



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**APLICACIÓN DE LA INGENIERÍA DE LA FIABILIDAD A LOS
MONTACARGAS DE PASILLOS ESTRECHOS DE LA EMPRESA
EQUAESTIBAS EN EL PUERTO MARÍTIMO DE GUAYAQUIL**

STALIN EDUARDO NUELA SEVILLA

Trabajo de Titulación modalidad: Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado
ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito
parcial para la obtención del grado de:

MAGISTER EN GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

RIOBAMBA-ECUADOR

Enero 2017

DERECHOS INTELECTUALES

Yo Stalin Eduardo Nuela Sevilla, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

STALIN EDUARDO NUELA SEVILLA

1803611407

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Stalin Eduardo Nuela Sevilla, declaro que el presente proyecto de investigación, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación de Maestría.

STALIN EDUARDO NUELA SEVILLA

1803611407

AGRADECIMIENTO

A todo mi entorno familiar que han estado presentes en los momentos de adversidad y de alegría.

A quienes han tenido la oportunidad de compartir un entorno laboral y que han sido parte del aprendizaje ganado día a día en las tareas que se nos han encomendado.

A quienes han estado presentes en el ámbito de la enseñanza que a través de sus directrices y conocimiento compartidos han hecho que este trabajo se llegue a concretar.

Stalin

RESUMEN

Se realizó el estudio de fiabilidad a los montacargas de pasillos estrechos para reducir las pérdidas económicas que provocan los fallos en esos equipos en la empresa Ecuastibas de Guayaquil. Se recolectó los datos de diez montacargas. Con los datos se realizó el análisis de las funciones de los elementos del montacargas para elaborar sus anti funciones, que conlleva a determinar la causa que provoca esos fallos, lo cual se lo conoce como modo de fallo. Una vez que se tuvo las funciones, los fallos, los modos de fallo, se procedió a realizar un cálculo de los tiempos medios entre fallos que han ocurrido en el periodo 2014-2015. Con los calculados se pudo realizar las inspecciones a los sistemas hidráulicos, eléctrico, estructural y de movimiento que conforman el equipo previamente a la ocurrencia del fallo, debido a que ya se analizaron los modos de fallo que han ocurrido en los montacargas cuyos ítems deben ser los de atención para este estudio, apoyados en los parámetros que piden inspeccionar las normas técnicas ANSI B56.1 de Estados Unidos, NTP 715 de España, y NT 22 de Ecuador. Los tiempos medios entre fallo del sistema hidráulico es 819 horas, el sistema eléctrico en 1027 horas, el sistema de movimiento en 820 horas y el sistema estructural en 821 horas; el sistema eléctrico presenta un total de 103, 5 horas, seguido del sistema hidráulico con 97,5 horas de fallo, el sistema de movimiento con 50 horas, y el sistema estructural con 47,5 horas de fallo. Se concluye que las pérdidas económicas de mantenimientos se ven reducidos sí se aplica la ingeniería de la fiabilidad, y también se reducen los fallos que ocurren a los montacargas. Se recomienda aplicar el plan de mantenimiento propuesto a los equipos de levantamiento de carga de la empresa Ecuastibas.

Palabras clave: <INGENIERÍA DE FIABILIDAD><MONTACARGAS><INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO><EMPRESA ECUASTIBAS><PLAN DE MANTENIMIENTO >><LOGISTICA EN PUERTOS><GUAYAQUIL (CANTÓN)>

