

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN – REY BALBUINO DE BELGICA

**ANÁLISIS DE CRITICIDAD A GRÚA RUBBER TYRED GANTRY (RTG) EN
TERMINAL PACIFICO SUR DE VALPARAÍSO**

Trabajo de titulación para
optar al Título profesional
de Ingeniero de Ejecución
en Mecánica de Procesos y
Mantenimiento Industrial.

Alumno:

Carlos Salvador Ogaz Piñol

Profesor Guía:

Eduardo Andrés Aracena
Cuéllar

AGRADECIMIENTOS.

Quiero agradecer primeramente a la Universidad Técnica Federico Santa María por haberme aceptado a ser parte de ella, como también a los diferentes docentes que me brindaron sus conocimientos durante toda mi carrera universitaria.

Al profesional que brindo el sustento a mi proyecto, el Ing. Mauricio Abarca y el personal de mantenimiento por permitirme desarrollar este trabajo dentro de la empresa Terminal Pacifico Sur de Valparaíso.

Mis más considerables agradecimientos a mis Padres Arturo Salvador Ogaz Vallejos y María Mercedes Piñol Olivares, por ser los pilares fundamentales durante este largo proceso, su amor, confianza y apoyo incondicional.

A mis hijos Martin Andrés Ogaz Silva y León Ignacio Ogaz Tapia por ser los principales motivos para seguir adelante, su afecto, su cariño son los que completan mi felicidad.

Gracias.

Carlos Salvador Ogaz Piñol.

1. DEDICATORIA.

A mi familia por darme el apoyo, fortaleza y confianza para poder completar esta etapa de la mejor manera posible.

2. RESUMEN.

El presente trabajo realiza un análisis de criticidad a la grúa RTG Kalmar perteneciente al proceso de almacenamiento y carguío de la empresa Terminal Pacifico Sur Valparaíso.

Se realizo un levantamiento en terreno de la unidad operativa RTG con el fin de recopilar la información necesaria para estratificar la grúa RTG en sistemas y subsistemas, y así posteriormente realizar el análisis.

El análisis de criticidad se basa en el Modelo de Riesgo para determinar los sistemas y subsistemas críticos pertenecientes a la grúa RTG.

El modelo de riesgo analiza la criticidad de los equipos en base a frecuencia de fallas, impactos operacionales, flexibilidad de repuestos, costos de repuestos y mantenimiento e impactos de medio ambiente y seguridad.

En este caso de estudio aplicando la metodología los sistemas y subsistemas críticos determinados fueron: Spreader, Trolley, Hoist, Diesel, Estructura, Tambor, Bogie.

Se realizo un diagrama de Pareto a los sistemas en base a la frecuencia de fallas lo que dio como resultado que los sistemas que se llevan el 75.94 % de las fallas son el Spreader, Diesel y el Gantry, por lo cual, se puede corroborar que los sistemas Spreader y Diesel son críticos no así el Gantry ya que, a pesar de tener una alta frecuencia de fallas, este puede seguir operando cuando el sistema falle.

Se realizo un análisis de modos y efectos de falla a los dos sistemas de mayor criticidad el que nos permite determinar los posibles modos de fallas y sus efectos.

Este estudio permitirá orientar los planes de mantenimiento, logrando una gestión eficiente de los recursos.

3. ÍNDICE.

5. INTRODUCCIÓN	1
5.1 Introducción.	3
5.1.2 Planteamiento del problema.....	4
5.2 Objetivos.	5
5.3 Objetivo General.	5
5.4 Objetivos específicos.	5
5.5 Metodología.	6
6. DESARROLLO.	7
6.1 Marco Teórico.	9
6.2 Diseño de la solución.	12
6.3 Resultados.	13
6.3.1 Jerarquización de equipos Sistema y Subsistema	13
6.3.2 Identificación de los sistemas y subsistemas críticos.....	14
6.3.3 Análisis de diagrama de Pareto según frecuencia de falla	15
6.3.4 Análisis de modos y efectos de fallas	16
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	32
7.1 Conclusión	34
7.2 Recomendaciones.....	35
8. Bibliografía	36
9. ANEXOS.	38
A.1. Levantamiento de información de los procesos del terminal portuario	39
A.2. Selección del método	51
A.3. Establecimiento de criterios	52
A.4. Aplicación del procedimiento	52
A.5. Tabla de los resultados obtenidos por el modelo de riesgo aplicado a sistemas y subsistemas.....	53
A.6. Análisis de criticidad.....	56
A.7. Modelo de Riesgo	60
A.8. Criterios de evaluación.....	61
A.9. Análisis de Pareto.....	66
A.10. Análisis de modo y efecto de falla (FMEA o AMEF)	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Árbol de problemas enfocado a grúa RTG	4
Figura 2. Vista satelital TPS Valparaíso	9
Figura 3. Vista aérea TPS Valparaíso	10
Figura 4. Diagrama de flujo diseño de la solución.....	12
Figura 5. Diagrama de Pareto para frecuencia de fallas	16
Figura 6. Proceso del Terminal Portuario de contenedores	39
Figura 7. Ubicación de contenedores en patio del terminal	40
Figura 8. Vista Grúa RTG.....	42
Figura 9. Vista Perfil RTG	45
Figura 10. Vista frontal RTG	45
Figura 11. Bogie.....	46
Figura 12. Motor motriz	47
Figura 13. Mecanismo de desplazamiento del trolley.....	48
Figura 14. Mecanismo de elevación.....	49
Figura 15. Mecanismo de centrado	49
Figura 16. Spreader	50
Figura 17. Matriz de criticidad del sistema evaluado.....	53
Figura 18. Aspectos de la confiabilidad operacional	57
Figura 19. Modelo básico de criticidad.....	58
Figura 20. Matriz de criticidad por modelo de riesgo	64
Figura 21. Matriz de criticidad por riesgo.....	66
Figura 22. Flujograma de implementación de la técnica FMEA	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Dimensiones territoriales	10
Tabla 2. Sistema y subsistema RTG.....	13
Tabla 3. Presentación de los resultados Sistemas y subsistemas críticos.....	14
Tabla 4. Porcentajes y porcentajes acumulados según frecuencia de fallas.....	15
Tabla 5. Hoja de análisis de modos y efectos de falla Sistema Spreader.....	17
Tabla 6. Hoja de análisis de modos y efectos de falla Sistema Spreader-Motor twistlock	18
Tabla 7. Hoja de análisis de modos y efectos de falla Sistema Spreader-Cadena telescópico	19
Tabla 8. hoja de análisis de modos y efectos de falla Sistema Spreader-Cable eléctrico	20

Tabla 9. Hoja de análisis de modos y efectos de falla Sistema Spreader-Dispositivo de seguridad	21
Tabla 10. Hoja de análisis de modos y efectos de falla Sistema Spreader-Estructura.....	22
Tabla 11. Hoja de análisis de modos y efectos de falla Sistema Spreader-Sistema de control	23
Tabla 12. Hoja de análisis de modos y efectos de falla Sistema Spreader-Tablero de distribución.....	24
Tabla 13. Hoja de análisis de modos y efectos de falla Sistema Diesel-Alternador.....	25
Tabla 14. Hoja de análisis de modos y efectos de falla Sistema Diesel-Control y monitoreo	26
Tabla 15. Hoja de análisis de modos y efectos de falla Sistema Diesel-Sistema de alimentación de combustible.....	27
Tabla 16. Hoja de análisis de modos y efectos de falla Sistema Diesel-Sistema de enfriamiento	28
Tabla 17. Hoja de análisis de modos y efectos de falla Sistema Diesel-Sistema de lubricación.....	29
Tabla 18. Hoja de análisis de modos y efectos de falla Sistema Diesel-Sistema de partida	30
Tabla 19. Normalización de contenedores ISO.....	41
Tabla 20. Datos técnicos del motor.....	43
Tabla 21. Datos técnicos Generador-Motores motrices	44
Tabla 22. Factores ponderados a ser evaluados en los sistemas y subsistemas de la grúa RTG.....	52
Tabla 23. Puntaje final del Sistema Hoist	52
Tabla 24. Sistemas y Subsistemas evaluados mediante el modelo de riesgo	56
Tabla 25. Factores ponderados a ser evaluados por el modelo de riesgo	63

4. SIGLAS y SIMBOLOGIA.

RTG: Rubber Tyred Gantry (Pórtico con neumáticos de goma)

FMEA: Análisis de modos y efectos de fallas.

TPS: Terminal Pacifico Sur Valparaíso.

%: Porcentaje.

Hz: Hertz.

CC: Corriente continua.

CA: Corriente alterna

ISO: International Organization for Standardization (Organización Internacional para la Estandarización).

km: Kilómetros.

m²: Metros cuadrados.

m: Metros.

mm: Milímetros.

TEUs: Movimiento de contenedor de 20 pies.

PLC: Controlador lógico programable.

V: Volt.

rpm: Revoluciones por minuto.

KW: Kilo Watts.

5. INTRODUCCIÓN

5.1 Introducción.

El mantenimiento dentro de la industria ha sufrido una gran cantidad de cambios empujado por el desarrollo tecnológico de los equipos de control y de medida.

En sus inicios, el mantenimiento era visto solo como actividades correctivas para solucionar fallos, pero hoy en día existe una amplia lista de los diferentes tipos de mantenimientos.

El presente trabajo muestra un análisis de criticidad a la unidad operativa RTG, debido a la importancia que tienen estas grúas para la empresa TPS en el proceso de almacenamiento y carguío, y considerando que deben funcionar de manera continua dado su impacto directo en la productividad de la empresa.

Como parte de este análisis fue necesario realizar un levantamiento de información en terreno para lograr la caracterización del equipo.

Del análisis de criticidad se determinarán los sistemas y subsistemas que tienen mayor relevancia dentro del contexto operacional, identificando la falla funcional, sus modos de falla y la consecuencia que tendrán dentro del proceso productivo.

Este estudio permitirá conocer la criticidad de cada sistema para orientar el mantenimiento preventivo y proporcionar la ventaja de enfocar los recursos en aquellos sistemas y componentes que tengan mayor impacto en la organización y de una manera eficaz y eficiente.

5.1.2 Planteamiento del problema

El Terminal Pacifico Sur Valparaíso ubicado en la quinta región es esencialmente una empresa especializada en la transferencia de contenedores. En 17 años ha aumentado significativamente la transferencia de carga pasando de movilizar 206.000 TEUs en el año 2000, a más de 1.300.000 TEUs al año 2017. Para realizar la transferencia de estos contenedores se utilizan distintos tipos de grúas, unas de las principales encargadas de realizar este trabajo son las grúas Rubber Tyred Gantry (RTG), el Terminal cuenta con 15 de estas grúas, las que se encuentran en múltiples carriles dentro del Terminal, tienen la función de recibir y apilar contenedores para ser recogidos en un futuro por camiones de acarreo, son alimentadas por sistemas generadores Diesel y tienen que trabajar de manera continua.

El problema existente dentro del departamento de confiabilidad en el área de mantenimiento de la empresa Terminal Pacifico Sur Valparaíso con respecto a la unidad operativa RTG es que solo cuentan con las pautas del fabricante como mantenimiento preventivo, no existe una documentación respaldada con herramientas de ingeniería para los equipos críticos de la grúa RTG. Lo que genera baja confiabilidad, desequilibrio de recursos y pérdidas de producción.

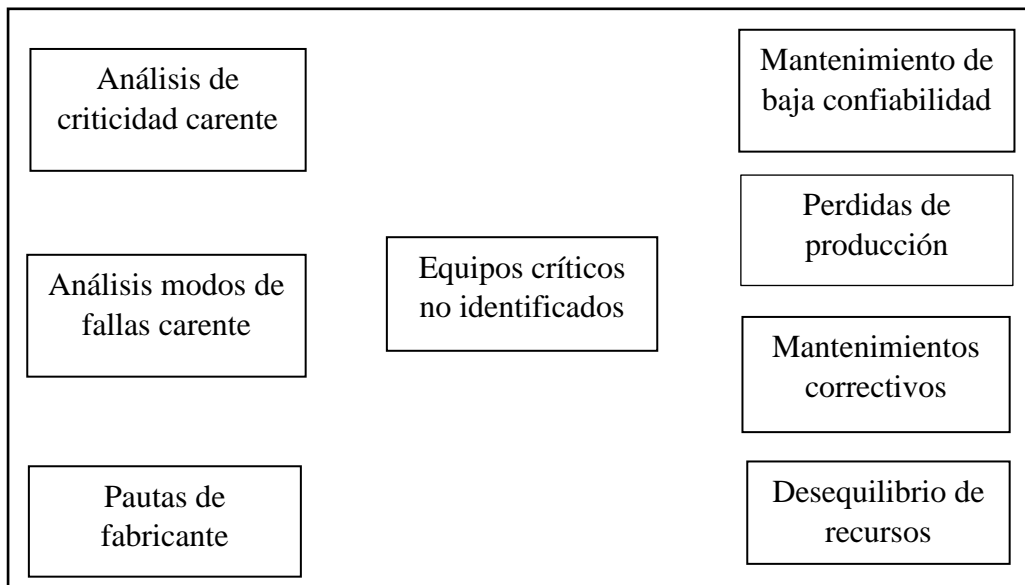


Figura 1. Árbol de problemas enfocado a grúa RTG

Fuente: Elaboración propia

Esta investigación identificara los equipos críticos de la unidad operativa RTG, para así poder priorizar los recursos y disminuir los mantenimientos correctivos. Generando una referencia de comparación y orientando un mantenimiento basado en confiabilidad asegurando que los equipos RTG continúen en constante funcionamiento.

5.2 Objetivos.

5.3 Objetivo General.

Analizar la criticidad de la grúa Rubber Tyred Gantry (RTG) del Terminal Pacifico Sur de Valparaíso, para identificar los componentes críticos de la grúa.

5.4 Objetivos específicos.

- a) Caracterizar la unidad operativa Rubber Tyred Gantry (RTG).
- b) Analizar la criticidad de los sistemas y subsistemas de la grúa Rubber Tyred Gantry (RTG) mediante el modelo de riesgo.
- c) Realizar análisis de modos y efecto de falla para los equipos de mayor criticidad de la grúa Rubber Tyred Gantry (RTG).

