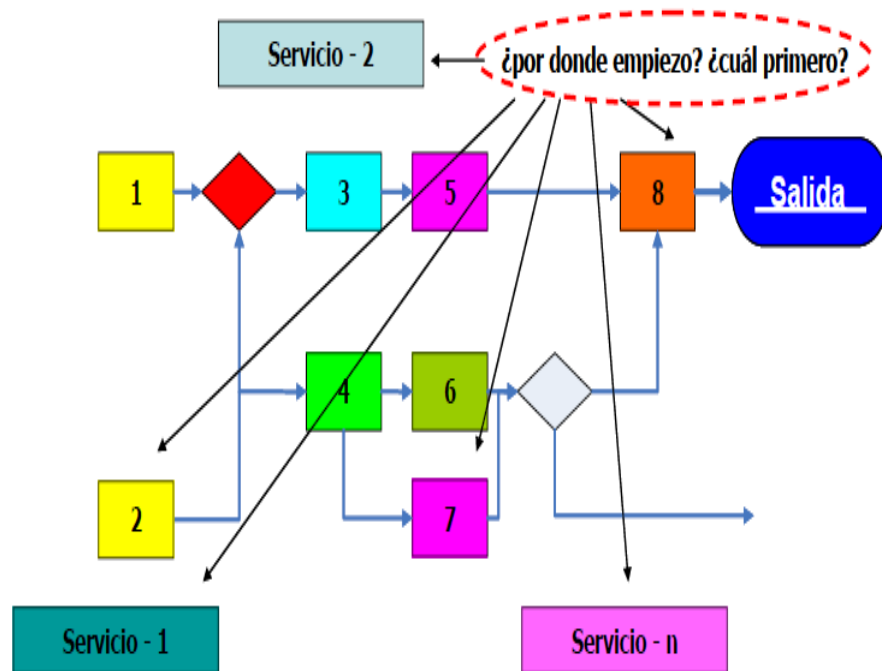


⁵⁹Figura 6.7 Árbol lógico de decisión RCM

Fuente: Contreras, José, 2011 Filosofía del RCM

⁵⁹ Árbol lógico de decisión RCM, (Contreras 2011)

ANEXO CAPITULO 7



⁶⁰Figura 7.1-A Diagrama de análisis de criticidad

Fuente: Contreras, José, 2011 Filosofía del RCM

⁶⁰ Diagrama de análisis de criticidad, (Contreras 2011)

1. GRAVEDAD (G=EO+CR+IS+IA)	
1.1 EFECTO OPERACIONAL (EO=IOxSERxTPPR)	
1,1,1 Impacto operacional (IO)	Puntaje
No afecta la producción	
Impacta la producción en menos del XX %	
Impacta la producción entre el XX % y el XX %	
Impacta más del XX % de la producción	
1.1.2 SISTEMAS O EQUIPOS DE RESPALDO (SER)	Puntaje
Equipos o sistemas actúan en automático al detectar la falla	
Equipos o sistemas de respaldo disponibles	
Hay sistema de respaldo compartido	
No existe opción de respaldo	
1.1.3 TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (TPPR)	Puntaje
Menos de U horas	
Entre U y menos de W horas	
Entre W y menos de X horas	
Entre X y menos de Y horas	
Entre Y y menos de Z horas	
Más de Z horas	
1.2 COSTO DE LA REPARACIÓN (CR)	Puntaje
Menos de W USD	
Entre W y menos de X USD	
Entre X y menos de Y USD	
Entre Y y menos de Z USD	
Más de Z USD	
1.3 IMPACTO EN SEGURIDAD (IS)	Puntaje
No hay efecto sobre el personal o las instalaciones	
Heridas Leves	
Heridas Graves con incapacidad temporal	
Incapacidad Permanente	
Muerte	
1.4 IMPACTO AMBIENTAL (IA)	Puntaje
No hay ningún tipo de impacto ambiental o sobre terceros	
Poco daño al ambiente o a terceros	
Puede ser percibido por terceros y se considera efecto ambiental	
Daño ambiental que genera multa	
Daño ambiental que genera cierre	

⁶¹Tabla 7.1-B Formato de análisis de gravedad

Fuente: Contreras, José, 2011 Filosofía del RCM

⁶¹ Formato análisis de gravedad, (Contreras 2011)

2. OCURRENCIA (O) (Rata de Ocurrencia expresada en veces por año)	Puntaje
No hay registro de ocurrencia	1
Menos de S veces por año	2
Entre S y T vez por año	3
Entre T y U veces por año	4
Entre U y V veces por año	5
Entre V y W veces por año	6
Entre W y X veces por año	7
Entre X y Y veces por año	8
Entre Y y Z veces por año	9
Más de Z veces por año	10

⁶²Tabla 7.1-C Formato de ocurrencia

Fuente: Contreras, José, 2011 Filosofía del RCM

⁶² Formato de ocurrencia, (Contreras 2011)