SUMMARY

A reliability study to short step freight elevators was carried out to reduce the economic losses caused by the breakdowns in this equipment in the Enterprise Ecuastibas of Guayaquil. Data from ten freight elevators were collected. From the data the analysis of the functions of the elements of the freight elevators as conducted to elaborate its anti-functions wich determines the cause provoking thouse breakdown which is known as breakdown mode. Once these function, the breakdown, the breakdown modes where obtained, a calculus of the mean times between breakdowns occurring in the 2014 2015 period were carried out. With the calculing, it was possible to perform inspections to the hydraulic, electric, structural, and movement systems conforming the equipment previous to the breakdown occurrence. Due to the fact that the breakdown modes occurring in the freight elevators were already analyzed and whose items should deserve attention for this study supported in the parameters wich call for inspection the technical norms ANSI B56.1 of United States, NTP 715 of Spain and NT 22 of Ecuador. The mean times between the systems breakdown is 819 hours, the electric system 1027 hours, the movement system 820 hours and the structural system 821 hours; the electric system presents a total of 103.5 hours followed by the hydraulic systems with 97.5 hours breakdown, the movement system with 50 hours and the structural system with 47,5 breakdown. It's concluded that the economic losses of maintenance are reduced if the reliability engineering is applied, reducing at the same time the breakdowns occurring to the freight elevators. It's recommended to apply the maintenance plan proposed for the freight elevator equipment of enterprise Ecuastibas.

Keywords: <ENGINEERING RELIABILITY> <Counterbalance> <ENGINEERING MAINTENANCE> <COMPANY ECUAESTIBAS> <PLAN MAINTENANCE> <LIFTING OF CAEGAS> <SOFTWARE MAINTENANCE> <LOGISTICA IN PORTS

ÍNDICE

RESUMEN.....	iv
SUMMARY.....	v
CAPITULO	
I.....	1
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Formulación del problema	7
1.3 Sistematización del problema.....	7
1.4 Justificación de la investigación	7
1.5 Objetivo general y específico.....	8
1.6 Hipótesis	9
CAPÍTULO II.....	10
2 MARCO DE REFERENCIA.....	10
2.1 Mantenimiento.....	10
2.2 Ingeniería de la fiabilidad	11
2.3 Montacargas	12
2.4 Normativas de inspección y mantenimiento.	14
2.5 Fases de mantenimiento basado en fiabilidad	16
CAPÍTULO III	27
3 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	27
3.1 Fase previa: Recolección de datos de los montacargas de la empresa ECUAESTIBAS.....	27
3.2 Fase 0: Funciones y especificaciones.....	29
3.3 Fase 1: Listado y codificación de elementos de los montacargas	42
3.4 Fase 2: Determinación de los fallos	42
3.5 Fase 3: Determinación de los modos de fallo	45
3.6 Análisis de fallos ocurridos en los montacargas 2014-2015.....	48
3.7 Fase 4: criticidad de los fallos	54
3.8 Establecimiento jerárquico de los fallos ocurridos.....	58

3.9	Índice de fiabilidad.....	61
3.10	Determinación de los criterios de mantenimiento existentes en la planta.....	63
	CAPÍTULO IV.....	64
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	64
4.1	Plan de mantenimiento de montacargas, aplicando la ingeniería de fiabilidad a la empresa ECUAESTIBAS	64
4.2	Algoritmo de intervención en mantenimiento de los montacargas	71
4.3	Comparación de los costos de mantenimiento con y sin la ingeniería de la fiabilidad	72
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	78
	BIBLIOGRAFÍA	81
	ANEXOS	83