5.5 Metodología.

Objetivo específico a

- Realización del levantamiento de información.
- Identificación de los sistemas y subsistemas.

Objetivo específico b

- Selección del Método.
- Establecimiento de criterios.
- Aplicación del procedimiento.
- Identificación de los sistemas y subsistemas críticos.
- Realización de diagrama de Pareto para comparar los equipos críticos obtenidos.

Objetivo específico c

- Identificación de la función del sistema, fallas funcionales, modos y efectos de fallas.
- Obtención de hoja de análisis de fallas.

6. DESARROLLO.

6.1 Marco Teórico.

El Terminal Pacífico Sur de Valparaíso S.A., está localizado en Antonio Varas N°2, Piso 3, Valparaíso, Región de Valparaíso, el puerto está ubicado en la zona central de Chile, localizado a 110 km al noroeste de la capital del país, Santiago. La empresa está presente en la zona desde el 25 de octubre de 1999.

Sus principales servicios incluyen actividades de muellaje, estiba y desestiba, almacenamiento, consolidación y desconsolidación de carga seca y refrigerada.

Debido a su ubicación, el puerto de Valparaíso es fundamental y clave en la entrega de servicios, ya que la zona central concentra más de 50% de la población y actividad económica del país.

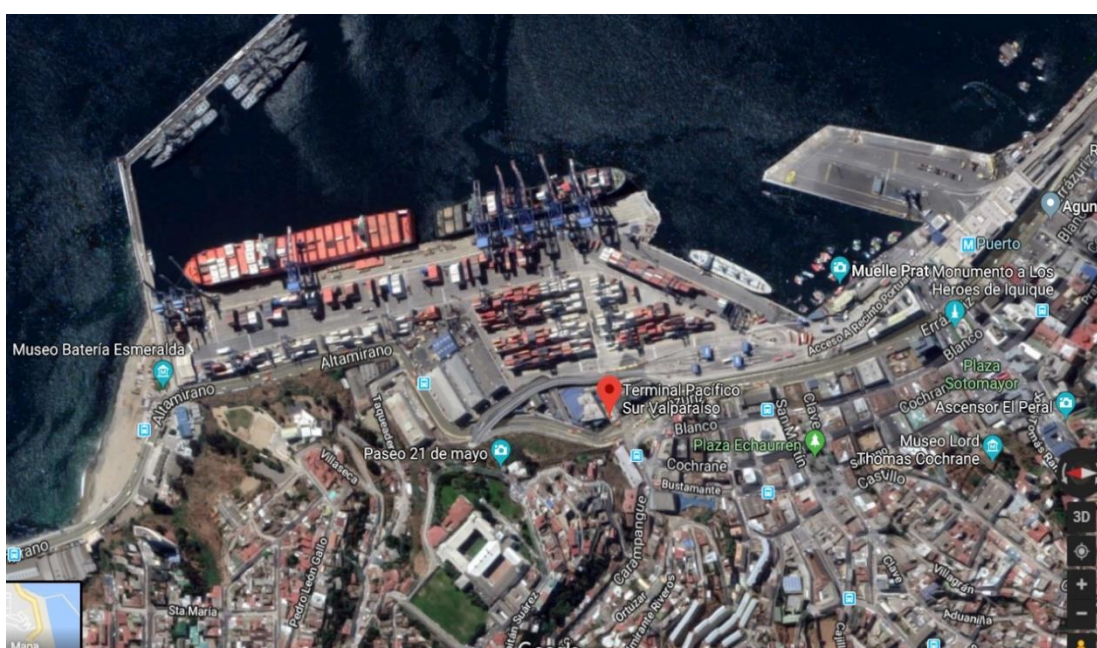


Figura 2. Vista satelital TPS Valparaíso

Fuente: Google Maps

Valparaíso es el puerto más cercano de la costa oeste de Chile al paso Libertadores, a solo 204 km, la cual es la principal ruta de comunicación vial a través de la Cordillera de los Andes entre Chile y Argentina. Esta característica se vincula directamente al atractivo mercado de MELCOSUR, constituyéndose en un punto de entrada y salida de cargas desde y hacia la cuenca del Pacífico.

Terminal Pacífico Sur Valparaíso S.A. cuenta con un frente de atraque de 1006 metros y un calado máximo autorizado de 13.8 metros, características que le permiten atender simultáneamente 2 naves super post panamax en el frente 1 y otra nave de carga general en el sitio 5; cuenta con un área total de 150.000m² destinada al almacenamiento de contenedores.

Características de los sitios:

Sitio	Largo Total	Profundidad	Calado autorizado
Sitio 1, 2 y 3	740m	14.5m	13.8m
Sitio 5	266m	10m	9.4m

Tabla 1. Dimensiones territoriales

Fuente: TPS Valparaíso



Figura 3. Vista aérea TPS Valparaíso

Fuente: TPS Valparaíso

TPS Valparaíso ha logrado un aumento significativo en la transferencia de carga pasando de movilizar 3.2 millones de toneladas en el año 2000, a 20.2 millones de toneladas en 2017. Expresada en TEUs, esta evolución fue de 206.000 unidades en el 2000 a 1.300.000 en 2017.

Este estudio abordará un análisis de criticidad de las grúas RTG, que son un equipo fundamental dentro de los puertos más eficientes del mundo, dada la alta producción y máxima exigencia que generan en el almacenamiento, recepción y entrega de contenedores vía terrestre en el Terminal Pacifico Sur de Valparaíso.

Los terminales de contenedores constituyen un punto estratégico para el desarrollo de los países ya que la mayor parte del volumen del comercio exterior se da a través del transporte marítimo, a modo de comparación analizaremos algunos puertos con el fin de determinar sus capacidades, eficiencia y productividad, para poder referenciar en qué punto se encuentra nuestro terminal a nivel mundial y que tan eficiente es con sus limitadas zonas de trabajo.

San Antonio Terminal internacional se encuentra emplazado en la bahía de San Antonio, Chile. Su productividad es de 1.074.983 TEUs en el año 2017, cuenta con tres muelles con una longitud total de 800m y un área de almacenamiento de 305.000m².

Con media productividad al anterior, El Terminal Portuario Guayaquil, Ecuador. La cual es de 586.981 TEUs en el año 2017, cuenta con dos muelles con una longitud total de 480m y un área de almacenamiento de 210.000m².

En la localidad de Caldera, Costa Rica se encuentra el Puerto que lleva su nombre Caldera, el cual trabaja logrando una productividad de 270.056 TEUs en el año 2017, posee cuatro muelles con una longitud total de 800m y un área de almacenamiento de 241.000m².

Uno de los Puertos más grandes de Sudamérica, Se encuentra ubicado en Santos, Sao Paulo, Brasil. Con una productividad de 3,8 millones de TEUs en el año 2017, el muelle tiene una extensión de 1.700m y un área de almacenamiento 7.770.000m².

Mientras, en China se encuentra ubicado Puerto de Shanghai. Es el líder mundial de transporte de mercancías; su productividad es de 40,23 millones de TEUs en el año 2017, en cuanto a su eficiencia para recibir cargas simultaneas cuenta con más de 13km de longitud de muelle y tiene un área total de 6.730.000m² capacidad destina para el almacenamiento de contenedores.

Se puede determinar que el Terminal Pacifico Sur de Valparaíso, a pesar de sus reducidos 150.000m² destinados al almacenamiento de contenedores. Demuestra una alta eficiencia de producción superando el 1.300.000 de TEUs al año 2017, siendo el Terminal más eficiente de Chile debido a que posee 15 grúas RTG más que cualquier otro puerto chileno y es uno de los más importantes de Latinoamérica, por otra parte, no es comparable en cuanto a producción, eficiencia y capacidad, con terminales de gran envergadura como son los puertos asiáticos donde se encuentran los más importantes del mundo.

6.2 Diseño de la solución.

Para el diseño de la solución al problema existente dentro del departamento de confiabilidad en el área de mantenimiento de la empresa Terminal Pacifico Sur Valparaíso con respecto a la unidad operativa RTG, es la realización de un análisis de criticidad, identificando los sistemas y subsistemas más críticos de la grúa, analizando sus modos de fallas y categorizando estas mismas, con el fin de poder priorizar los recursos y orientar la toma de decisiones.

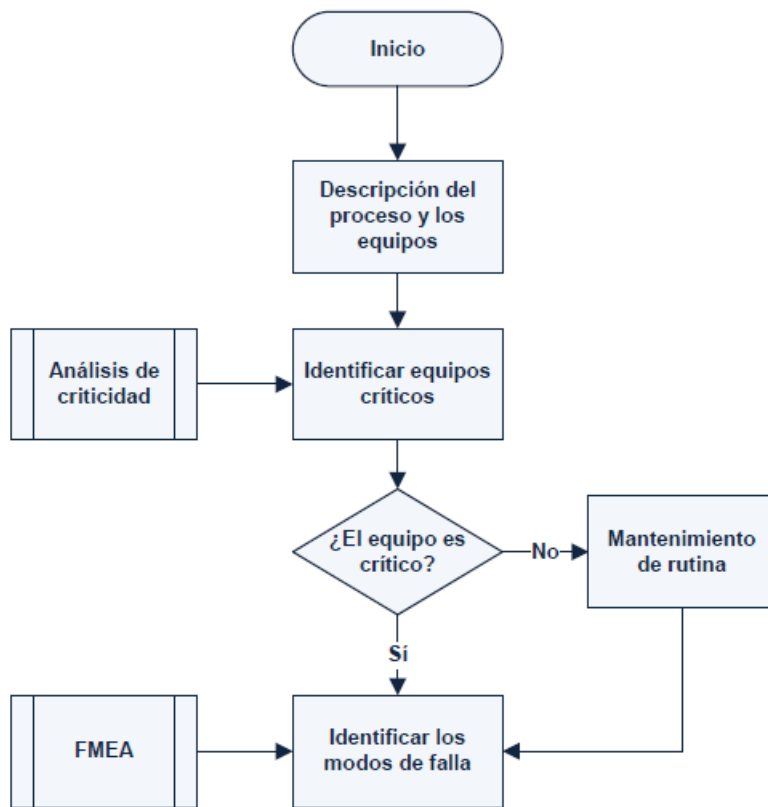


Figura 4. Diagrama de flujo diseño de la solución

Fuente: Elaboración propia

6.3 Resultados.

6.3.1 Jerarquización de equipos Sistema y Subsistema

La grúa RTG es un sistema de alta complejidad teniendo más de 366 componentes mecánicos, eléctricos, hidráulicos, sensoriales, etc. Para estratificar el equipo RTG en sistemas y subsistemas se requiere tener amplios conocimientos de la grúa tanto mecánicos como de su mantenimiento.

En la siguiente tabla se detallará los sistemas y subsistemas correspondiente a la unidad operativa RTG y sus respectivas funciones.¹

Sistemas	Función	Subsistemas	Función
Hoist	Movimiento vertical de la Carga	Variador	Control de velocidad del motor eléctrico.
		Motor Electrico	Transmisión de energía entrada caja reductora
		Caja Reductora	Reducción de velocidad
		Tambor	Alojamiento de cables metálicos
		Cables metálicos	Dispositivo de izaje
		Freno de servicio	Dispositivo de bloqueo del Hoist
		Freno de Emergencia	Dispositivo de bloqueo del Hoist en emergencia
		Dispositivos de Seguridad	Detención de funciones en condiciones no seguras
Sistema de Control	Automatizar funciones		
Trolley	Movimiento horizontal de la carga	Variador	Control de velocidad del motor eléctrico.
		Motor Electrico	Transmisión de energía entrada caja reductora
		Caja Reductora	Reducción de velocidad
		Cadenas de traslación	Movimiento del Trolley
		Cabina	Centro de operación del equipo
		Sist. skew	Estabilizar el spreader
		Festoon	Transmisión de poder y control eléctrico hasta el Trolley
		Ruedas	Traslado del Trolley
		Iluminacion	Iluminar el sector de trabajo
		Dispositivos de Seguridad	Detención de funciones en condiciones no seguras
Sistema de Control	Automatizar funciones		
Gantry	Movimientos laterales del equipo	Variador	Control de velocidad del motor eléctrico.
		Motor electrico	Transmisión de energía entrada caja reductora
		Eje Cardánico	Transmisión del movimiento a las Cubetas
		Cubetas de transmisión	Reducción de velocidad en los neumaticos del gantry
		Neumaticos	Traslación del Equipo RTG
		Sistema de dirección	Direccionar Equipo
		Iluminacion	Iluminar el sector de trabajo
		Dispositivos de Seguridad	Detención de funciones en condiciones no seguras
		Sistema de Control	Automatizar funciones
Spreader	Manipulación de la Carga	Motor twistlock	Bloqueo, desbloqueo Twistlock
		Twistlock	Bloquear y liberar contenedor
		Estructura	Soportar los componenetes del spreader
		Motor telescópico	Expandir y retraer Spreader
		Tablero distribución	Distribución de poder y control electrico
		Cable electrico	Transmisión de poder y control electrico
		Cadena telescópico	Abrir y cerrar el spreader en 20 / 40 pies.
		Dispositivos de Seguridad	Detención de funciones en condiciones no seguras
Sistema de control	Automatizar funciones		
Sala Electrica	Alojamiento de dispositivos de control, fuerza y auxiliares	Rectificador	Rectifica voltaje alterno a continuo
		Contacto principal	Contacto principal del voltaje alterno
		Buffer continuo	Linea de voltaje continuo
		Unidad de Freno	switch de potencia regenerativo
		Switch principal	Conectar poder eléctrico
		Aire Acondicionado	Mantener temperatura
		PLC	Central de control lógico
		Sistema de Comunicación	Círculo cerrado de comunicación en el equipo
		Dispositivos de Seguridad	Detención de funciones en condiciones no seguras
Sistema de control	Automatizar funciones		
Diesel	Principio de funcionamiento del equipo	Sistema de alimentación de combustible	Transmisión de energía al generador
		Sistema de enfriamiento	Reducir temperatura a rangos seguros
		Sistema de lubricación	Evitar desgaste de las piasas del motor
		Alternador	Crea corriente electrica por medio de campos magneticos
		Control y monitoreo	Monitorear datos del generador y motor a combustion interna
Sistema de partida	Encendido del motor por medio de imanes y corriente alterna		
Estructura	Soporte del Equipo	Bogie	Traslado del Equipo
		Columnas	Sostener vigas principales
		Vigas	Estructura de desplazamiento del Trolley
		Iluminacion	Iluminar el sector de trabajo

Tabla 2. Sistema y subsistema RTG

Fuente: Elaboración propia

¹ Levantamiento de información revisar Anexo A.1.