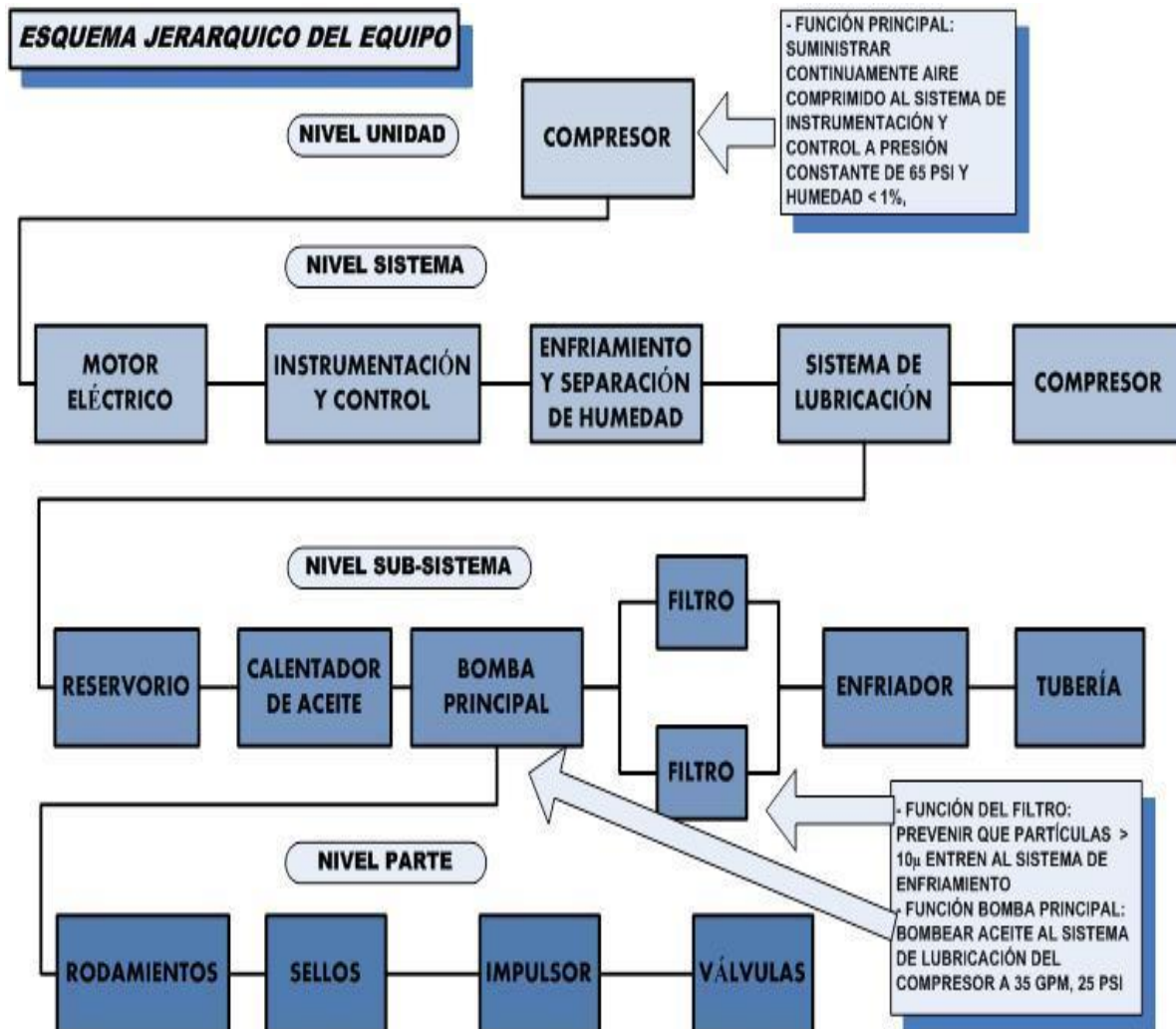
Matriz de Criticidad

O c u r r e n c i a	10	MC	MC	AC	AC	AC
	8	MC	MC	MC	AC	AC
	6	BC	BC	MC	MC	AC
	4	BC	BC	BC	MC	AC
	2	BC	BC	BC	MC	AC
		2	4	6	8	10
		Gravedad				

⁶³Tabla 7.1-D matriz de criticidad de fallas

Fuente: Contreras, José, 2011 Filosofía del RCM

⁶³ Matriz de criticidad de fallas, (Contreras 2011)



⁶⁴Figura 7.2 Esquema jerárquico del equipo

Fuente: Contreras, José, 2011 Filosofía del RCM

⁶⁴ Esquema jerárquico del equipo, (Contreras 2011)

Código	Clase descripción	Función
Ce	Motor a combustión	Impulsar
Co	Compresor	Comprimir
Cl	Unidad lógica de control	Controlar

⁶⁵Tabla 7.2.1 Clase descripción y función de elementos

Fuente: Contreras, José, 2011 [Filosofía del RCM]

⁶⁵ Clase descripción y función de elementos, (Contreras 2011)

Clase		Tipo equipo		Aplicación	
PU	Bomba	RO	Bomba rotativa	Extinción de incendios con agua	FF
		RE	Bomba alternativa	Inyección de agua	WI
		CE	Bomba centrífuga	Manipulación de petróleo	OH

⁶⁶Tabla 7.2.2 Tipo de equipo y aplicación

Fuente: Contreras, José, 2011 Filosofía del RCM

⁶⁶ Tipo de equipo y aplicación, (Contreras 2011)

Clase	Pu - bombas				
Subsistema	Transmisión	Unidad de bombeo	Control y monitoreo	Sistema lubricación	Misceláneos
Ítems mantenibles					
1	Caja reduc.	Fundación	Control	Reservorio	Purga aire
2	Motor	Voluta	actuación	Bomba lube	Otros
3	Rodamientos	Impulsor	Monitoreo	Filtro	Bridas
4	Acop. caja	Pistón		Enfriador	Enfriador
5	Lubricante	Diafragma	alimentación	Válvulas	Calentador
6	Sello	Cilindro lin.		Cañerías	Filtro
7	Acop. Motor			Aceite	Filtro
8		Eje		Control temp.	Amortiguador
9		Cojinete rad.			Bridas
10		Cojinete ax.			
11		Sello			
12		Cañerías			
13		Válvulas			

⁶⁷Tabla 7.2.3 Subsistemas

Fuente: Contreras, José, 2011 Filosofía del RCM

⁶⁷ Subsistemas, (Contreras 2011)



⁶⁸Figura 7.2.5 Análisis de subsistemas

Fuente: Contreras, José, 2011 [Filosofía del RCM]

⁶⁸ Análisis de subsistemas, (Contreras 2011)



⁶⁹Figura 7.3 Equipos de trabajo RCM

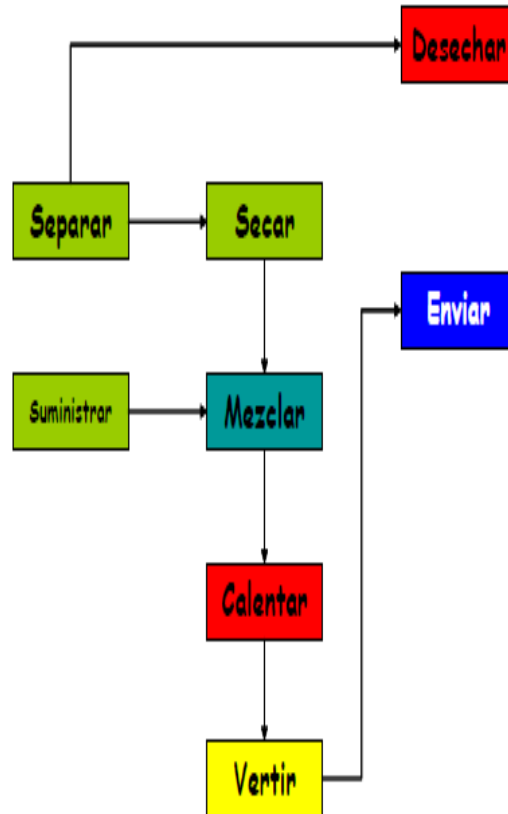
Fuente: Contreras, José, 2011 □ Filosofía del RCM □

⁶⁹ Equipos de trabajo RCM, (Contreras 2011)

ANEXOS CAPITULO 8

La descripción de una función debe consistir de un verbo, un objeto y un parámetro de funcionamiento deseado (cuantificado en cada caso en que se pueda hacer).