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Listado de montacargas ECUAESTIBAS.....	3
Tabla 2-1 Fallos ocurridos en el sistema eléctrico 2014 a 2015.....	5
Tabla 3-1 Cantidad de fallos por sistema.....	6
Tabla 1-2 Matriz de criticidad.....	24
Tabla 1-3 Listado de montacargas ECUAESTIBAS.....	28
Tabla 2-3 Codificación de elementos.....	42
Tabla 3-3 Horas de fallo sistema eléctrico.....	49
Tabla 4-3 Porcentaje de fallo sistema eléctrico.....	49
Tabla 5-3 Horas de fallo sistema hidráulico.....	50
Tabla 6-3 Porcentaje de fallo sistema hidráulico.....	51
Tabla 7-3 Horas de fallo sistema estructural.....	51
Tabla 8-3 Porcentaje de fallo sistema estructural.....	52
Tabla 9-3 Horas de fallo sistema de movimiento.....	52
Tabla 10-3 Porcentaje de fallos sistema de movimiento.....	53
Tabla 11-3 Horas de fallo en función de cada sistema.....	53
Tabla 12-3 Tipos de modo de fallo por sistema.....	54
Tabla 13-3 Matriz de criticidad.....	56
Tabla 14-3 Codificación de modos de fallo.....	56
Tabla 15-3 Matriz de criticidad montacargas ECUAESTIBAS.....	57
Tabla 16-3 Valoración gráfica de implicaciones de seguridad.....	58
Tabla 17-3 Valoración gráfica de implicaciones de ambiente.....	59
Tabla 18-3 Valoración gráfica de las implicaciones de producción.....	60
Tabla 19-3 Valoración gráfica de las implicaciones de mantenimiento.....	60
Tabla 20-3 Fiabilidad de los componentes en los años 2014 y 2015.....	62
Tabla 1-4 Frecuencias de inspección de los montacargas.....	65
Tabla 2-4 Ejemplo de base de datos de montacargas.....	66
Tabla 3-4 Tabla de registro de datos en función hodómetro.....	67
Tabla 4-4 Tiempo de inspección de los elementos del montacargas.....	68
Tabla 5-4 Tiempo de emisión de orden de trabajo de mantenimiento.....	69
Tabla 6-4 Tiempo máximo para realizar el mantenimiento.....	70

Tabla 7-4 Costos de mantenimiento y pérdida de producción.....	73
Tabla 8-4 Costos de mantenimiento con aplicación de fiabilidad.....	74
Tabla 9-4 Ejecución de tareas basadas en fiabilidad.....	76
Tabla 10-4 Comparación de horas y fallos entre 2014 y 2016.....	77
Tabla 11-4 Ítems de inspección de montacargas.....	79

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Logotipo de la empresa ECUAESTIBAS.....	1
Figura 2-1 Montacargas de pasillos estrechos Crown RD 5200.....	2
Figura 3-1 Sistemas de un montacargas.....	4
Figura 4-1 Consecuencias de los fallos en los equipos.....	6
Figura 1-2 Partes del montacargas.....	12
Figura 2-2 Tipos de montacargas.....	13
Figura 3-2 Operación de montacargas en hangar del puerto.....	13
Figura 4-2 Normativas nacionales e internacionales de montacargas.....	14
Figura 5-2 Jerarquía de partes de un equipo o planta.....	17
Figura 1-3 Montacargas Crown rd 5200.....	28
Figura 2-3 Batería usada en montacargas Crown.....	30
Figura 3-3 Cables de montacargas Crown (2016).....	31
Figura 4-3 Conexiones del montacargas Crown.....	31
Figura 5-3 Motor bomba de sistema hidráulico.....	32
Figura 6-3 Motor de movimiento del montacargas Crown.....	33
Figura 7-3 Tanque del montacargas Crown (2016).....	34
Figura 8-3 Filtro de montacargas Crown (2016).....	34
Figura 9-3 Bomba hidráulica de montacargas Crown.....	35
Figura 10-3 Mangueras hidráulicas de montacargas Hely.....	36
Figura 11-3 Acoples galvanizados de montacargas Hely.....	36
Figura 12-3 Chasis de montacargas.....	37
Figura 13-3 Horquillas de montacargas Hely.....	38
Figura 14-3 Mástil de montacargas.....	39
Figura 15-3 Configuración de cadenas.....	40
Figura 16-3 Rodamiento de mástil.....	40
Figura 17-3 Ruedas macizas de montacargas.....	41
Figura 18-3 Freno de disco montacargas Crown.....	41
Figura1-4.- Algoritmo de mantenimiento de montacargas.....	71