6.3.2 Identificación de los sistemas y subsistemas críticos

El análisis de criticidad basado en el modelo de riesgo fue realizado para todos los sistemas y subsistemas de la grúa RTG, debido al impacto que genera la detención de este quipo.

La disponibilidad que debe tener no soporta alguna falla crítica no manejada, ya que los equipos tienen que estar en constante funcionamiento.

Es por esto la relevancia del análisis de criticidad, cuyos resultados fueron tabulados con el objeto de identificar los equipos de mayor criticidad en la grúa RTG.²

Sistema- subsistema	Consecuencia	Frecuencia	Nivel de criticidad
Spreader	47	4	188
Trolley	47	4	188
Hoist	47	4	188
Diesel	45	4	180
Estructura	47	3	141
Tambor (Hoist)	47	3	141
Bogie (Estructura)	47	2	94

Tabla 3. Presentación de los resultados Sistemas y subsistemas críticos

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la Tabla N° 8, aquellos equipos que presentan una mayor criticidad para el funcionamiento de la grúa son el Spreader, y Diesel, debido principalmente a su alta frecuencia de falla, el alto impacto que puede generar en la operación del equipo y que no existe una función que permita su reemplazo, provocando la detención automática del equipo.

A su vez los sistemas Hoist y Trolley, son considerados críticos de igual manera por su alta frecuencia de fallas, el alto impacto que genera en la operación del equipo. Pero el sistema Hoist tiene una alta flexibilidad operacional y el sistema Trolley si tiene una función de reemplazo.

Luego está la Estructura y el Tambor del Hoist, también son considerados críticos por su alto impacto en la operación del equipo, la falta de una función que permita su

² Para mayor información sobre el análisis de criticidad basado en el modelo de riesgo revisar Anexos A.2. al A.5.

reemplazo y el alto costo de reparación, sin embargo, presentan una menor frecuencia de fallas que los sistemas Spreader, Gantry, Hoist y Diesel.

Finalmente, el subsistema Bogie puede ser considerado con una criticidad menor debido a la baja frecuencia de fallas, a pesar de ser también crítico por el alto impacto operacional.

6.3.3 Análisis de diagrama de Pareto según frecuencia de falla

Para la realización del diagrama de Pareto según la frecuencia de fallas hay que realizar la suma del total de fallas por sistema, posteriormente calcular los porcentajes de cada una de las fallas finales y finalmente el porcentaje acumulado.³

Análisis Pareto				
Grúa 1 año de operación				
Orden	Sistema	N° Fallas	Porcentaje %	Acumulado %
1	Diesel	121	29,44%	29,44%
2	Spreader	110	26,76%	56,20%
3	Gantry	81	19,74%	75,94%
4	Trolley	65	15,81%	91,75%
5	Hoist	20	4,86%	96,61%
6	Sala eléctrica	11	2,67%	99,28%
7	Estructura	3	0,72%	100%
	Total	411	100%	

Tabla 4. Porcentajes y porcentajes acumulados según frecuencia de fallas

Fuente: Elaboración propia

³ Para mayor información sobre el Análisis de Diagrama de Pareto revisar Anexo A.9.

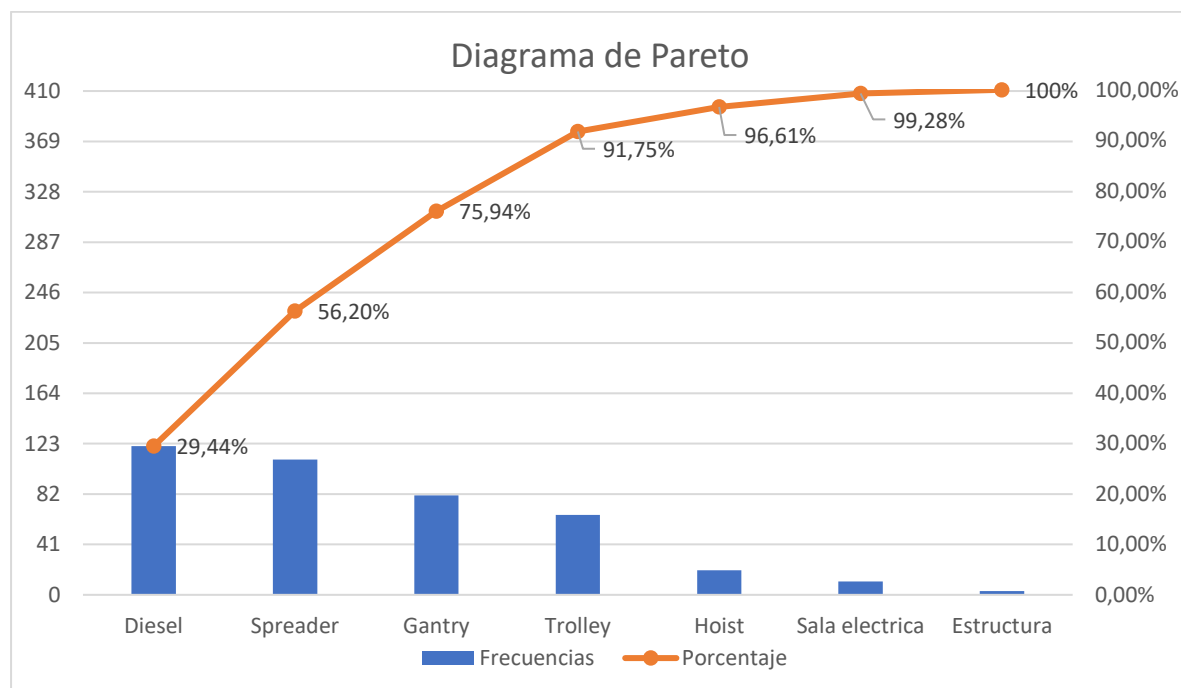


Figura 5. Diagrama de Pareto para frecuencia de fallas

Fuente: Elaboración propia

Realizado el análisis de criticidad en base a los datos obtenidos, resultaron siete equipos considerados críticos, que corresponden a Spreader, Trolley, Hoist, Diesel, Estructura, Tambor y Bogie.

Con el fin de comparar nuestro análisis de criticidad y con los antecedentes proporcionados por la empresa, en cuanto a la frecuencia de fallas de cada equipo, se estructuró el diagrama de Pareto que arrojaron que los equipos con más cantidad de fallas durante el año 2017, corresponden exactamente al Diesel, Spreader y Gantry.

A pesar de la gran cantidad de fallas del sistema Gantry es considerado de mediana criticidad debido a que el equipo puede seguir operando aun cuando este sistema falle, y si es necesario mover el equipo, es posible realizarlo con otros equipos.

6.3.4 Análisis de modos y efectos de fallas

El estudio de los modos y efectos de fallas que se presentan en los sistemas Spreader y Diesel seleccionados mediante el análisis de criticidad y diagrama de Pareto, se hará mediante hojas de análisis para cada sistema.

Las que indicaran sus funciones, sus fallas y modos de falla que provocan la detención por completo de la unidad operativa RTG.

⁴ Para mayor información sobre el Análisis de modos y efectos de falla revisar Anexo A.10.

Hoja de Análisis										
Planta		TPS			Unidad Operativa		RTG			
Sistema		Spreader			Subsistema a analizar				Hoja	1
Función sistema		Falla			Modo de Falla		Efecto		Recomendaciones	
I	Bloquear y liberar el contenedor	1	Spreader sin movimientos	A	Spreader con contenedor tomado	Si el twistlock queda a medio camino provoca el bloqueo de estos impidiendo que se puedan abrir generando la inhabilitación de la grúa al no poder manipular la carga		Reponer guardamotor de caja eléctrica Revisar si la señal se abre manualmente		
				B	Cilindro de accionamiento quebrado	Provoca la inhabilitación de los twistlock impidiendo que se abran y cierren simultáneamente. Inhabilitación de la grúa		Cambiar barra de accionamiento		
		2	Twistlock no cierran	A	Problema en sensor	Impide realizar el movimiento de cerrado de los twistlock. Se detiene el proceso		Cambiar sensor de twistlock de cerrada		

Tabla 5. Hoja de análisis de modos y efectos de falla Sistema Spreader

Fuente: Elaboración propia

Hoja de Análisis							
Planta		TPS		Unidad Operativa		RTG	
Sistema		Spreader		Subsistema a analizar		Motor twistlock	
Función sistema		Falla		Modo de Falla		Efecto	Recomendaciones
I	Bloquear y desbloquear twistlock	1	Motor twistlock no trabaja bien	A	Contenedor tomado	Provoca el bloqueo de los twistlock impidiendo que se puedan abrir generando la inhabilitación de la grúa al no poder manipular la carga. Se detiene el proceso	Reponer guardamotor involucrado en sala x600 y sala eléctrica
				B	Frenado de motor	Provoca un mal funcionamiento de los twistlock reduciendo la potencia de trabajo	Cambiar motor twistlock
				C	Problema de apertura y cierre de twistlock	Provoca la inhabilitación de los twistlock impidiendo que se abran o cierren. Se detiene el proceso	Reponer guardamotor caído y/o cambiar motor twistlock

Tabla 6. Hoja de análisis de modos y efectos de falla Sistema Spreader-Motor twistlock

Fuente: Elaboración propia

Hoja de Análisis							
Planta	TPS		Unidad Operativa	RTG			
Sistema	Spreader		Subsistema a analizar	Cadena telescópico		Hoja 3	
Función sistema	Falla		Modo de Falla	Efecto	Recomendaciones		
I	Abrir y cerrar el spreader en 20/40 pies	1	Spreader no cierra a 20 y/o abre a 40 pies	A	Bobina de la válvula atascada	El cilindro presentara fallos de funcionamiento o de acción.	Comprobar si el sedimento sucio esta atascado en el carrete, cambiar el filtro del sistema
				B	Vástago del pistón atascado	El cilindro hidráulico no se accionará debido a que el sello del pistón y del vástago están demasiado apretados	Cambiar los sellos del pistón y del vástago
				C	Presión del sistema hidráulico baja	Provoca una acción más lenta en el sistema de cierre y apertura	Regular válvula de flujo y presión de control
				D	Fuga interna del cilindro hidráulico	Fuga de la junta del cilindro hidráulico, el vástago del pistón y el cierre hermético	Cambiar sellos y regular válvula de control de velocidad
				E	Fuga del circuito hidráulico	Fugas en válvulas y tuberías hidráulicas	Inspeccionar válvula de inversión y eliminar fuga de conexión hidráulica
				F	Baja lubricación	Agravará la abrasión de modo que disminuirá la línea central del cilindro	Inspeccionar y lubricar
				G	Acción lenta	Provoca una acción más lenta en el sistema de cierre y apertura	Comprobar viscosidad fluidez y temperatura del aceite hidráulico

Tabla 7. Hoja de análisis de modos y efectos de falla Sistema Spreader-Cadena telescópico

Fuente: Elaboración propia

Hoja de Análisis							
Planta		TPS		Unidad Operativa		RTG	
Sistema		Spreader		Subsistema a analizar		Cable eléctrico	
Función sistema		Falla		Modo de Falla		Efecto	Recomendaciones
I	Transmisión de poder y control eléctrico	1	Corto circuito en el cable eléctrico	A	Fallos de aislamiento de la instalación	Produce calentamiento de los conductores lo que provoca la destrucción de este. Inhabilitación de la grúa	Cambiar la línea de alimentación de 400V

Tabla 8.hoja de análisis de modos y efectos de falla Sistema Spreader-Cable eléctrico

Fuente: Elaboración propia

Hoja de Análisis							
Planta		TPS		Unidad Operativa		RTG	
Sistema		Spreader		Subsistema a analizar		Dispositivo de seguridad	
Función sistema		Falla		Modo de Falla		Efecto	Recomendaciones
I	Detención de funciones en condiciones no seguras	1	Luces de semáforo parpadeando o apagadas	A	Landing no se activa	El spreader quedara sin respuesta. Inhabilitación de la grúa	Cambiar sensor landing e inspeccionar landing
		2	Problema con cierre de twistlock	A	Sensores de landing no actúan		

Tabla 9. Hoja de análisis de modos y efectos de falla Sistema Spreader-Dispositivo de seguridad

Fuente: Elaboración propia

Hoja de Análisis							
Planta		TPS		Unidad Operativa		RTG	
Sistema		Spreader		Subsistema a analizar		Estructura	
Función sistema		Falla		Modo de Falla		Efecto	Recomendaciones
I	Soportar los componentes del spreader	1	Flipper doblado o en mal estado	A	Incorrecto uso del operador	Generan dificultad de operación	Cambiar Flipper y reapreté de los pernos de sujeción del spreader
				B	Colisión con camión	Se pueden soltar los pernos de sujeción	

Tabla 10. Hoja de análisis de modos y efectos de falla Sistema Spreader-Estructura

Fuente: Elaboración propia

Hoja de Análisis								
Planta		TPS			Unidad Operativa		RTG	
Sistema		Spreader			Subsistema a analizar		Sistema de control	
Función sistema		Falla			Modo de Falla		Efecto	
I	Automatizar funciones	1	Twistlock se devuelve	A	Sensor twistlock de cierre no actúa	Al no actuar el sensor twistlock de cerrado el spreader no puede anclarse al container. Se detiene el proceso	Cambio de sensor twistlock cerrado	
		2	Spreader con contenedor tomado	A	Colisión con camión o container	El sensor twistlock se desconecta limitando el uso del spreader. Se detiene el proceso	Reconectar sensor	

Tabla 11. Hoja de análisis de modos y efectos de falla Sistema Spreader-Sistema de control