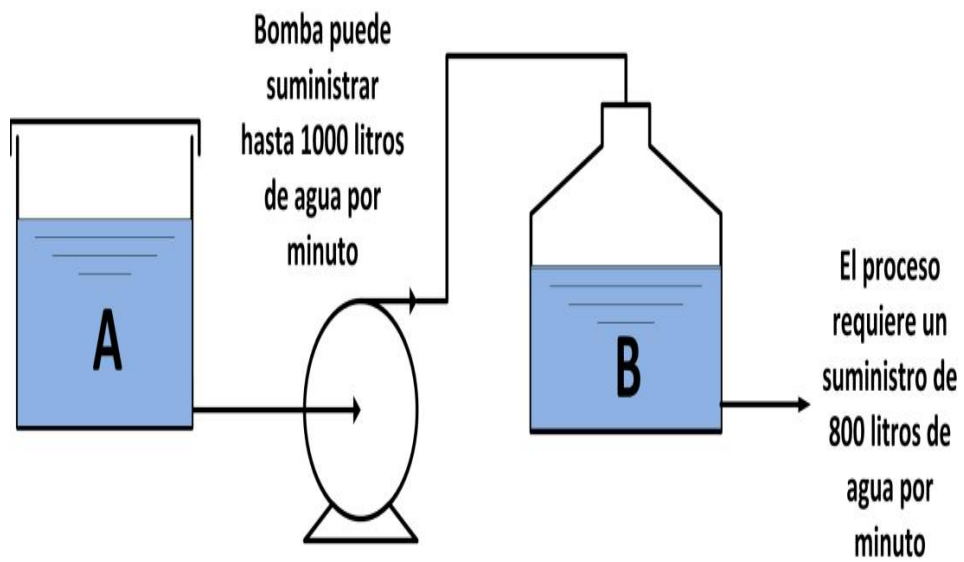
Diagrama Funcional (Debe mostrar lo que se hace y su secuencia)



⁷⁰Figura 8.1.1-A Diagrama funcional

Fuente: Contreras, José, 2011 □Implantación del RCM□

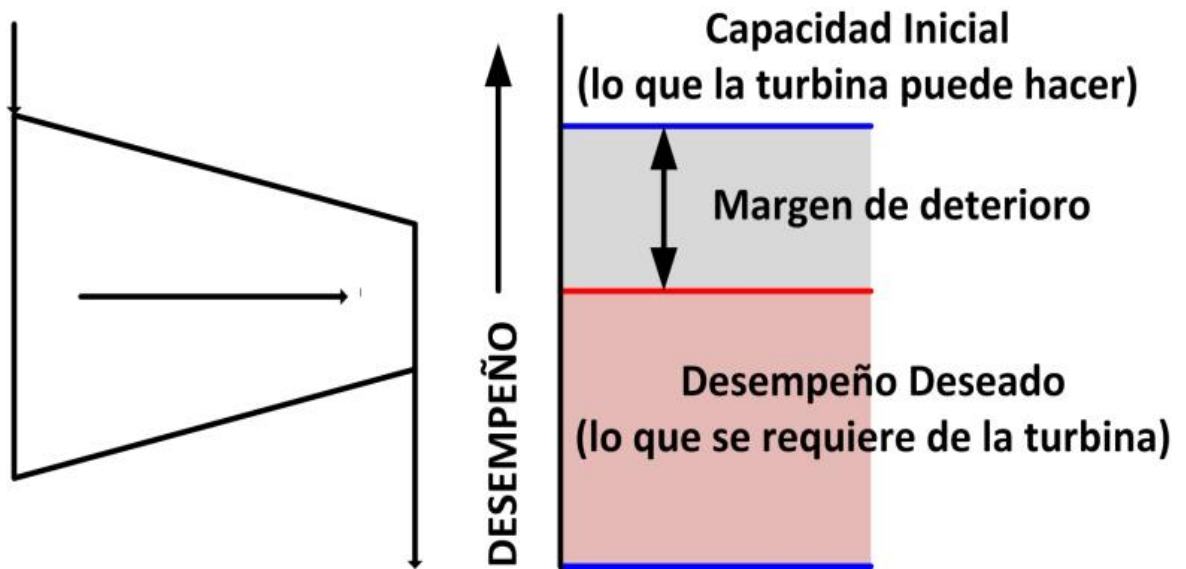
⁷⁰ Diagrama funcional, (Contreras 2011)



⁷¹Figura 8.1.1-B Funciones primarias y secundarias

Fuente: Contreras, José, 2011 □Implantación del RCM□

⁷¹ Funciones primarias y secundarias, (Contreras 2011)



⁷²Figura 8.1.1-C Margen de deterioro

Fuente: Contreras, José, 2011 □Implantación del RCM□

⁷² Margen de deterioro, (Contreras 2011)

Funciones		Falla Funcional	
A	Conducir sin restricciones todos los gases calientes de escape de la turbina hasta un punto fijado a 10 metros encima del techo de la sala de turbinas	1	Escape totalmente bloqueado
		2	Flujo de gas restringido
		3	No todo el gas alcanza al final del escape
		4	El gas no alcanza un punto a 10 metros por encima del techo
B	Reducir el nivel de ruido del escape a la norma ISO Noise Rating 30 hasta 50 mt.	1	El nivel de ruido excede la norma ISO Noise Rating 30 a 50 metros
C	Asegurar que la temperatura en la superficie del ducto en el interior de la sala de turbinas no supere los 60 °C	1	Permite que la temperatura de la superficie del escape en el interior del edificio exceda de 60 °C
D	Transmitir una señal de advertencia al centro de control si la temperatura de los gases de escape supera los 475 °C y una señal de parada si superan los 500 °C en un punto a 4 metros de la turbina	1	No es capaz de transmitir una señal de alarma si la temperatura excede 475 °C
		2	No es capaz de transmitir una señal de parada si la temperatura excede 500 °C
E	Permitir el libre movimiento del ducto debido a las dilataciones causadas por los campos de temperatura	1	No permite el libre movimiento del ducto