CAPITULO I

1 INTRODUCCIÓN

ECUAESTIBAS S.A. es una empresa ecuatoriana constituida como sociedad anónima, filial de Sudamericana Agencias Aéreas y Marítimas (SAAM) en el Ecuador. Inicia operaciones en el año 1995 y sus principales actividades están relacionadas con los servicios portuarios a la carga y a las naves en todos los puertos ecuatorianos. Dentro de ellas se cuentan: remolcadores, estiba / desestiba, almacenaje de contenedores y carga general, depósito y talleres de contenedores, grúas de carga pesada móviles, equipos portuarios y logística de carga. (ECUAESTIBAS, 2015)

El compromiso es satisfacer al cliente por medio de la excelencia operacional en los servicios de Grúas Móviles y Flota alcanzada con la unión de voluntades del personal, su competencia y permanente superación. A ello se agrega la estrategia de diferenciación basada en la permanente comunicación con el cliente, la rápida adaptación a las necesidades individuales, la inversión en tecnología y actualización de procesos y la mayor cobertura que también se destaca en el logotipo de comercialización. (ECUAESTIBAS, 2015)



Figura 1-1 Logotipo de la empresa ECUAESTIBAS.
Fuente: ECUAESTIBAS, (2016).

Los montacargas para pasillos estrechos sirven para llevar a cabo el almacenaje en pasillos muy angostos. Es ideal para solucionar problemas de carga y descarga en espacios reducidos (figura 2-1).



Figura 2-1 Montacargas de pasillos estrechos Crown RD 5200.
Fuente: CROWN EQUIPMENT (2016)

En la figura 2-1 se aprecia uno de los montacargas utilizado en la empresa, el Crown RD 5200, con capacidad de levante de 2000 kg, impulsado por baterías de plomo.

1.1 Planteamiento del problema

La falta de un plan de mantenimiento en los montacargas de pasillo estrecho provoca fallos en los equipos que siempre están en mantenimiento correctivo, desencadenando en en pérdidas económicas a la empresa.

La empresa ECUAESTIBAS realiza actividades de manipulación de cargas (embarque, desembarque) con equipos de izaje o levantamiento de cargas mecánico; el estudio que se plantea en esta tesis está orientado a los equipos de manipulación de cargas que se encuentran en los hangares. Estos equipos son los montacargas de pasillos estrechos, que se utilizan en la zona de importaciones, pues es aquí donde se almacena varios productos de menor tonelaje y que no necesariamente se lo traslada en los contenedores. El movimiento de carga dentro de los hangares tanto de las importaciones y de la distribución hacia el cliente en Ecuador, hace que la disponibilidad de estos equipos sea

indispensable, pues el ingreso económico que tiene ECUAESTIBAS en esta área, es en función del número de pallets ingresados o despachados de los hangares.

En muchas empresas, el área de mantenimiento y el área de producción son áreas que no están trabajando de manera coordinada sino cada uno busca el mejor beneficio sin darle importancia a la cooperación entre áreas, y el deseo de cualquier empresa siempre será producir, en este caso el deseo de esta empresa es ingresar y despachar carga, por lo que el mantenimiento de estos montacargas se desarrolló solo de manera correctiva.

Población de estudio.- El total de equipos que posee ECUAESTIBAS en cuanto a este tipo de montacargas se refiere, se lo aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 1-1 Listado de montacargas ECUAESTIBAS

CODIGO	MARCA	MODELO	AÑO DE FABRICACIÓN	CAPACIDAD
MC1	Crown	RD 5200	2002	2T
MC2	Crown	RD 5200	2002	2T
MC3	Crown	RD 5200	2002	2T
MC4	Crown	RD 5200	2005	2T
MC5	Crown	RD 5200	2005	2T
MC6	Crown	RD 5200	2005	2T
MC7	Crown	RD 5200	2009	2T
MC8	Crown	RD 5200	2009	2T
MC9	Crown	RD 5200	2009	2T
MC10	Crown	RD 5200	2009	2T

Fuente: ECUAESTIBAS, 2016.
Realizado por: Nuela S.