Fuente: Elaboración propia

Hoja de Análisis							
Planta		TPS		Unidad Operativa		RTG	
Sistema		Spreader		Subsistema a analizar		Tablero de distribución	
Función sistema		Falla		Modo de Falla		Efecto	Recomendaciones
I	Distribución de poder y control eléctrico	1	Spreader con contenedor tomado	A	Caída del guardamotor	Se deshabilitan todas las funciones y acciones a realizar por el spreader. Se detiene el proceso	Reponer guardamotor de caja eléctrica
		2	Spreader no controla oscilaciones	B	Sensor antis skew no responde	Genera una baja precisión de uso para el operario. Se detiene el proceso	Cambiar sensor antis skew

Tabla 12. Hoja de análisis de modos y efectos de falla Sistema Spreader-Tablero de distribución

Fuente: Elaboración propia

Hoja de Análisis								
Planta		TPS		Unidad Operativa		RTG		
Sistema		Diesel		Subsistema a analizar			Hoja	9
Función sistema		Falla		Modo de Falla		Efecto	Recomendaciones	
I	Convertir la energía mecánica en eléctrica alterna por medio de campos magnéticos	1	Genera energía eléctrica baja o nula	A	Rotor dañado	Provoca una baja tensión o tensión nula	Revisar que el colector no este dañado y que la bobina no tenga fugas de tensión al rotor	
				B	Estator dañado	Provoca pérdida total o parcial de la tensión	Medir la resistencia y aislamiento, corroborar que no exista continuidad entre terminales de salida y estator	
				C	Escobillas gastadas	Disminución progresiva de la tensión	Cambio de escobillas	
				D	Regulador averiado	Provoca perdida de la tensión	Revisar que no posea piezas quemadas o contactos dañados, cambiar rele	
				E	Daños en puente rectificador	Provocará fallos en la tensión, no convertirá adecuadamente la corriente y puede provocar la desaparición total de la tensión	Corroborar la resistencia en ambos sentidos	

Tabla 13. Hoja de análisis de modos y efectos de falla Sistema Diesel-Alternador

Fuente: Elaboración propia

Hoja de Análisis											
Planta		TPS			Unidad Operativa		RTG				
Sistema		Diesel			Subsistema a analizar				Control y monitoreo	Hoja	10
Función sistema		Falla			Modo de Falla			Efecto	Recomendaciones		
I	Monitorear datos del generador y motor a combustión interna	1	Grúa se detiene	A	Sistema Intelite entrega datos erróneos	Al no entregar la información real la grúa queda expuesta a problemas de parámetros de temperatura, presión, baja tensión, descarga de baterías, etc. Y no alertara de parámetros fuera de rango		Cambiar Sistema Intelite y revisar conexiones a tierra			

Tabla 14. Hoja de análisis de modos y efectos de falla Sistema Diesel-Control y monitoreo

Fuente: Elaboración propia

Hoja de Análisis							
Planta		TPS		Unidad Operativa		RTG	
Sistema		Diesel		Subsistema a analizar		Sistema de alimentación de combustible	
Función sistema		Falla		Modo de Falla		Efecto	
I	Transmitir la energía al generador	1	Grúa con problemas de partida	A	Problema bomba elevadora de combustible	El circuito de inyección no recibirá el combustible constantemente lo que impedirá el arranque del motor	Revisar sensor de combustible, cambiar bomba elevadora de combustible
		2	Fuga de combustible	A	Problema en válvula shut off	Las fugas de combustible influyen negativamente en el consumo y podrían causar un incendio en el compartimiento del motor, con presiones de inyección de combustible mayores se generarán mayores tasas de fuga	Cambiar válvula de purga
				B	Problema en actuadores e inyectores	Revisar sensor de combustible	
3	Exceso de humo por tubo de escape	A	Filtros saturados	Flexibles y cañerías	Impurezas y residuos de combustible llegaran al circuito de inyección, a la bomba de presión y al circuito de alimentación disminuyendo la vida útil del motor	Reapretar niples Cambiar filtros separadores de agua y aceite	

Tabla 15. Hoja de análisis de modos y efectos de falla Sistema Diesel-Sistema de alimentación de combustible

Fuente: Elaboración propia

Hoja de Análisis							
Planta		TPS		Unidad Operativa		RTG	
Sistema		Diesel		Subsistema a analizar		Sistema de enfriamiento	
Función sistema		Falla		Modo de Falla		Efecto	
						Recomendaciones	
I	Reducir la temperatura a rangos seguros	1	Grúa con alarma de sobretemperatura	A	Radiador saturado	Impedirá el flujo de aire por las aspas del radiador este no podrá cumplir su función eficientemente, que es la de enfriar el refrigerante del motor	Revisar condiciones del radiador, desmontar y lavar radiador. Reemplazar radiador
				B	Sensor sobretemperatura dañado	Al no funcionar el sensor de temperatura este no emitirá la señal para que se active el ventilador	Revisar conexión de sensor, cambiar sensor sobretemperatura
				C	Correa ventilador dañada	Impedirá el funcionamiento del ventilador	Cambiar correa de ventilador
				D	Caja de termostato no actúa	Al no actuar la caja de termostato impedirá la entrada del refrigerante al motor y que fluya por el sistema de enfriamiento	Inspeccionar posible ruptura en caja de termostato, aplicar sellante de alta temperatura, cambiar caja de termostato
		2	Fuga de refrigerante	A	Bomba de agua defectuosa	El mal o nulo funcionamiento de la bomba de agua ara que el refrigerante no fluya por el sistema de enfriamiento lo que provocara un sobrecalentamiento	Cambiar bomba de agua
				B	Sellos en mal estado	Perdida de refrigerante de motor	Cambiar empaquetaduras de bomba de agua
				C	Ruptura del radiador	No se podrá enfriar el refrigerante de manera eficiente y presentará pérdidas de refrigerante llevándolo a un sobrecalentamiento	Reemplazar radiador

Tabla 16. Hoja de análisis de modos y efectos de falla Sistema Diesel-Sistema de enfriamiento

Fuente: Elaboración propia

Hoja de Análisis							
Planta	TPS		Unidad Operativa	RTG			
Sistema	Diesel		Subsistema a analizar	Sistema de lubricación		Hoja	13
Función sistema		Falla	Modo de Falla		Efecto	Recomendaciones	
I	Reducir la fricción y evitar el desgaste de las piezas del motor	1	Baja presión del lubricante	A	Bajo nivel de aceite	Degaste de las piezas del motor	Revisar nivel de aceite, rellenar aceite
				B	Aceite quemado	Desgaste de las piezas del motor	Cambio total del aceite
				C	Perdida de lubricante	Desgaste de las piezas del motor	Revisar posibles fugas en el circuito tuberías y filtro de aceite
				D	Problemas en la bomba de aceite	Perdida de caudal y presión de aceite provocando una lubricación deficiente y un pronto desgaste en las piezas del motor	Cambiar bomba de aceite
				E	Filtro del aceite saturado	Cuando el filtro de aceite esta saturado o incluso rasgado, dejara el libre acceso de partículas menores a las piezas del motor provocando un pronto desgaste de las piezas	Cambiar filtro de aceite
				F	Válvula reguladora de presión atascada	No enviar el exceso de aceite de vuelta al cárter, experimentando niveles de aceite que dañaran al motor, llegando a romper el sello tipo o del filtro de aceite	Revisar sensor de presión de aceite, cambiar regulador de presión

Tabla 17. Hoja de análisis de modos y efectos de falla Sistema Diesel-Sistema de lubricación

Fuente: Elaboración propia

Hoja de Análisis							
Planta		TPS		Unidad Operativa		RTG	
Sistema		Diesel		Subsistema a analizar		Sistema de partida	
Función sistema		Falla		Modo de Falla		Efecto	Recomendaciones
I	Encendido del motor por medio de imanes y corriente alterna	1	Problema de partida del motor	A	Fusible fundido	Se rompe por un alza de intensidad eléctrica impidiendo el arranque del motor	Reemplazar fusibles en mal estado y verificar sistema eléctrico
				B	Bajo voltaje de baterías	No proporcionara la corriente para dar arranque al motor	Verificar estado de la batería, recargar y/o cambiar
				C	Solenoides dañado	Provoca perdida de la tensión impidiendo el acople al motor de arranque	Revisar que no posea piezas quemadas o contactos dañados, cambiar solenoide
				D	Motor de arranque dañado	Impedirá el arranque del motor a combustión interna	Cambiar motor de arranque
				E	Relé dañado	No transfiere potencia al motor	Cambiar relé de arranque
				F	Línea eléctrica dañada	Impedirá cualquier flujo de corriente	Inspeccionar y cambiar líneas dañadas

Tabla 18. Hoja de análisis de modos y efectos de falla Sistema Diesel-Sistema de partida

Fuente: Elaboración propia

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusión

La investigación realizada en la empresa Terminal Pacifico Sur de Valparaíso, permitió identificar como principal problema la insuficiencia de una validación de los equipos críticos de la grúa de patio RTG para generar una priorización de los recursos bajo datos concretos.

Durante el desarrollo de este proyecto de investigación, se puede concluir que la metodología del análisis de modos y efectos de falla, propone resultados que deben ser considerados como medios para un fin. Específicamente proveer un marco de trabajo efectivo, realizado de forma metódica, dando un sentido de pertenencia a todas las personas involucradas en el proceso; determinar todos los posibles modos de falla; recomendar programas de inspección; priorizar tareas en función de frecuencia y criticidad.

Por lo tanto, la correcta aplicación permite focalizar de manera acertada los recursos destinados al mantenimiento, aumentando la disponibilidad y confiabilidad de los sistemas involucrados, identificando los componentes con mayor criticidad, y así poder orientar el mantenimiento, teniendo un mayor control de las fallas y reduciendo costos innecesarios en el mantenimiento.

En el estudio se realizó un análisis cualitativo (análisis de Criticidad) y uno cuantitativo (análisis de Pareto), para determinar los sistemas que se iban a considerar para la aplicación de la metodología de FMEA, dando como resultado el sistema Diesel y Spreader.

Los sistemas mencionados en el párrafo anterior, fueron analizados bajo la metodología de FMEA, donde se obtuvieron las hojas de análisis presentes en el Capítulo N° 4, correspondiente al estudio y reconocimiento de las posibles fallas que puede sufrir el equipo. Esta información fue obtenida mediante un grupo de trabajo compuesto por el personal presente en el área de mantenimiento y confiabilidad, ayudando a determinar las actividades a realizar para cada modo de falla.

Finalmente, se determina que el estudio realizado en esta memoria será un medio para orientar los recursos en los sistemas y subsistemas que provocan la detención por completo de esta grúa y entregar conocimiento facilitando la detección de las fallas, sus modos de falla, los efectos que provocan y la acción recomendada para controlar dicha falla.

7.2 Recomendaciones

Se recomienda al departamento de confiabilidad del TPS de Valparaíso generar una base de datos completa sobre los modos de falla que puede presentar los equipos involucrados en los distintos sistemas de la grúa RTG, además de realizar una nueva evaluación de confiabilidad una vez transcurrido un año, para medir resultados y la evolución de los equipos en estudio.

Se debe considerar aplicar la metodología propuesta en esta memoria a otros equipos que sean críticos en la planta, para mejorar sus disponibilidades y aumentar la capacidad de producción.

Se recomienda realizar un sistema de información basado en estas metodologías, para lograr un total conocimiento de las actividades que se analizan y desarrollan por parte de todo el personal involucrado.

La idea es desarrollar e implementar el sistema en pasos; primero es necesario mejorar la base de datos y recopilar información de las actividades a realizar, controlar la implementación de la metodología propuesta junto al funcionamiento correcto de las tareas; segundo, desarrollar un sistema de capacitación constante sobre esta metodología, de manera que permita difundir los hallazgos al personal de mantenimiento y operaciones, siendo los responsables de realizar esta tarea los propios participantes del análisis en base a los conocimientos adquiridos durante el desarrollo del mismo.

8. Bibliografía

- 8.1 Huerta Mendosa, Rosendo (2005). *El Análisis de Criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional.*
- 8.2 Villalon Letelier, Roberto (s/f). *Programa de capacitación, Herramientas de ingeniería*
- 8.3 Viveros Gunckel, Pablo (s/f). *Programa: Herramientas de ingeniería de confiabilidad, Modulo: Análisis de criticidad.*
- 8.4 Kalmar (2005). *Manual de mantenimiento GRUA PORTICO RTG Kalmar E-One s/n 40505, 40506.*
- 8.5 Reyes Aguilar, Primitivo (2007). *Análisis del Modo y Efecto de Falla (FMEA).*
- 8.6 Martínez, E y Chávez, M (2011). *Universidad Industrial de Santander. Taller Diagrama de Pareto. Bogotá.*
- 8.7 Google.maps (2017). *Mapa ubicación Terminal Pacifico Sur, desde Valparaíso.*

9. ANEXOS.

A.1. Levantamiento de información de los procesos del terminal portuario

Los equipos utilizados en los puertos modernos donde se realiza carga y descarga de contenedores, involucra una serie de operaciones que se llevan a cabo dentro del puerto. Dichas operaciones están relacionadas con cuatro etapas diferentes que describen el movimiento de contenedores, ya sea vacío o lleno.