⁷³Tabla 8.2.2 Funciones y fallas funcionales

Fuente: Contreras, José, 2011 □Implantación del RCM□

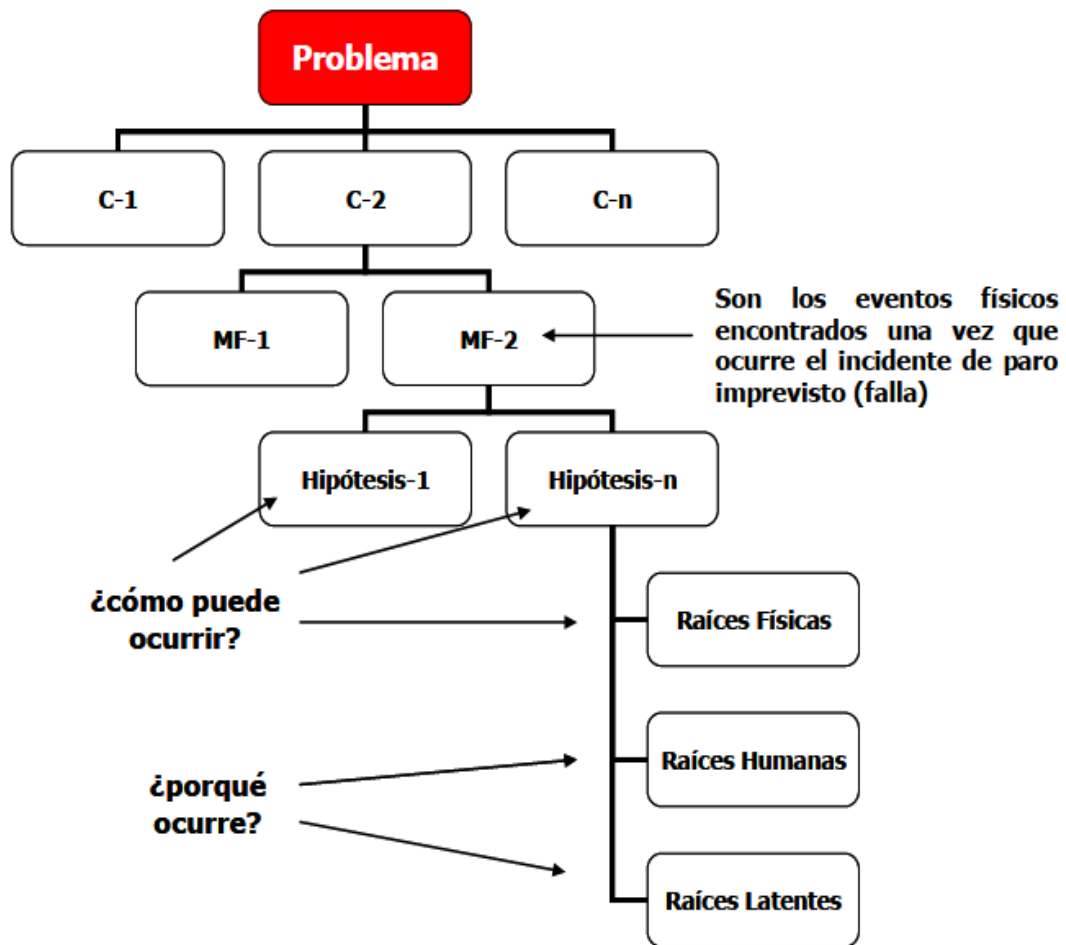
⁷³ Funciones y fallas funcionales, (Contreras 2011)

Funciones		Fallas Funcionales	Modos de Falla (lo que causa la falla)		
A	Trasferir agua desde el tanque A al tanque B a no menos de 800 LPM	1	Incapaz de transferir agua	a	Los rodamientos de trancaron
				b	El impulsor se soltó
				c	El impulsor se traba con un cuerpo extraño
				d	El acople se rompe
				e	El motor se quema
				f	Válvula de entrada se traba en posición cerrada
		2	Transferir menos de 800 LPM	a	Impulsor gastado
				b	Línea de succión parcialmente bloqueada

⁷⁴Tabla 8.3.1 Funciones, fallas funcionales y modos de fallas

Fuente: Contreras, José, 2011 □Implantación del RCM□

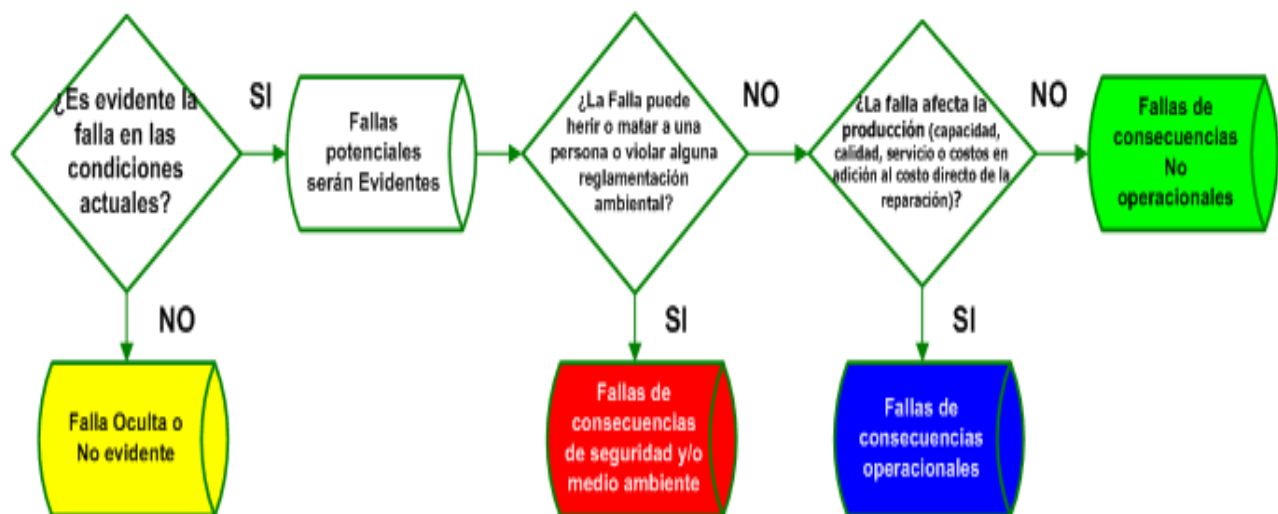
⁷⁴ Funciones, fallas funcionales y modos de fallas, (Contreras 2011)