Se puede apreciar en la tabla 1-1, los montacargas fueron incrementándose y también su año de fabricación, y conservando siempre la capacidad de carga

Los montacargas existentes en la empresa son de la marca CROWN con la misma capacidad, funcionamiento.

Para entendimiento de los fallos ocurridos, se da a conocer en la siguiente figura 3-1, los elementos que conforman cada uno de los sistemas del montacargas:

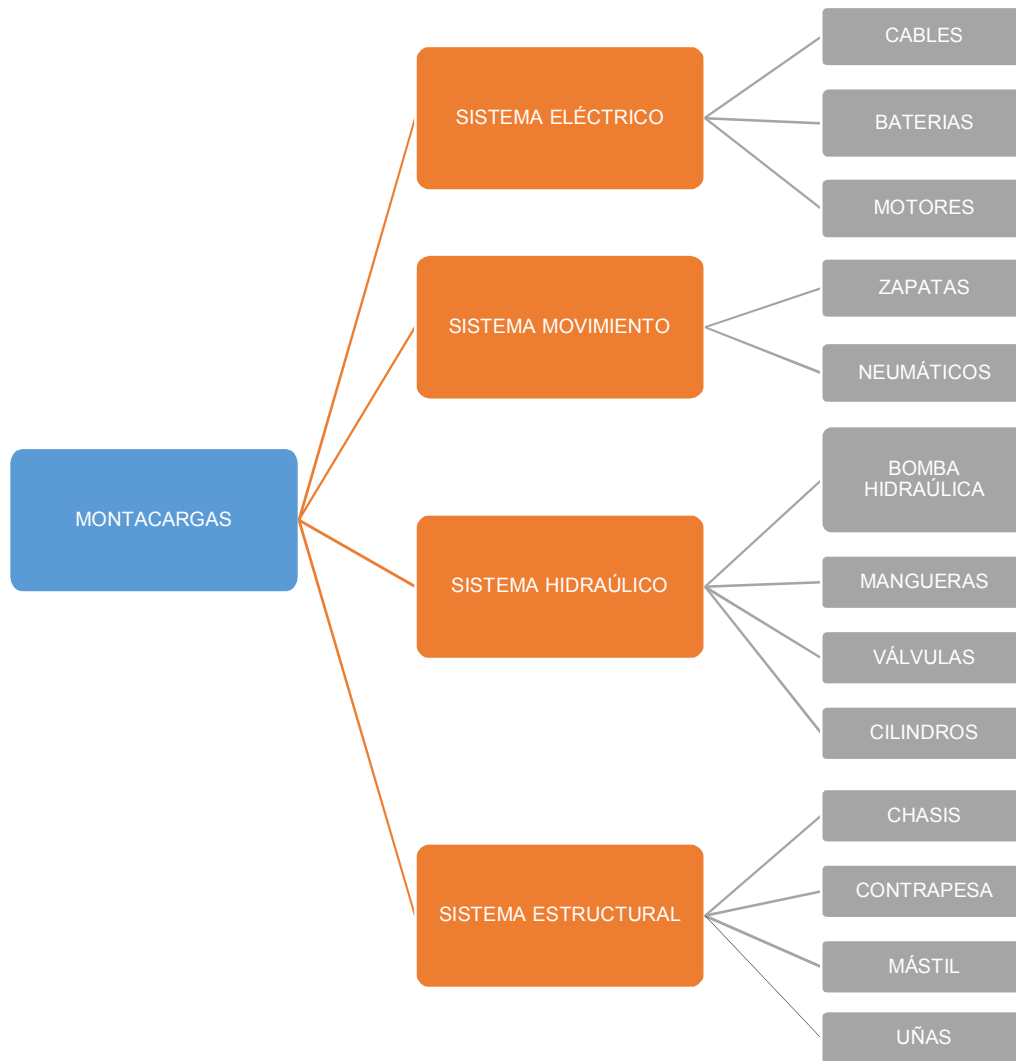


Figura 3-1 Sistemas de un montacargas
 Fuente: Realizado por Nuela S. 2016

Ahora que se conoce los sistemas que conforman un montacargas eléctrico, se muestra a continuación en la Tabla 2-1 un detalle de los mantenimientos correctivos realizados en los últimos dos años, 2014 a 2015.