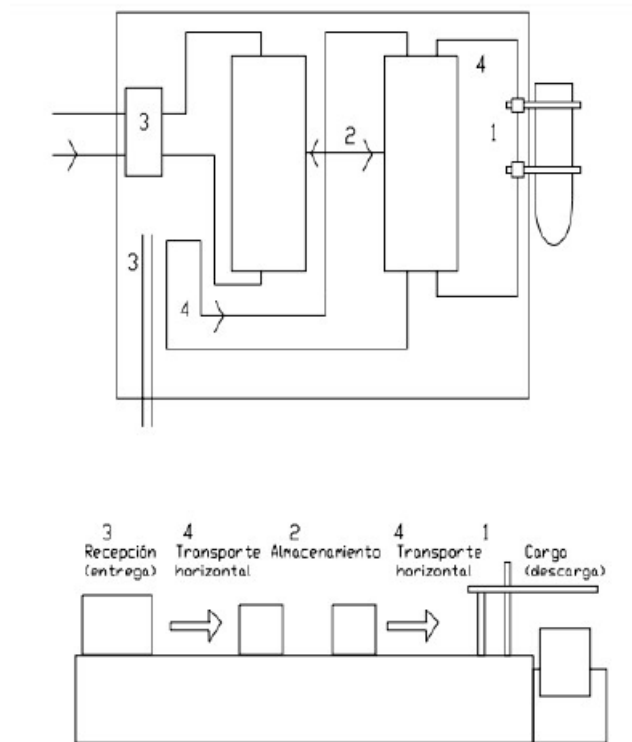


Figura 6. Proceso del Terminal Portuario de contenedores

Fuente: Alba Villodres Martín

a) Carga y descarga

Abarca todas las operaciones marítimas de carga y descarga de contenedores del buque, que se encuentra atracado en la zona de muelle provista con grúas pórtico.

Este trabajo se lleva a cabo por los estibadores, los cuales se encargan de realizar la acción de carga y descarga manipulando maquinaria pesada de estiba y la autoridad portuaria, que gestiona el atraque y desatraque en el muelle, y planifica las secuencias de carga y descarga teniendo en cuenta el peso y el destino del contenedor, entre otros factores.

b) Entrega y recepción

Se refiere a la entrega y recepción de containers vía terrestre (carretera). Los camiones externos se acercan a la zona de almacenamiento y allí se le carga o descarga el contenedor asignado en puerta.

c) Almacenamiento

Es la zona de la terminal donde se almacenan los contenedores temporalmente, luego de su llegada vía terrestre o marítima, y quedan a la espera de ser cargados de nuevo en camión o barco.

Esta zona de almacenamiento se conoce como patio. Independientemente de la gestión del, la gestión de este depende únicamente de la extensión de terreno de la que disponga el terminal y condiciona los métodos de manipulación con los que se va a trabajar.

El terminal tiene un sistema de ubicación de contenedores donde se especifica el área del contenedor, y su posición dentro de este “x,” y” y “z”.

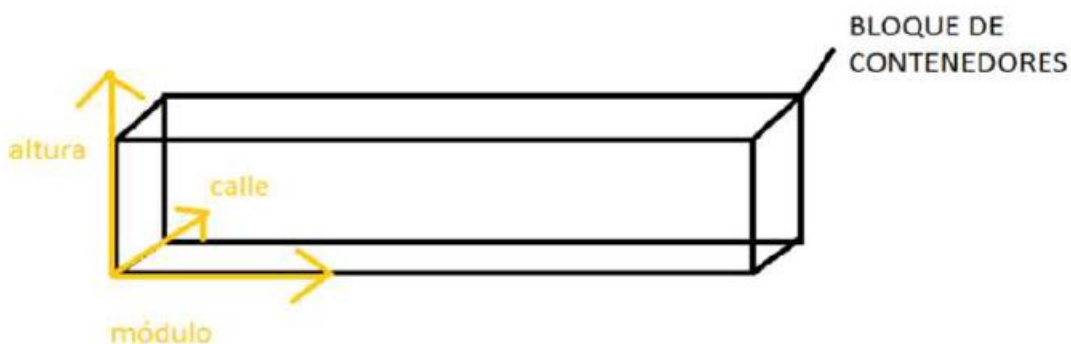


Figura 7. Ubicación de contenedores en patio del terminal

Fuente: Alba Villodres Martín

d) Transporte interno o interconexión

Este corresponde al transporte horizontal de los contenedores entre los procesos anteriormente nombrados. Comprende todos los movimientos de mercancía dentro del terminal, de buque o camión a almacenamiento o movimientos internos para la organización del patio.

Contenedores

En 1965 ISO (Organización Internacional para la Estandarización) desarrollo una norma única bajo la cual deben estar todos construidos, estableciendo requisitos como su identificación y regulación o adaptación a las dimensiones y forma establecidas.

		Contenedor 20'	Contenedor 40'	Contenedor High Cube 40'	Contenedor High Cube 45'
Dimensiones externas	Largo	6058	12192	12192	13716
	Ancho	2438	2438	2438	2438
	Alto	2591	2591	2896	2896
Dimensiones internas (mm)	Largo	5710	12032	12000	13556
	Ancho	2352	2352	2311	2352
	Alto	2385	2385	2591	2591
Volumen (m ³)		33,1	67,5	75,3	86,1
Tara (kg)		2200	3800	3900	4800
Máximo peso bruto (kg)		30400	30400	30848	30400

Tabla 19. Normalización de contenedores ISO

Fuente: ISO

Grúa Rubber Tired Gantry (RTG)

El RTG es una grúa pórtico con una estructura de patas cuya forma es la de una U invertida, que sostiene por debajo de ella el sistema que manipula los contenedores.

Estas grúas se encargan de la manipulación de contenedores en pila, es decir, manipulan en los bloques de contenedores que se encuentran en el patio.

Los RTG están equipados con grupos diesel-generador que suministran la potencia para poder desplazarse y manipular contenedores. Los operarios, pueden mover la máquina de bloques con facilidad, ya que los neumáticos no están limitados por rieles y no necesita una fuente externa de electricidad.



Figura 8. Vista Grúa RTG

Fuente: Propia

Para poder detallar más sus partes, primero definiremos los movimientos principales de la grúa RTG para la realizar sus funciones.

Se distinguen tres movimientos principales de la grúa RTG:

- Traslación del pórtico: es el desplazamiento del conjunto de la grúa que se realiza sobre sus ruedas y sigue sus respectivos carriles marcados en el patio del terminal.
- Traslación del carro: El carro se desliza sobre unos rieles en la viga principal gracias a cuatro motores eléctricos.
- Elevación y descenso del spreader: es el movimiento de manipulación de la carga.

Para que estos movimientos se lleven a acabo debe haber un abastecimiento eléctrico que, en el caso del RTG Kalmar, viene dado por un grupo diésel-generador. La grúa consta también de una sala eléctrica donde se encuentra el PLC (autoprogramable), los variadores de frecuencia, transformadores y otros dispositivos eléctricos.

Teniendo en cuenta los movimientos principales y el abastecimiento energético, podemos distinguir siete sistemas:

- a) Hoist
- b) Trolley
- c) Gantry
- d) Spreader
- e) Diesel

- f) Sala eléctrica
- g) Estructura

Diesel

El grupo motor-generador abastece toda la fuerza motriz a la grúa pórtico. La carcasa que lo protege se encuentra bajo la viga durmiente en uno de los costados. Tiene montajes antivibración.

El motor que disponen las RTG es un diésel industrial de 6 cilindros en línea y de inyección directa. La bomba de alimentación de combustible es accionada por engranajes.

El combustible se transfiere del depósito de combustible a través de la bomba de alimentación. La bomba de alimentación arranca cuando se conecta la alimentación principal.

El combustible fluye a la bomba de combustible del motor a través de los filtros. El exceso de flujo del motor vuelve al depósito.

El motor posee un turbocompresor, un sistema de refrigeración termostática, un enfriador de aire de admisión y regulación de régimen electrónica.

El sistema de enfriamiento es por agua. El ventilador acoplado al eje del motor, impulsa el aire frío a través del radiador. La bomba de agua es accionada gracias a una correa acoplada al motor.

Para el sistema de lubricación se emplea un enfriador de aceite, en este caso refrigerado por agua; una bomba de aceite accionada por engranajes.

Motor	
Fabricante y modelo	Cummins QSX15-G
Principio de funcionamiento	Turbocompresor, motor diésel de inyección directa de baja emisión con intercooler.
Velocidades de marcha	Ralentí: 1000 rpm Velocidad de trabajo: 1800 rpm, velocidad constante
Potencia	459 KW (615 Hp) / 1500 rpm
Alternador	24V CC / 170 A
Baterías del motor de arranque	2 x 12V CC / 170 A
Numero de cilindros	6

Tabla 20. Datos técnicos del motor

Fuente: Kalmar

Transmisión de energía

Esta se realiza a través del generador, generando la potencia eléctrica de la máquina.

Generador de velocidad simple: Un motor Diesel hace funcionar el generador a una velocidad constante de 1500/1800 rpm. El generador genera corriente alterna trifásica (400/440 V) con una frecuencia de 50/60 Hz. La energía eléctrica se utiliza para hacer funcionar motores motrices eléctricos.

Generador	
Fabricante y modelo	Stamford HCI 1534 550KVA
Frecuencia	50 Hz
Principio de Funcionamiento	Transmisión eléctrica.
Ruedas con tracción	Dos ruedas con tracción en ambos bastidores laterales. Cada rueda de tracción esta equipada con un motor motriz eléctrico.
Motores Motrices	Kalmar JP100460 con codificador, 30 KW Kalmar JP100904 sin codificador, 30 KW
Cubos, con tracción	4 x Kessler RO85 PL751/416
Cubos, sin tracción	4 x Kessler

Tabla 21. Datos técnicos Generador-Motores motrices

Fuente: Kalmar

Estructura

La estructura de la grúa RTG está compuesta por dos vigas puente grandes con estructuras de pata a ambos lados. Cada viga puente es una viga cajón rectangular con una sección transversal constante. Las vigas puente están fijadas a la parte superior de las patas mediante juntas de bridas empernadas.

La rigidez de la grúa RTG esta auxiliada por seis vigas de arriostramiento que unen las grandes patas, tres a cada lado, una horizontal y dos transversales.

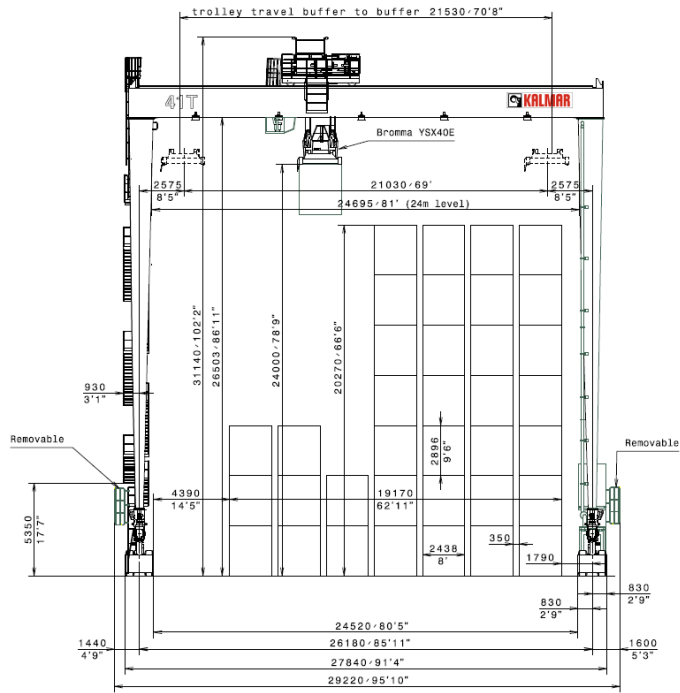


Figura 9. Vista Perfil RTG

Fuente: Kalmar

En la zona superior de cada viga puente del pórtico tiene un riel soldado por el cual se desplaza el carro.

Las patas de la estructura tienen una viga durmiente ubicada de manera horizontal en la parte inferior de cada pata, la cual es rectangular y se encuentra unida a las patas mediante juntas empernadas.

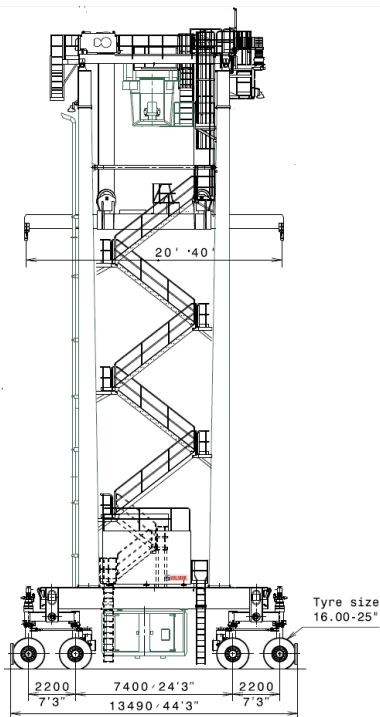


Figura 10. Vista frontal RTG

Fuente: Kalmar

Gantry

La grúa RTG se encuentra sostenido por ocho bogies, dos por cada pata del pórtico. Un bogie es un conjunto de dos ruedas montadas sobre el mismo eje. En cada bogie se encuentra la máquina para el desplazamiento del pórtico: motor, reductor y freno magnético.

En cada bogie hay una rueda activa y una inactiva. El eje de salida de la caja de engranajes forma un extremo de eje giratorio e impulsor con el cubo de la rueda, montado directamente sobre el mismo, y un extremo de eje inactivo con el cubo de la rueda sin tracción. El cubo de la rueda del eje inactivo posee dos cojinetes de rodillo para que la rueda gire libremente.



Figura 11. Bogie

Fuente: Propia

Los grandes neumáticos de caucho deben estar a 10 bares de presión.

Existe un balancín compensador situado en el medio de cada par de bogies con el fin de que ambos soporten el mismo peso.

Los ocho motores de desplazamiento del pórtico se accionan por medio de cuatro variadores de frecuencia ubicados en la sala eléctrica.

El árbol de transmisión/eje consiste en la transmisión eléctrica desde el generador hasta los motores de accionamiento y la transmisión mecánica desde los motores motrices a la rueda.

Un eje cardan transmite la potencia de los motores motrices eléctricos al engranaje angular en el cubo de la rueda.



Figura 12. Motor motriz

Fuente: Propia

Trolley

El conjunto del bastidor del trolley está fabricado con acero soldado. La cabina del operador esta empernada al trolley y se desplaza con él a lo largo de la anchura de la grúa.

El tambor del chigre o hoist está fijado en un extremo del bastidor del trolley y dos poleas de cable de elevación a los lados opuestos del bastidor del trolley.

La grúa RTG es impulsada por motores eléctricos. El movimiento del trolley consiste en un generador de CA, rectificador, inversor, motor de accionamiento eléctrico y sistema PLC. El sistema es alimentado por el generador de CA, que es accionado por el motor diésel.