⁷⁶Figura 8.3.3.1 Diagrama del árbol ACR

Fuente: Contreras, José, 2011 □Implantación del RCM□

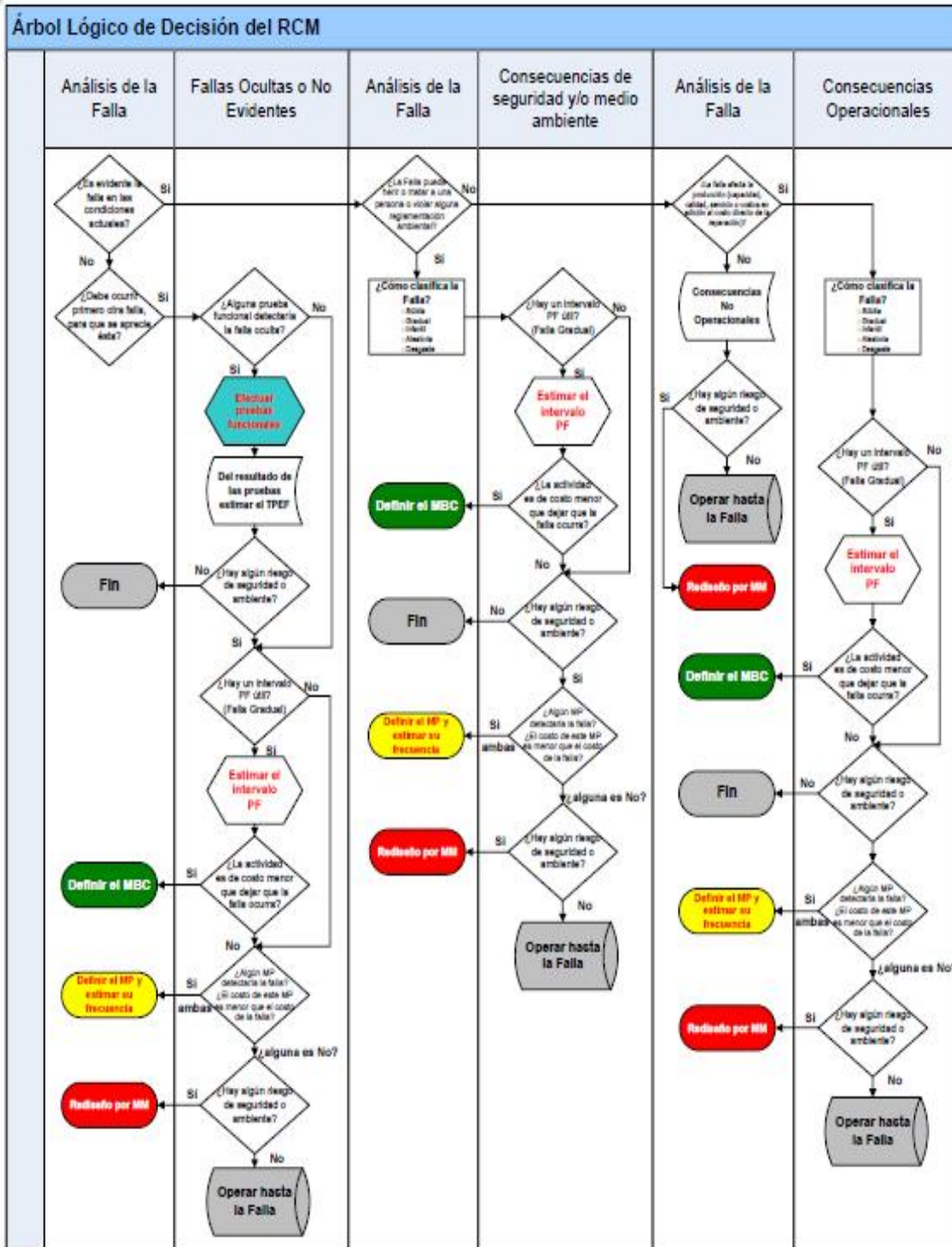
⁷⁶ Diagrama de árbol ACR, (Contreras 2011)



⁷⁷Figura 8.4-A Diferentes consecuencias de fallas

Fuente: Contreras, José, 2011 □Implantación del RCM□

⁷⁷ Diferentes consecuencias de fallas, (Contreras 2011)



78 Figura 8.4-B Árbol lógico de decisión de RCM

Fuente: Contreras, José, 2011 Implantación del RCM

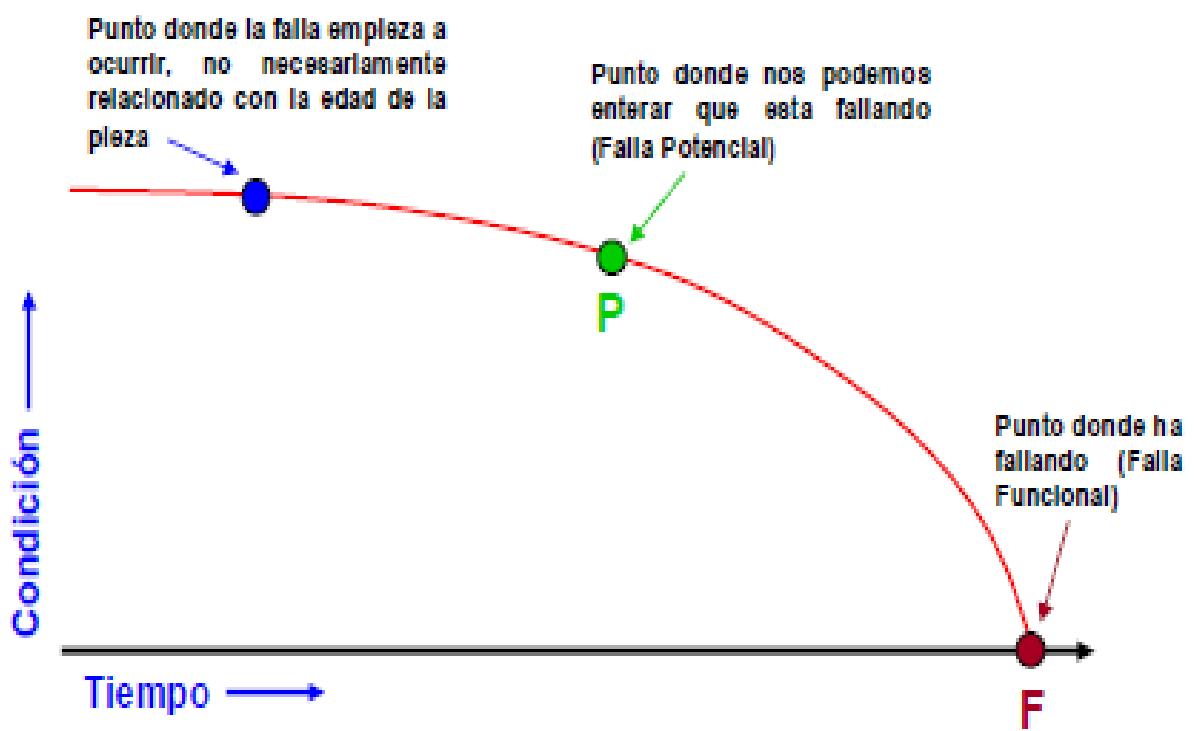
⁷⁸ Árbol lógico de decisión de RCM, (Contreras 2011)