Tabla 2-1 Fallos ocurridos en el sistema eléctrico 2014 a 2015.

FECHA	SISTEMA	FECHA	SISTEMA	FECHA	SISTEMA	FECHA	SISTEMA
2014-01-03	SE	2014-05-30	SE	2014-11-29	SS	2015-07-02	SH
2014-01-04	SH	2014-06-13	SH	2014-12-05	SE	2015-07-15	SE
2014-01-07	SS	2014-06-18	SS	2014-12-10	SH	2015-08-11	SH
2014-01-08	SE	2014-06-20	SE	2015-01-06	SS	2015-08-26	SH
2014-01-10	SH	2014-06-27	SH	2015-01-17	SE	2015-08-29	SH
2014-01-11	SE	2014-07-19	SE	2015-02-04	SH	2015-09-01	SS
2014-01-14	SS	2014-07-30	SE	2015-02-14	SM	2015-09-04	SE
2014-01-21	SH	2014-08-08	SM	2015-02-17	SH	2015-09-11	SE
2014-02-04	SS	2014-08-09	SE	2015-03-11	SS	2015-10-10	SS
2014-02-06	SH	2014-08-19	SS	2015-03-18	SH	2015-10-14	SS
2014-02-14	SH	2014-08-29	SE	2015-03-19	SE	2015-10-21	SH
2014-02-19	SE	2014-09-09	SH	2015-04-08	SM	2015-11-14	SS
2014-02-27	SE	2014-09-19	SE	2015-04-15	SM	2015-11-18	SM
2014-03-05	SM	2014-10-01	SM	2015-04-17	SS	2015-11-20	SE
2014-03-12	SH	2014-10-04	SE	2015-04-28	SE	2015-11-28	SH
2014-03-21	SH	2014-10-08	SS	2015-05-16	SH	2015-12-02	SE
2014-03-25	SE	2014-10-10	SH	2015-05-22	SH	2015-12-04	SH
2014-04-01	SH	2014-10-21	SS	2015-06-13	SS	2015-12-09	SE
2014-04-19	SS	2014-10-28	SS	2015-06-20	SE	2015-12-11	SS
2014-05-15	SE	2014-11-12	SH	2015-06-25	SM	2015-12-18	SE
2014-05-28	SS	2014-11-13	SE	2015-07-01	SE	2015-12-23	SE

Fuente: ECUAESTIBAS 2016.

Realizado por: Nuela S.

En la tabla anterior se muestra los fallos del sistema eléctrico SE, del sistema hidráulico SH, del sistema estructural SS, y del sistema de movimiento SM. Según lo visto en la tabla 2-1, se tiene que los montacargas han sufrido algún desperfecto en cada mes de trabajo, sea por sistema eléctrico, hidráulico, estructural o de movimiento.

Para resumir la tabla anterior, se da a conocer un cuadro con el total de fallos ocurridas por sistema a lo largo de los años 2014 a 2015 que se muestra a continuación en la tabla 3-1.

Tabla 3-1 Cantidad de fallos por sistema.

SISTEMA	CÓDIGO	CANTIDAD DE FALLOS
Eléctrico	SH	30
Hidráulico	SH	26
Estructural	SS	20
Movimiento	SM	8
Total		30

Fuente: ECUAESTIBAS 2016.
Realizado por: Stalin Nuela

De acuerdo a la información mostrada en la tabla 3-1, la mayor parte de fallos recae sobre los sistemas eléctricos e hidráulicos, en primer y segundo lugar respectivamente.