La velocidad de conducción se ajusta mediante la palanca multifunción del trolley en la cabina del operario. El inversor ajusta la velocidad del motor según la posición de la palanca multifunción.

Cuando se mueve la palanca multifunción, el freno del trolley se abre y permanece abierto hasta que la velocidad del motor vuelve a cero, después, el freno se cierra. La orden de frenado se emite cuando la palanca multifunción vuelve a neutral.

Durante el movimiento del trolley, el sistema PLC supervisa la posición mediante la señal de velocidad, también comprueba que la velocidad no sobrepase los límites establecidos, en posiciones de extremo.

La posición del trolley se sincroniza mediante interruptores de proximidad en ambas direcciones de conducción.

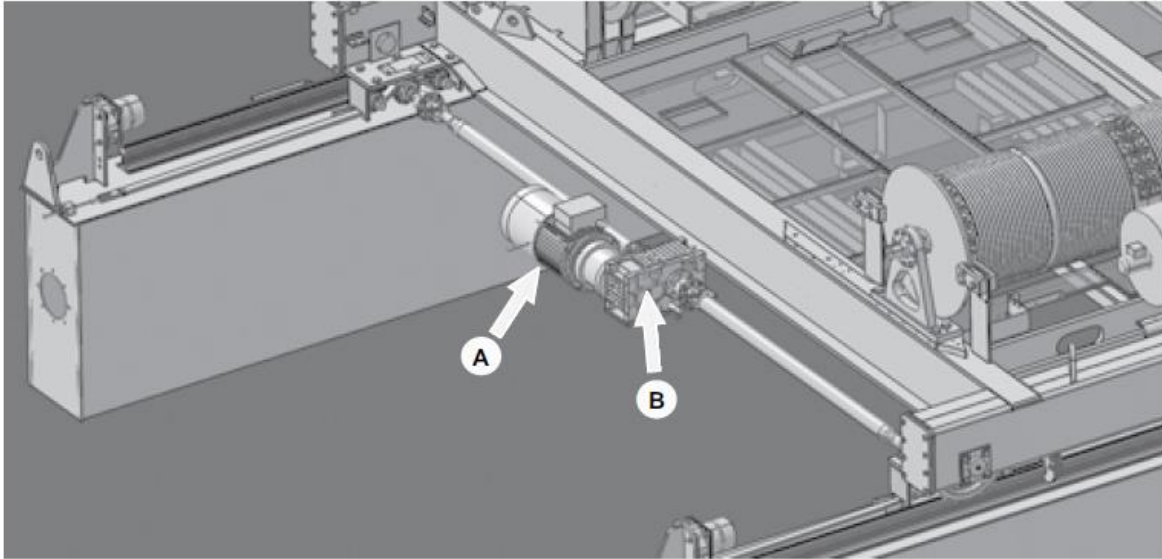


Figura 13. Mecanismo de desplazamiento del trolley

Fuente: Kalmar

- A. Motor del trolley (Kalmar JP100996 30KW)
- B. Engranaje de centrado (Kalmar TG02V)

Hoist

El engranaje del chigre o hoist es un reductor montado en el eje de tambor del chigre con un acoplamiento que permite la separación del engranaje del tambor. El tambor del chigre hace funcionar cuatro cables diferentes. Los extremos de los cables están fijados al tambor del chigre mediante abrazaderas.

El movimiento del Hoist está compuesto por un generador de CA, rectificador, inversor, motor motriz eléctrico y sistema PLC. El sistema es alimentado por el generador, que es accionado por un motor diésel.

La velocidad de conducción se ajusta mediante una palanca multifunción situada en la cabina del operario, el inversor ajusta la velocidad del motor basándose en la posición de la palanca multifunción. Cuando se mueve la palanca multifunción, los frenos del pórtico se abren y se mantienen abiertos hasta que la velocidad de conducción vuelve a cero. A continuación, los frenos se cierran.

Los mecanismos del chigre están equipados con un freno de disco, que evita el movimiento cuando el motor no está funcionando o el comando elevación/bajada no está activo. El freno de disco está accionado por muelle y bajara automáticamente si el circuito de control está roto. El freno dispone de una palanca de liberación manual, que permite la bajada cuando la bajada normal no es posible.

El sistema PLC supervisa la posición del chigre mediante un codificado absoluto. Si la posición del chigre es incorrecta y existe la posibilidad de que el spreader se levanten demasiado alto, el interruptor de sobre carrera se activa y cierra el freno del chigre inmediatamente.

La posición del chigre se sincroniza levantando el spreader hasta el limitador de sobre-carrera.

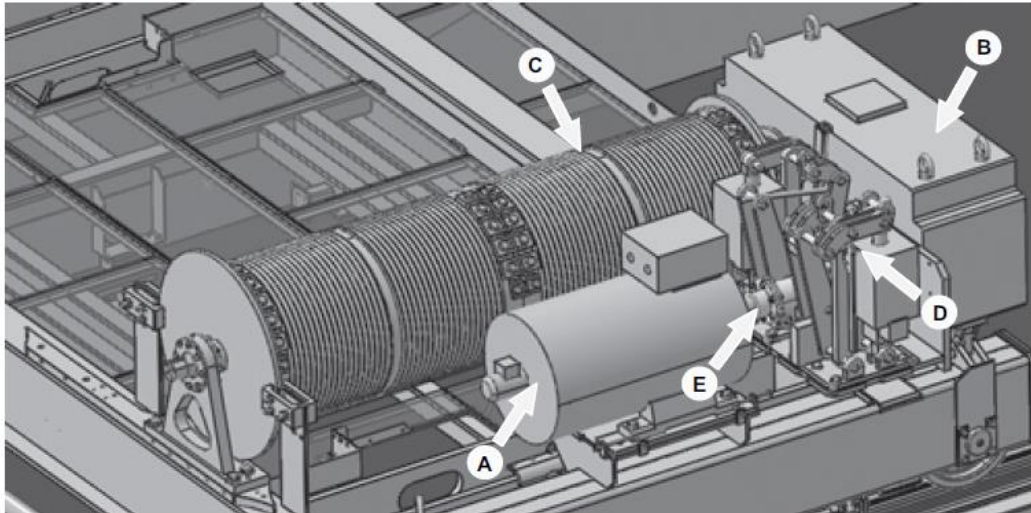


Figura 14. Mecanismo de elevación

Fuente: Kalmar

- A. Motor del hoist (Kalmar JP100994)
- B. Engranaje del hoist (Kalmar HG90V)
- C. Tambor del hoist
- D. Freno del hoist (Bubenger SB 28-xxx-201/6 50/60 Hz)
- E. Acoplamiento del hoist (RADEX N90-NANA3-250-SPAN 470 x 30)

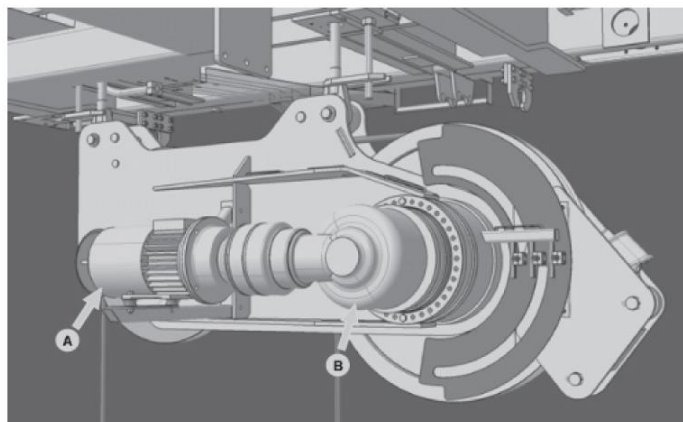


Figura 15. Mecanismo de centrado

Fuente: Kalmar

- A. Motor de centrado
- B. Engranaje de centrado

Spreader

Las grúas pórtico para la manipulación de contenedores están equipadas con un spreader. Esto quiere decir que el balancín de estiba es capaz de ajustar su longitud para elevar contenedores ISO de 20 o 40 pies. También puede elevar dos contenedores de 20 pies a la vez, empleando un sistema conocido como twin.

El spreader consta de una estructura bastidor de acero con forma rectangular que permite colocarlo en la parte superior de los contenedores e introducir en los corners los twistlocks.

Los twistlocks son accionados hidráulicamente por un pistón de doble efecto y controlados mediante electroválvulas. Se pueden accionar manualmente si ocurre un fallo.

Este pistón de doble efecto está ubicado en las vigas laterales. Este sistema de anclaje está formado por dos piezas: un largo pasador y un cilindro.



Figura 16. Spreader

Fuente: Propia

Sala eléctrica

En la sala eléctrica se encuentran los equipos de conmutación y distribución del suministro eléctrico, así como el equipo de control de todos los movimientos de la grúa y

la elevación, incluyendo el PLC y un ordenador para visualizar el estado de varios parámetros de la grúa para su mantenimiento.

Está ubicada por encima del grupo Diesel-generator y de la viga durmiente. En esta sala se encuentra la mayor parte de los equipos eléctricos. Su acceso se realiza mediante una escalera de mano que se extiende y se recoge.

A.2. Selección del método

Para comenzar el análisis de criticidad de la unidad operativa RTG fue de vital importancia la segregación de los equipos a analizar como se muestra en la tabla anterior.

Utilizaremos como herramienta el Modelo de Riesgo para realizar el análisis de criticidad a los sistemas y subsistemas de la unidad operativa RTG, esta herramienta se utiliza con la finalidad de identificar los riesgos e implementar planes que los afronten, y así, poder dirigir los recursos de una manera económicamente efectiva y eficiente.

Este modelo asigna una prioridad relativa para cada uno de los riesgos, combinando la probabilidad que un evento ocurra con el impacto que el evento pueda causar, y se puede expresar de la siguiente manera.

$$\mathbf{R = P \times C}$$

Donde P es la probabilidad, valor entregado por la frecuencia, es decir, el número de fallas en un periodo determinado, mientras que C es la consecuencia de la falla, para lo cual se utiliza la ponderación de varios factores.

$$\mathbf{C = (Impacto Operacional \times Flexibilidad Operacional) + Costos de Mantenimiento}$$

$$\mathbf{+ Impacto (Seguridad, Ambiente e Higiene)}$$

Luego el riesgo total es la suma de los riesgos individuales.

A.3. Establecimiento de criterios

Flexibilidad Operacional	4	<i>Función de repuesto de importación directa (20 días hábiles app)</i>
	2	<i>Función de repuesto disponible en mercado local (4 días hábiles app)</i>
	1	<i>Función de repuesto disponible en bodega</i>
Impacto Operacional	10	<i>Pérdida de toda la operación</i>
	7	<i>Parada del sistema y repercusión en otros</i>
	4	<i>Impacto en inventario o calidad</i>
	1	<i>No genera ningún efecto significativo en operaciones y producción</i>
Ambiente y Seguridad	8	<i>Afecta seguridad interna y externa y requiere notificación a entes externos</i>
	7	<i>Afecta el ambiente/instalaciones</i>
	5	<i>Afecta instalaciones causando daños severos</i>
	3	<i>Provoca daños menores en ambiente/seguridad</i>
	1	<i>No provoca ningún tipo de daño a personas, instalaciones o ambiente</i>
Costo de mantenimiento	2	<i>Mayor o igual a 800 USD</i>
	1	<i>Inferior a 800 USD</i>
Frecuencia de Fallas	4	<i>Pobre: mayor a 5 fallas al año</i>
	3	<i>Promedio: 1-5 fallas al año</i>
	2	<i>Buena: 1 falla al año</i>
	1	<i>Exelente: 0 fallas al año</i>

Tabla 22. Factores ponderados a ser evaluados en los sistemas y subsistemas de la grúa RTG

Fuente: Elaboración propia

A.4. Aplicación del procedimiento

Para la aplicación del procedimiento se les asignan los valores a cada sistema y subsistema según la información obtenida por ingenieros, supervisores, operadores, bitácora de fallas y reportes de saldos de stock.

Parámetros	Puntaje
Frecuencia de fallas	4
Flexibilidad operacional	4
Impacto operacional	10
Ambiente y seguridad	5
Costo de mantenimiento	2

Tabla 23. Puntaje final del Sistema Hoist

Fuente: Elaboración propia

Luego, se reemplazan los valores obtenidos en la siguiente ecuación, de manera de obtener un valor para las consecuencias.

$$C = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad Operacional}) + \text{Costos de Mantenimiento} \\ + \text{Impacto (Seguridad, Ambiente e Higiene)}$$

$$C = (10 \times 4) + 5 + 2 = 47$$

Así, es posible obtener el valor del riesgo, que viene dado por la siguiente ecuación.

$$R = P \times C$$

$$R = 4 \times 47 = 188$$

Por lo tanto, el valor del riesgo, en este caso, es de 188. Para una mejor visualización se realiza una matriz de criticidad. Donde se ubican los valores de la frecuencia y las consecuencias.