⁷⁹Figura 8.5.2 Tareas predictivas

Fuente: Contreras, José, 2011 □Implantación del RCM□

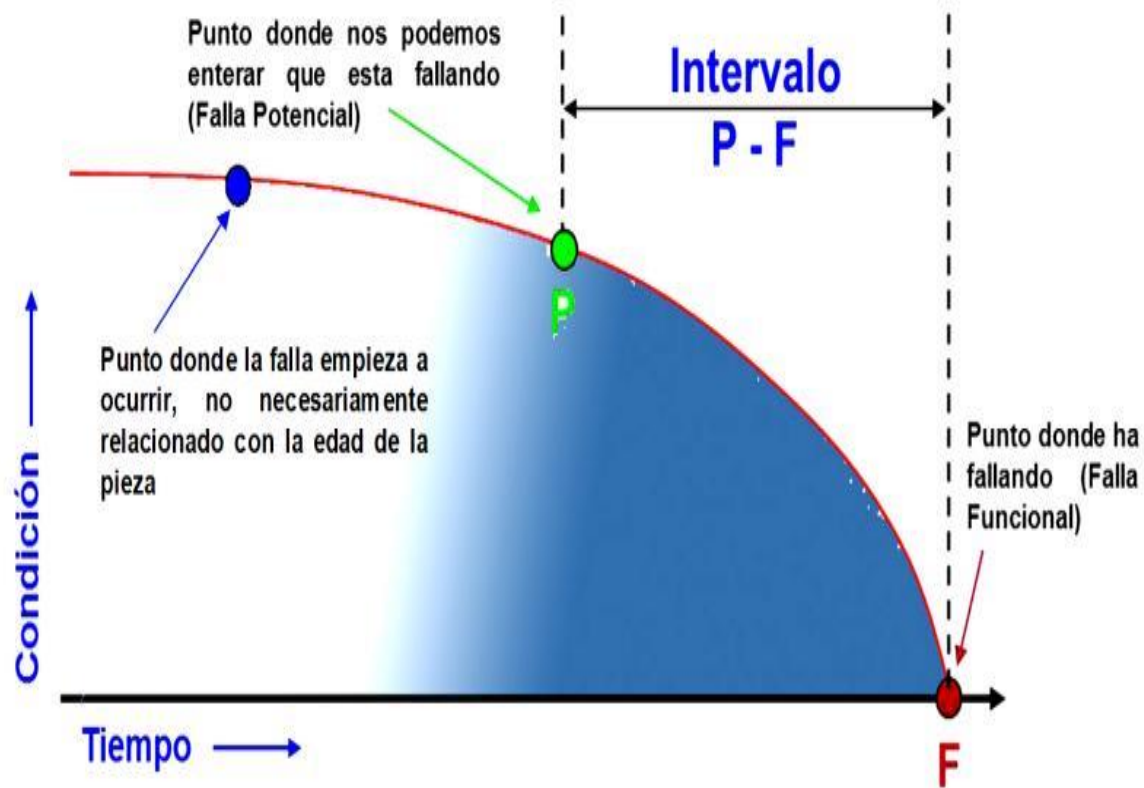
⁷⁹ Tareas predictivas, (Contreras 2011)



⁸⁰Figura 8.5.2.1 Curva P-F

Fuente: Contreras, José, 2011 Implantación del RCM

⁸⁰ Curva P-F, (Contreras 2011)

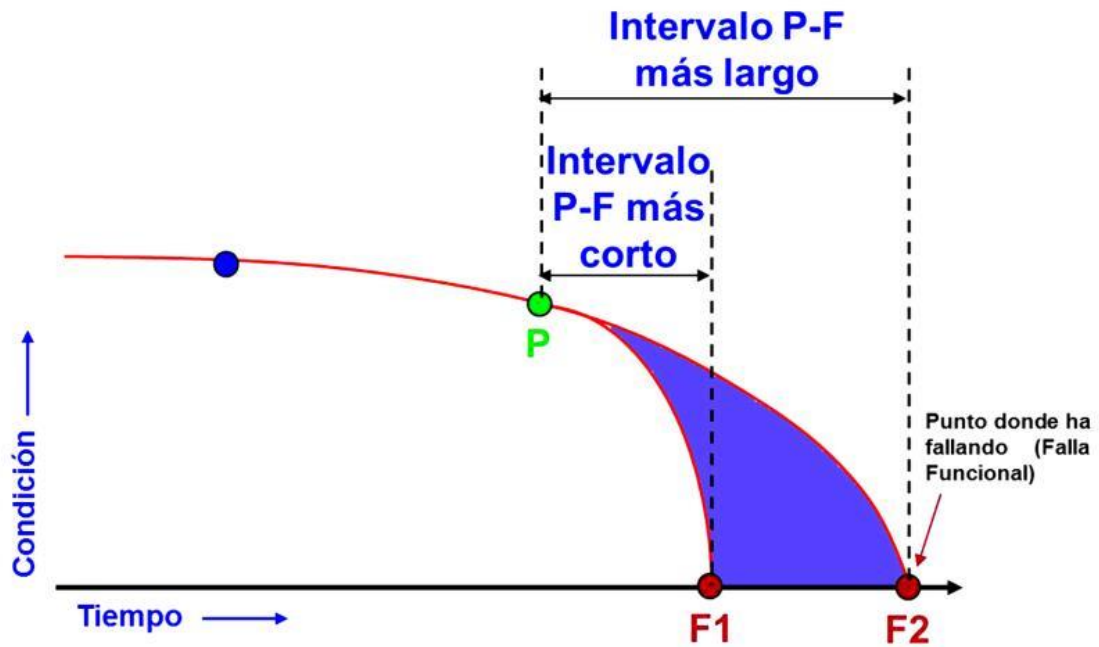


El intervalo P-F es el tiempo entre el momento en que ocurre una falla potencial y su decaimiento hasta convertirse en una falla funcional

⁸¹Figura 8.5.2.2-A El intervalo P-F

Fuente: Contreras, José, 2011 □Implantación del RCM□

⁸¹ El intervalo P-F, (Contreras 2011)



⁸²Figura 8.5.2.2-B Intervalo P-F largo y corto

Fuente: Contreras, José, 2011 Implantación del RCM

⁸² Intervalo P-F largo y corto, (Contreras 2011)



⁸³Figura 8.5.3-A Patrones de fallas

Fuente: Contreras, José, 2011 □ Implantación del RCM □

⁸³ Patrones de fallas, (Contreras 2011)

Análisis de Costo Riesgo Beneficio (ACRB)			
Caso:		Valor	
1	Frecuencia de Falla		Fallas / año
2	Costos de Mano de Obra		UM
3	Costos de Materiales		UM
4	Costos anuales por reparar (2+3) x (1)		UM / año
5	Impacto en la producción		UM / hora
6	Tiempo promedio para reparar		horas
7	Penalización (5x6)		UM
8	Penalización anual por fallas (7x1)		UM / año
9	Riesgo Total Anualizado (RTA) (4+8)		UM / año