Además de las pérdidas económicas y pérdidas de tiempo que se tiene en la empresa, se tiene también una serie de consecuencias que acarrea la constante presencia de mantenimientos correctivos, para apreciación de esto se muestra la figura 4-1.

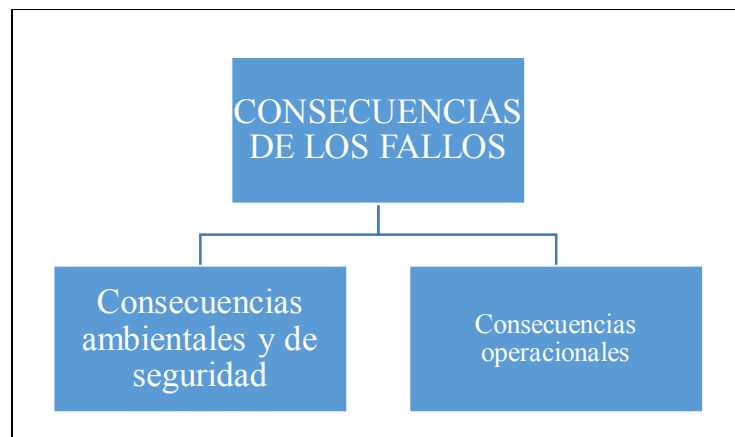


Figura 4-1 Consecuencias de los fallos en los equipos
Fuente: Realizado por: Nuela S. 2016

1.2 Formulación del problema

¿La falta de un plan de mantenimiento basado en ingeniería de la fiabilidad a los montacargas de pasillo estrecho en la empresa ECUAESTIBAS provoca continuos costos de reparación y pérdidas económicas a la empresa?

1.3 Sistematización del problema

- a) ¿Existe fundamentos teóricos en relación a la fiabilidad?
- b) ¿Se dispone de datos referentes a fallos de los montacargas de la empresa ECUAESTIBAS?
- c) ¿La falta de un programa de mantenimiento basado en fiabilidad provoca mantenimientos correctivos y pérdidas económicas?
- d) ¿Existe normativas nacionales o internacionales acerca de mantenimiento e inspección de montacargas?
- e) ¿Se puede proponer un mantenimiento basado en fiabilidad?

1.4 Justificación de la investigación

1.4.1 Justificación teórica

El objetivo de las técnicas de análisis de fiabilidad es aumentar la disponibilidad operacional del equipo y la seguridad desde el punto de vista funcional. El mantenimiento basado en la fiabilidad se usa para hacer evaluaciones y tomar decisiones y tratar de obtener los resultados reales esperados. Con esto se puede saber si un elemento cumple con su función en un intervalo especificado y en ciertas condiciones establecidas. Las maquinas tendrán tiempos de buen funcionamiento y tiempos de avería.

De acuerdo a las normas técnicas de prevención de España, es importante seguir estrictamente las pautas de mantenimiento básico que el fabricante de los de los montacargas de pasillo estrecho entrega en el manual de instrucciones.

Este mantenimiento consiste en técnicas de detección, sustitución de partes, corrección de anomalías de funcionamiento y reparación de averías.

1.4.2 Justificación metodológica

Con la ayuda del método inductivo, hipotético-deductivo se llevará a cabo esta investigación. Con la aplicación de la ingeniería de la fiabilidad se logrará el aumento de la disponibilidad operativa de los montacargas de pasillo estrecho.

El mantenimiento consistirá en realizar ciertas reparaciones o cambios de componentes o piezas según intervalos de tiempo o según determinados criterios prestablecidos para reducir la posibilidad de avería del montacargas de pasillo estrecho.

Para lograr este aumento de disponibilidad, se tendrá en cuenta las instrucciones dadas por el fabricante, las características del equipo y las condiciones de utilización.

1.4.3 Justificación práctica

Con el estudio que se realizará en este proyecto, se tendrá como resultado un plan de mantenimiento de los montacargas de pasillo estrecho basado en fiabilidad el cual será aplicado en la empresa ECUAESTIBAS.