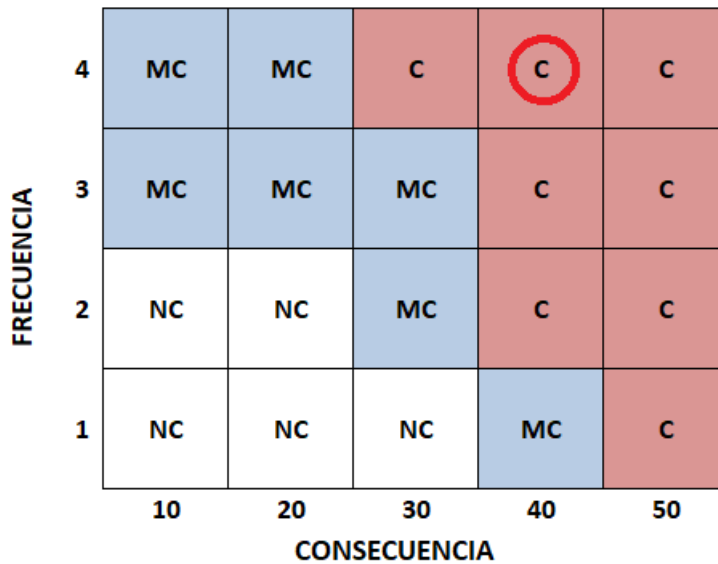


Figura 17. Matriz de criticidad del sistema evaluado

Fuente: Elaboración propia

A.5. Tabla de los resultados obtenidos por el modelo de riesgo aplicado a sistemas y subsistemas

<i>Sistemas</i>	<i>Subsistemas</i>	Consecuencia	Frecuencia	Total	Jerarquización de Fallas
<i>Hoist</i>		47	4	188	critico
	Variador	16	1	16	no critico
	Motor Eléctrico	12	1	12	no critico
	Caja Reductora	22	1	22	no critico
	Tambor	47	3	141	critico
	Cables metálicos	16	4	64	medianamente critico

<i>Trolley</i>	Freno de servicio	12	3	36	medianamente critico
	Freno de Emergencia	42	1	42	medianamente critico
	Dispositivos de Seguridad	12	4	48	medianamente critico
	Sistema de Control	13	3	39	medianamente critico
		47	4	188	critico
	Variador	26	1	26	no critico
	Motor Eléctrico	12	1	12	no critico
	Caja Reductora	22	1	22	no critico
	Sistema de traslación	23	4	92	medianamente critico
	Cabina	14	4	56	medianamente critico
	Sist. skew	14	3	42	medianamente critico
	Festoon	16	1	16	no critico
	Ruedas	14	1	14	no critico
	Iluminación	9	1	9	no critico
<i>Gantry</i>	Dispositivos de Seguridad	12	4	48	medianamente critico
	Sistema de Control	16	4	64	medianamente critico
		27	4	108	medianamente critico
	Variador	16	2	32	no critico
	Motor eléctrico	12	4	48	medianamente critico
	Eje Cardánico	24	1	24	no critico
	Cubetas de transmisión	22	1	22	no critico
	Neumáticos	17	4	68	medianamente critico
	Sistema de dirección	27	4	108	medianamente critico
	Iluminación	9	1	9	no critico
	Dispositivos de Seguridad	8	4	32	medianamente critico

<i>Spreader</i>	Sistema de Control	16	4	64	medianamente critico
		47	4	188	critico
	Motor twistlock	14	4	56	medianamente critico
	Twistlock	17	4	68	medianamente critico
	Estructura	45	3	135	medianamente critico
	Motor telescópico	24	1	24	no critico
	Tablero distribución	23	4	92	medianamente critico
	Cable eléctrico	16	3	48	medianamente critico
	Cadena telescópico	24	2	48	no critico
	Dispositivos de Seguridad	8	3	24	medianamente critico
<i>Sala eléctrica</i>	Sistema de control	12	4	48	medianamente critico
		27	4	108	medianamente critico
	Rectificador	16	3	48	medianamente critico
	Contactador principal	22	1	22	no critico
	Buffer continuo	12	1	12	no critico
	Unidad de Freno	22	3	66	medianamente critico
	Switch principal	15	2	30	no critico
	Aire Acondicionado	10	2	20	no critico
	PLC	23	3	69	medianamente critico
	Sistema de Comunicación	8	2	16	no critico
<i>Estructura</i>	Dispositivos de Seguridad	8	1	8	no critico
	Sistema de control	12	2	24	no critico
		47	3	141	critico
	Bogie	47	2	94	critico
	Columnas	27	2	54	no critico
	Vigas	47	1	47	medianamente critico

<i>Diesel</i>	Iluminación	9	2	18	no critico
		45	4	180	critico
	Sistema de alimentación de combustible	25	4	100	medianamente critico
	Sistema de enfriamiento	15	4	60	medianamente critico
	Sistema de Lubricación	24	2	48	no critico
	Alternador	22	2	44	no critico
	Control y monitoreo	22	3	66	medianamente critico
	Sistema de partida	12	4	48	medianamente critico

Tabla 24. Sistemas y Subsistemas evaluados mediante el modelo de riesgo

Fuente: Elaboración propia

A.6. Análisis de criticidad

En toda instalación destinada a producir un bien o un servicio se deben realizar las mantenencias correspondientes que permitan mantener un funcionamiento óptimo, para así lograr un producto de calidad al menor costo posible. Para llevar a cabo esto, es necesario identificar los equipos de la unidad operativa a los que se dirigirán los esfuerzos y la metodología de mantenimiento con el fin de enfocarse en los más críticos.

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual. El mejoramiento de la confiabilidad operacional de cualquier instalación o de sus sistemas y componentes, está asociado con cuatro aspectos fundamentales: confiabilidad humana, confiabilidad del proceso, confiabilidad del diseño y la confiabilidad del mantenimiento, como se muestra en la Figura N° 4. (Rosendo Huerta Mendoza, 2001).

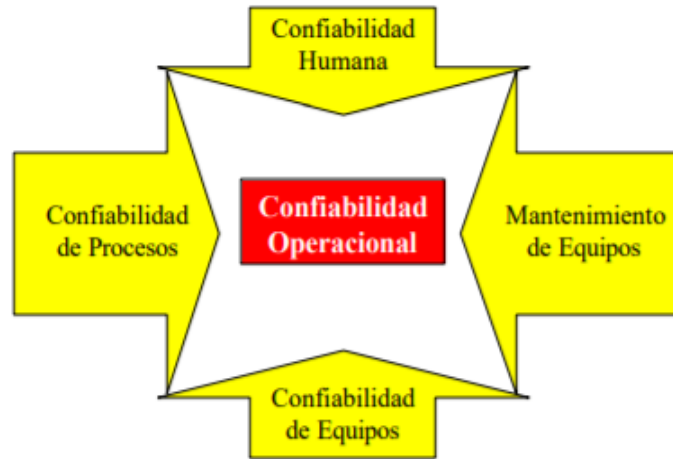


Figura 18. Aspectos de la confiabilidad operacional

Fuente: Rosendo Huerta Mendoza

Por lo general, es difícil disponer de recursos ilimitados, tanto económicos como humanos, para poder mejorar al mismo tiempo, estos cuatro aspectos en todas las áreas de una empresa.

¿Cómo establecer que una planta, proceso, sistema o equipo es más crítico que otro? ¿Qué criterios se deben utilizar? ¿Todos los que toman decisiones, utilizan el mismo criterio? El análisis de criticidad da respuesta a estas interrogantes, dado que genera una lista ponderada del elemento más crítico al menos crítico del total del universo analizado, diferenciando tres zonas de clasificación: alta criticidad, mediana criticidad y baja criticidad.

Una vez identificadas estas zonas, es mucho más fácil diseñar una estrategia, para realizar estudios o proyectos que mejoren la confiabilidad operacional, iniciando las aplicaciones en el conjunto de procesos o elementos que formen parte de la zona de alta criticidad.

Los criterios para realizar un análisis de criticidad están asociados con: seguridad, ambiente, producción, costos de operación y mantenimiento, tasa de fallas y tiempo de reparación principalmente. Estos criterios se relacionan con una ecuación matemática, que genera una puntuación para cada elemento evaluado. La lista generada, resultado de un trabajo de equipo, permite nivelar y homologar criterios para establecer prioridades y focalizar el esfuerzo que garantice el éxito maximizando la rentabilidad.

Objetivos del análisis de criticidad

El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos

de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable.

Un modelo básico de análisis de criticidad, es equivalente al mostrado en la Figura N° 5. El establecimiento de criterios se basa en los seis criterios fundamentales:

- Frecuencia de fallas
- Impacto operacional
- Flexibilidad operacional
- Costos de mantenimiento
- Impacto seguridad
- Impacto Ambiente e higiene

Para la selección del método de evaluación se toman criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación. Para la aplicación de un procedimiento definido se trata del cumplimiento de la guía de aplicación que se haya diseñado. Por último, la lista jerarquizada es el producto que se obtiene del análisis.



Figura 19. Modelo básico de criticidad

Fuente: Rosendo Huerta Mendoza

El análisis de criticidad se aplica en cualquier conjunto de procesos, plantas, sistemas, equipos y/o componentes que requieran ser jerarquizados, en función de su impacto en el proceso o negocio donde formen parte. Sus áreas comunes de aplicación se orientan a establecer programas de implantación y prioridades en los siguientes campos:

- a) Mantenimiento
- b) Inspección
- c) Materiales
- d) Disponibilidad de planta
- e) Personal

- a) En el ámbito de mantenimiento: Al tener plenamente establecido cuales sistemas son los más críticos, se podrá establecer de una manera más eficiente la priorización de los programas y planes de mantenimiento de tipo: predictivo, preventivo, correctivo, e inclusive posibles rediseños al nivel de procedimientos y modificaciones menores; inclusive permitirá establecer la prioridad para la programación y ejecución de órdenes de trabajo.

- b) En el ámbito de inspección: El estudio de criticidad facilita y centraliza la implantación de un programa de inspección, dado que la lista jerarquizada indica donde vale la pena realizar inspecciones y ayuda en los criterios de selección de los intervalos y tipo de inspección requerida para sistemas de protección y control (presión, temperatura, nivel, velocidad, espesores, flujo, etc.), así como para equipos dinámicos, estáticos y estructurales.

- c) En el ámbito de materiales: La criticidad de los sistemas ayuda a tomar decisiones más acertadas sobre el nivel de equipos y piezas de repuesto que deben existir en el almacén central, así como los requerimientos de partes, materiales y herramientas que deben estar disponibles en los almacenes de la planta, es decir, se puede mejorar el stock de materiales y repuestos de cada sistema y/o equipo logrando un costo óptimo de inventario.

- d) En el ámbito de disponibilidad de planta: Los datos de criticidad permiten una orientación certera en la ejecución de proyectos, dado que es el mejor punto de partida para realizar estudios de inversión de capital y renovaciones en los procesos, sistemas o equipos de una instalación, basados en el área de mayor impacto total, que será aquella con el mayor nivel de criticidad.

- e) A nivel del personal: Un buen estudio de criticidad permite potenciar el adiestramiento y desarrollo de habilidades en el personal, dado que se puede diseñar un plan de formación técnica, artesanal y de crecimiento personal, basado en las necesidades reales de la instalación, tomando en cuenta primero las áreas más críticas, que es donde se concentran las mejores oportunidades iniciales de mejora y de agregar el máximo valor.

Información requerida

La condición ideal sería disponer de datos estadísticos de los sistemas a evaluar que fuesen bien precisos, lo cual permitirá cálculos “exactos y absolutos”. Sin embargo, desde el punto de vista práctico, dado que pocas veces se dispone de una data histórica de

excelente calidad, el Análisis de Criticidad permite trabajar en rangos, es decir, establecer cuál es la condición más favorable, así como la condición menos favorable de cada uno de los criterios a evaluar. La información requerida para el análisis siempre estará referida con la frecuencia de fallas y sus consecuencias.

Para obtener la información requerida, el paso inicial es formar un equipo natural de trabajo integrado por un facilitador (experto en Análisis de Criticidad, y quien será el encargado de conducir la actividad), y personal de las organizaciones involucradas en el estudio como lo son operaciones, mantenimiento y especialidades, quienes serán los puntos focales para identificar, seleccionar y conducir al personal conocedor de la realidad operativa de los sistemas objeto del análisis.

Este personal debe conocer el sistema y formar parte de las áreas de: operaciones, mecánica, electricidad, instrumentación, estructura, programadores, especialistas en proceso, diseñadores, etc.; adicionalmente deben formar parte de todos los estratos de la organización, es decir, personal gerencial, supervisor, capataces y obreros, dado que cada uno de ellos tiene un nivel particular de conocimiento, así como diferente visión del negocio. Mientras mayor sea el número de personas involucradas en el análisis, se tendrán mayores puntos de vista evitando resultados parcializados, además el personal que participa nivela conocimientos y acepta con mayor facilidad los resultados, dado que su opinión fue tomada en cuenta

Manejo de la información

Las labores a realizar comienzan con una discusión entre los representantes principales del equipo natural de trabajo, para preparar una lista de todos los sistemas que forman parte del análisis. El método es sencillo y está basado exclusivamente en el conocimiento de los participantes, el cual es plasmado en una encuesta preferiblemente personal (puede adoptarse el trabajo de grupo, pero con mucho cuidado para evitar que “líderes naturales” parcialicen los resultados con su opinión personal). El facilitador del análisis debe garantizar que todo el personal involucrado entienda la finalidad del trabajo que se realiza, así como el uso que se le da a los resultados que se obtengan. Esto permite que los involucrados le den mayor nivel de importancia y las respuestas sean orientadas de forma más responsable, evitando así el menor número de desviaciones.

A.7. Modelo de Riesgo

El riesgo en mantenimiento puede ser definido como el impacto potencial, ya sea positivo o negativo, a un activo, que puede surgir de algún evento presente o futuro. Se

asocia comúnmente al riesgo con la probabilidad de que algo ocurra y generalmente de una forma negativa.

Con la finalidad de identificar los riesgos e implementar planes que los afronten, es necesaria la gestión de riesgos. Esto debido además a la importancia de saber a dónde dirigir los recursos de una manera económicamente efectiva y eficiente, ya que normalmente el número de activos potencialmente riesgosos son mayores que los recursos disponibles para gestionarlos.

La gestión del riesgo asigna una prioridad relativa para los planes de mitigación de riesgos y su implementación, con el fin de valorar cada uno de los riesgos. En esta valoración se combina la probabilidad que un evento ocurra con el impacto que el evento pueda causar.

Por lo tanto, el Riesgo se puede expresar como:

$$\mathbf{R = P \times C}$$

Donde P está asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema o proceso evaluado en un periodo de tiempo determinado, mientras que C es la consecuencia de la falla, para lo cual se utiliza la ponderación de varios factores.

$$\mathbf{C = (Impacto Operacional \times Flexibilidad Operacional) + Costos de Mantenimiento + Impacto (Seguridad, Ambiente e Higiene)}$$

Luego, el riesgo total es la suma de los riesgos individuales. Los factores son evaluados en reuniones de trabajo por personas involucradas en el contexto operacional.