⁸⁴Tabla 8.7.3 Formato de análisis de costo de riesgo beneficio

Fuente: Contreras, José, 2011 Implantación del RCM

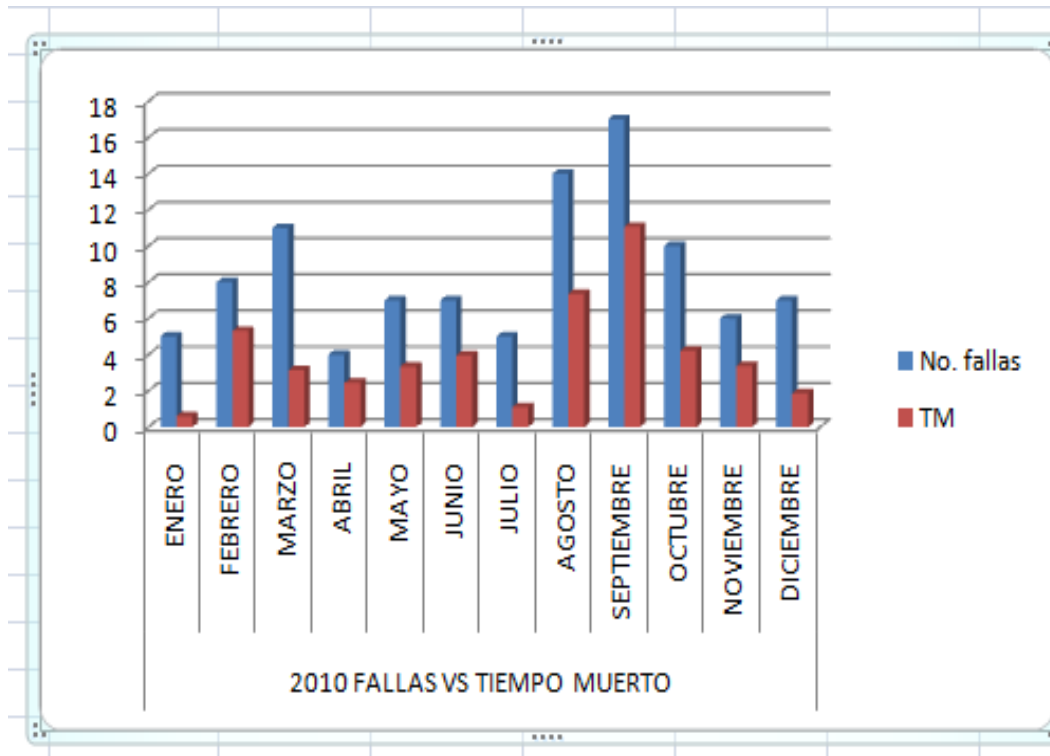
⁸⁴ Formato de análisis de costo de riesgo beneficio, (Contreras 2011)

ANEXOS PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2010 FALLAS VS TIEMPO MUERTO													
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBR	OCTUBRE	NOVIEMBR	DICIEMBRE	total
No. fallas	5	8	11	4	7	7	5	14	17	10	6	7	101
TM	0.6	5.32	3.14	2.45	3.35	3.95	1.1	7.37	11.07	4.22	3.37	1.86	47.8
2011 FALLAS VS TIEMPO MUERTO													
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBR	OCTUBRE	NOVIEMBR	DICIEMBRE	total
No. fallas	9	6	9	19	12	13	18	9	10	24	15	19	163
TM	4.17	1.5	2.47	5.58	11.52	3.02	6.55	4.75	3.03	9.62	7.06	5.27	64.54