A.8. Criterios de evaluación

Los criterios o parámetros que se utilizaron para la elaboración de las encuestas, las tablas de ponderación y el cálculo de los valores de criticidad de los sistemas y subsistemas fueron los siguientes:

- a) Frecuencia de Fallas: Representa las veces que falla cualquier componente del sistema que produzca la pérdida de su función, es decir, que implique una parada, en un periodo de un año.

- b) Impacto Operacional: Representa la producción aproximada porcentualmente que se deja de obtener (por día), debido a fallas ocurridas (diferimiento de la producción). Se define como la consecuencia inmediata de la ocurrencia de la falla, que puede representar un paro total o parcial de los equipos del sistema estudiado y al mismo tiempo el paro del proceso productivo de la unidad.
- c) Flexibilidad Operacional: Es el tiempo promedio por día empleado para reparar la falla, se considera desde que el equipo pierde su función hasta que esté disponible para cumplirla nuevamente.
- d) Costos de Mantenimiento: Se refiere al costo promedio por falla requerido para restituir el equipo a condiciones óptimas de funcionamiento, incluye labor, materiales y transporte.
- e) Impacto Seguridad: Representa la posibilidad de que sucedan eventos no deseados que ocasionen daños a equipos e instalaciones y en los cuales alguna persona pueda o no resultar lesionada.
 - f) Impacto Ambiente e Higiene: Representa la posibilidad de que sucedan eventos no deseados que ocasionen daños a equipos e instalaciones produciendo la violación de cualquier regulación ambiental, además de ocasionar daños a otras instalaciones.

Cada variable o factor debe ser evaluado por personal con conocimientos del contexto operacional del equipo o sistema. Posterior a esto se realiza una ponderación de cada una de ellas para finalmente obtener su puntuación final. Los factores ponderados de cada uno de los criterios a ser evaluados por el Modelo de Riesgo se ven expresados en la Tabla N°1.

FRECUENCIA DE FALLAS	
Pobre: mayor a 2 fallas/año	4
Promedio: 1 - 2 fallas/año	3
Buena: 0,5 - 1 falla/año	2
Excelente: menos de 0,5 falla/año	1
IMPACTO OPERACIONAL	
Pérdida de todo el despacho	10
Parada del sistema o subsistema y tiene repercusión en otros sistemas	7
Impacta en niveles de inventario o calidad	4
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	1
FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	
No existe opción de producción y no hay función de repuesto	4
Hay función de repuesto compartido/almacén	2
Función de repuesto disponible	1
COSTO DE MANTENIMIENTO	
Mayor o igual a 800 USD	2
Inferior a 800 USD	1
IMPACTO EN SEGURIDAD, AMBIENTE E HIGIENE	
Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere la notificación a entes externos de la organización	8
Afecta el ambiente /instalaciones	7
Afecta las instalaciones causando daños severos	5
Provoca daños menores (ambiente - seguridad)	3
No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o al ambiente	1

Tabla 25. Factores ponderados a ser evaluados por el modelo de riesgo

Fuente: Elaboración propia

Dependiendo de los valores de ponderación asignados a cada variable se obtiene el máximo valor de riesgo, que en este caso es de 200. Luego se establecen intervalos de criticidad de manera de clasificar los valores de riesgo. Finalmente se construye la matriz de Criticidad; la cual, toma las ponderaciones de frecuencia de fallas en el eje Y, y los valores de impacto en el eje X.

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

Figura 20. Matriz de criticidad por modelo de riesgo

Fuente: Elaboración propia

La matriz de criticidad facilita el análisis e interpretación del valor numérico obtenido; permitiendo relacionar el resultado con el nivel de criticidad que proporciona el riesgo evaluado a un sistema. Nos permite clasificar los activos en tres categorías:

- Sistemas no críticos (NC)
- Sistemas de mediana criticidad (MC)
- Sistemas críticos (C)

Este método puede ser utilizado para determinar los equipos o componentes críticos de un determinado sistema; priorizando así los esfuerzos en los activos más influyentes del proceso en cuanto al mantenimiento. Por ende, permite generar planes de mantenimiento eficientes, ya que considera múltiples factores; como el impacto a la seguridad y el medio ambiente, los costos de mantenimiento y el impacto a la operación productiva.

Para llevar a cabo un análisis de criticidad de activos, tomando en cuenta el modelo de riesgo, se deben realizar las siguientes tareas:

- Definir la finalidad y el alcance del análisis.
- Establecer los factores de riesgo a tomar en cuenta y su importancia relativa.
- Decidir la cantidad de niveles de riesgo.
- Establecer el procedimiento general para la identificación y priorización de los activos críticos.

La valoración de los riesgos es individual para cada sistema, planta o unidad de negocio particular. Por ejemplo, la criticidad para dos plantas similares en una misma industria puede ser diferente, esto se debe a que los factores de riesgo pueden ser distintos o bien tener una importancia relativa distinta. Algunas industrias además gestionan el

riesgo de una forma altamente cuantitativa, como, por ejemplo: la energía nuclear y la industria aeronáutica; donde las consecuencias de las posibles fallas son altamente indeseables.

EJEMPLO: Evaluación de criticidad utilizando Modelo de Riesgo.

En reuniones de trabajo se llevó a cabo la evaluación de los factores ponderados, realizado con la participación de las distintas personas involucradas en el contexto operacional y utilizando los valores de la tabla 1, se alcanzaron los siguientes resultados:

- Frecuencia de fallas: 3
- Impacto operacional: 7
- Flexibilidad operacional: 4
- Costos de mantenimiento: 1
- Impacto en seguridad y ambiente e higiene :8

Luego, se reemplazan los valores obtenidos en la siguiente ecuación, de manera de obtener un valor para las consecuencias.

$$C = (\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad Operacional}) + \text{Costos de Mantenimiento} \\ + \text{Impacto (Seguridad, Ambiente e Higiene)}$$

$$C = (7 \times 4) + 1 + 8 = 37$$

Así, es posible obtener el valor del riesgo, que viene dado por la siguiente ecuación:

$$R = P \times C$$

$$R = 3 \times 37 = 111$$

Por lo tanto, el valor del riesgo, en este caso es de 111. Luego, para una mejor visualización, se realiza una matriz de criticidad. Donde se ubican los valores de la frecuencia y las consecuencias.

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

Figura 21. Matriz de criticidad por riesgo

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se observa en la matriz que el sistema evaluado se encuentra en la categoría de mayor criticidad.

A.9. Análisis de Pareto

El análisis de Pareto es una técnica de estadística sencilla que permite discriminar los actores o parámetros más influyentes en alguna variable de estudio, mediante un método de análisis gráfico; por ende, permite identificar los elementos críticos de un sistema.

Esta técnica se basa en que el principio de los problemas es ocasionado por un pequeño grupo de causas de un total posible (pocos significativos). Es conocido como la regla del ochenta veinte; ya que postula que el 80% de los efectos son provocados por el 20% de los factores. Vilfredo Pareto demostró que esta regla empírica se puede aplicar a muchos aspectos de la vida; siendo algunos de estos; el análisis de fallas de un sistema y el control de calidad de los productos.

Para su ejecución es necesario elaborar un diagrama que combina dos curvas estadísticas: el histograma (representación de la frecuencia absoluta) y la ojiva (representación de la frecuencia relativa acumulada). Este diagrama puede ser referenciado como diagrama Pareto, diagrama A-B-C o diagrama ochenta veinte. Las variables de estudio pueden ser: cantidades de fallas, tiempo de reparación, costo de las fallas, etc., sin embargo, solo permite el análisis de una variable a la vez.

La metodología para su elaboración considera la realización de las siguientes etapas:

- a) Definir el problema y su alcance.
- b) Definir la variable más representativa del problema.
- c) Listar el histórico de las causas relacionadas con el problema y su respectiva frecuencia absoluta.
- d) Ordenar la lista de causas de mayor a menor (según su frecuencia absoluta).
- e) Obtener las frecuencias relativas de cada causa (porcentaje que representa cada evento respecto al total) y obtener la columna de frecuencia acumulada.
- f) Confeccionar un diagrama de barras (Histograma), con el porcentaje de incidencia en el problema de cada causa ordenado de mayor a menor. En el mismo diagrama debe graficarse los valores obtenidos en la columna de frecuencia acumulada (Ojiva).
- g) Seleccionar los eventos o causas cuya suma acumulada sea igual o mayor al 80% de las causas respecto al total. Estos eventos corresponderán al 20% postulados por Pareto.

A.10. Análisis de modo y efecto de falla (FMEA o AMEF)

Herramienta de análisis enfocada en poder identificar los modos de falla, causas de fallas, sus efectos y consecuencias al ocurrir durante el proceso de operación. Esta herramienta puede ser usada en sistemas, equipos o componentes; por lo que puede ser usada también para jerarquizar activos.

El siguiente esquema representa el flujograma de implementación de la técnica FMEA.

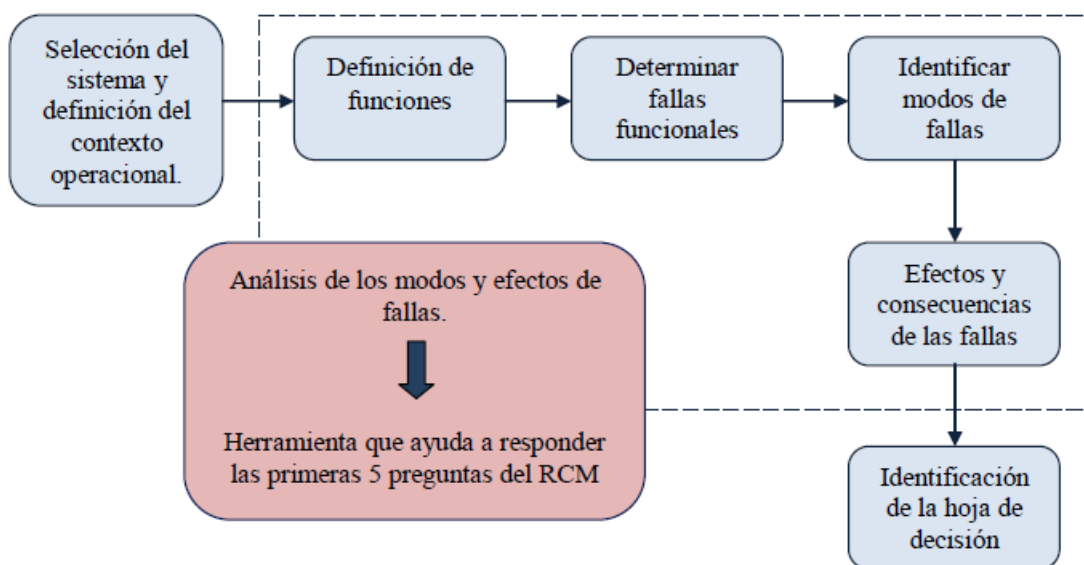


Figura 22. Flujograma de implementación de la técnica FMEA

Fuente: parra, carlos. Material para curso de “Mantenimiento Centrado en Confiabilidad”. Certificado por INGEMAN

La metodología FMEA se divide en las siguientes etapas principales.

a) Definición de funciones

Esta etapa consta en definir la o las funciones que realizan los activos dentro de su contexto normal de funcionamiento. Apunta en definir claramente la funcionalidad específica que aporta el activo al sistema. Puede que un activo cumpla más de una función en el sistema.

b) Descripción de fallas funcionales

Una falla se define como la incapacidad de un activo para cumplir con su funcionamiento esperado; por ende, basta con que un activo pierda eficiencia como para ser considerado en estado de falla. Cualquier alteración de la función previamente definida debe ser detallada en esta etapa.

c) Identificar los modos de fallas

Aquí comienza el análisis de modo y efecto de falla (FMEA) propiamente tal, luego de definir e identificar las funciones y las fallas funcionales; el siguiente paso es identificar todos los eventos o factores que puedan provocar el estado de falla. Estos eventos son los llamados modos de falla.

Los modos de falla pueden incluir averías causadas por deterioro debido a condiciones ambientales, desgaste por uso vida útil, así como también, fallas causadas por errores humanos (por operadores y mantenedores) y de diseño, es decir, se debe identificar todo aquello que pueda causar que el equipo falle.

Una buena manera de clasificar los modos de falla es agrupándolo según su origen; a este tipo de clasificación se le denomina: clasificación por causa.

Según esta clasificación los modos de falla pueden ser los siguientes:

- De diseño.
- De fabricación.
- De traslado
- De uso u operación.
- Por desgaste natural o envejecimiento.

d) Describir los efectos de los modos de fallas identificados

Cada modo de falla tiene su respectiva consecuencia en la gestión del mantenimiento. Dentro de los efectos más recurrentes se destacan los que impliquen un tiempo de inactividad en el proceso productivo, aquellos que afecten la calidad del producto, aquellos que inhabiliten el sistema por seguridad, etc.

Cuando se describen los efectos de las fallas, se debe tomar en cuenta la siguiente información, que apoya la evaluación de las consecuencias de las fallas:

- Evidencia que la falla a ocurrido.
- Amenazas a la seguridad.
- Efectos en la producción u operaciones.
- Daños físicos causados por las fallas.
- Reparaciones necesarias para corregir los efectos de las fallas.

Determinación de consecuencia de un modo de falla

El determinar y tener claridad de las consecuencias de los diferentes modos de falla es de vital importancia para poder seleccionar las acciones de mantenimiento a aplicar.

La importancia de la consecuencia de una falla es más impórtate que las propias características técnicas de la falla. Reconoce que el mantenimiento proactivo no trata de evitar la falla en sí, si no que intenta reducir la consecuencia de esa falla.

Las consecuencias pueden clasificarse en los siguientes tipos:

- a) Consecuencias de seguridad y medio ambientales: Una falla tiene una consecuencia en seguridad si provoca algún tipo de lesión a una o más personas. Tiene consecuencias medio ambientales, si lleva a infringir un estándar medioambiental corporativo, regional, nacional o internacional.
- b) Consecuencias operacionales: Esta ocurre si la falla afecta a la producción.
- c) Consecuencias no operacionales: Esta involucra solo costos directos de reparación.
- d) Consecuencia de fallas ocultas: Las fallas ocultas no tienen un impacto directo con la producción, pero exponen a la organización a fallas múltiples, regularmente con consecuencias serias.