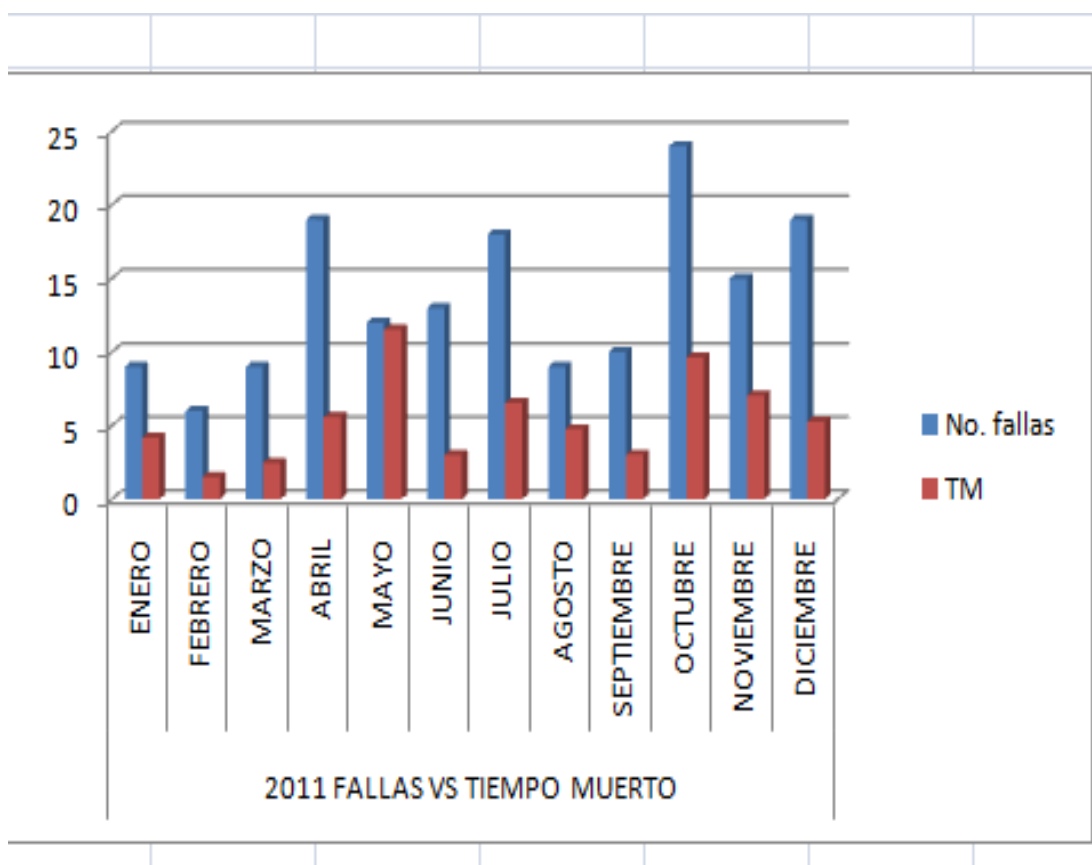
⁸⁵Tabla 10.1

⁸⁵ Historial de fallas y tiempos muertos 2010 y 2011 en grúas Quay crane



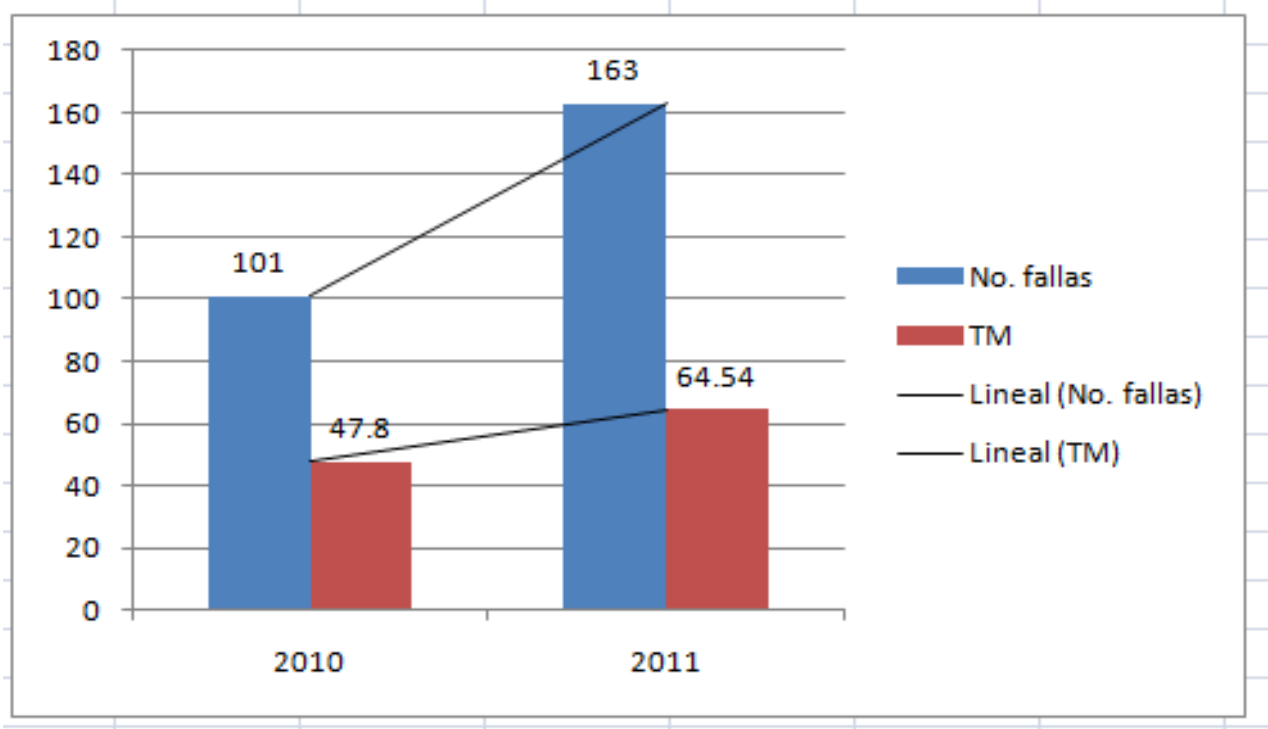
⁸⁶Figura 10.2

⁸⁶ Fallas y tiempos muertos mensuales 2010



⁸⁷ Figura 10.3

⁸⁷ Fallas y tiempos muertos mensuales 2011



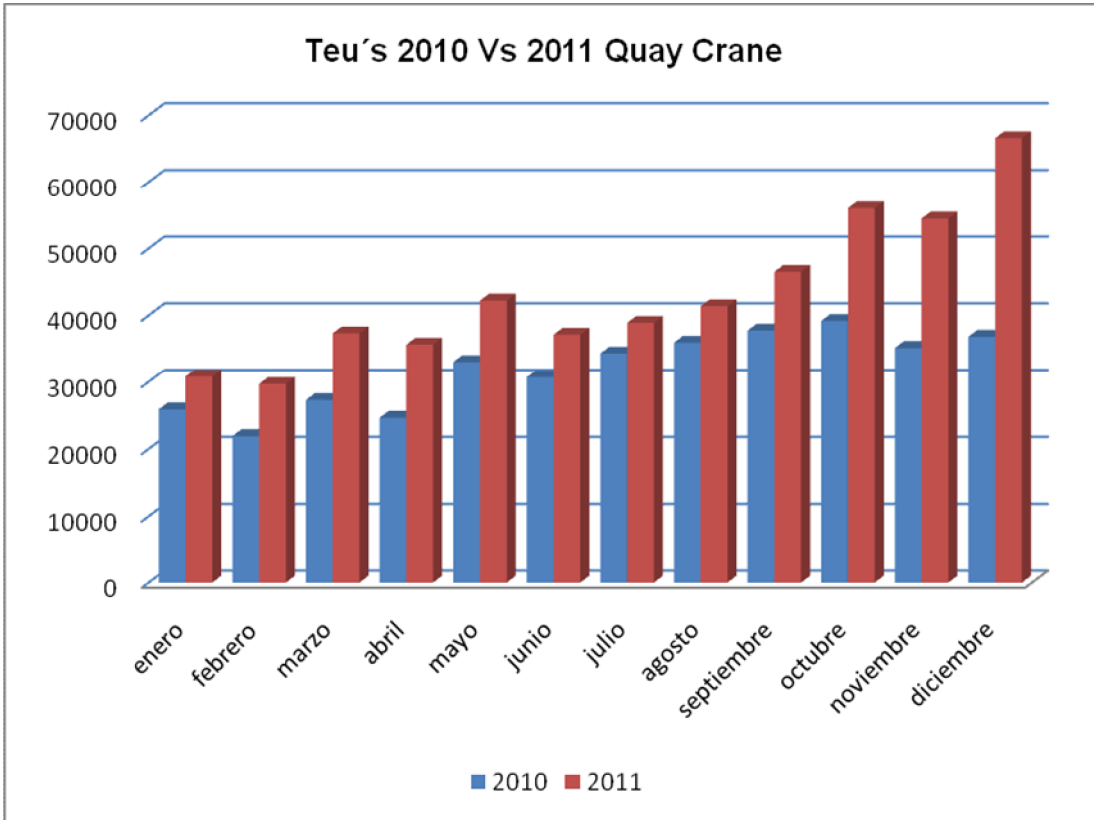
⁸⁸Figura 10.4

⁸⁸ Comparación de incrementos de fallas y tiempos muertos 2010 y 2011 en grúas Quay Crane

Teu's MOVIDOS POR QUAY CRANE

año	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total	No. Qc
2010	25872	21904	27279	24624	32999	30683	34278	35914	37731	39171	35114	36811	382380	4
2011	30811	29690	37315	35622	42205	37115	38891	41372	46510	56047	54472	66592	516642	6

año	Total
2010	382380
2011	516642



⁸⁹Figura 11

⁸⁹ Incremento de 35.1% en movimiento de teu's 2010 Vs 2011.