1.5 Objetivo general y específico

1.5.1 - Objetivo general

Aplicar la ingeniería de la fiabilidad a los montacargas de pasillo estrecho de la empresa ECUAESTIBAS.

1.5.2 Objetivos específicos

- Analizar las concepciones teóricas relacionadas con la ingeniería de la fiabilidad.
- Recopilar los fallos ocurridos en los años 2014 y 2015 en los montacargas de la empresa ECUAESTIBAS.
- Estudiar criterios de inspección y mantenimiento en parámetros establecidos en normativas y guías de Estados Unidos y España.
- Proponer el plan de mantenimiento basado en fiabilidad en la empresa ECUAESTIBAS.

1.6 Hipótesis

La aplicación del mantenimiento basado en la ingeniería de la fiabilidad en la empresa ECUAESTIBAS reduce la ocurrencia de fallos en los elementos que conforman los montacargas de pasillo estrecho, que trae la consecuencia de pérdidas económicas debido a las paradas ocasionadas por los fallos y sus correspondientes mantenimientos correctivos.

CAPÍTULO II

2 MARCO DE REFERENCIA

2.1 Mantenimiento

Mantenimiento preventivo.- Es el conjunto de programas de intervenciones o cambios de algunos componentes o piezas según intervalos predeterminados de tiempo o espacios regulares, aunque no se produjeron incidencias, para reducir la probabilidad de avería o pérdida de prestaciones de la máquina. La frecuencia de realización lo determina la información que el fabricante debe haber suministrado al respecto en el Manual de Instrucciones y, siempre en cualquier caso, la experiencia anterior de la propia empresa ligada a las condiciones de trabajo o de uso de la carretilla. Este mantenimiento es, "aceptable" preventivamente hablando. (INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO, 2015)

Mantenimiento predictivo.- Es el mantenimiento basado en el conocimiento del estado de un equipo, elemento o componente por medición periódica o continua de algún parámetro significativo, cuya alteración permite ser correlacionado con la probabilidad de fallo o avería en el futuro próximo. La intervención de mantenimiento se condiciona a la detección precoz de los síntomas de la avería. Preventivamente es "aceptable" tan solo cuando la fiabilidad de los parámetros de referencia es alta y su medición ofrece garantías. (INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO, 2015)

Mantenimiento de oportunidad.- Es la actuación basada en criterios de oportunidad diferentes a los anteriores y habitualmente aprovechando la realización de los anteriores. Preventivamente es "aceptable" si la reparación o sustitución. (INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO, 2015)

2.2 Ingeniería de la fiabilidad

Fiabilidad Ingeman.- En términos cuantitativos, una gestión eficiente del Mantenimiento permitirá mejorar la Fiabilidad de los activos, incrementando el valor agregado del sistema de producción. El análisis de las diferentes técnicas de Ingeniería de Fiabilidad, es un aspecto fundamental para disminuir la incertidumbre en el proceso de toma de decisiones del Mantenimiento. (INGEMAN, 2015)

Fiabilidad Abb.- La Fiabilidad significa menor necesidad de intervención, y puede usarse para determinar el rendimiento de todas las actividades que conciernen al mantenimiento de equipos. (ABB, 2009)

Fiabilidad Emerson.- Para las organizaciones innovadoras, el mantenimiento basado en fiabilidad es la estrategia líder para dar mantenimiento adecuadamente a un establecimiento. (EMERSON, 2015)

Un programa de mantenimiento basado en fiabilidad comienza por establecer una visión o meta de que contribución hará el mantenimiento en una planta. Luego reúne la pericia, los procesos de trabajo y las tecnologías para lograr esa visión. (EMERSON, 2015)

El mantenimiento basado en fiabilidad MBF es una filosofía de mantenimiento avanzado que diseña balance entre las estrategias de mantenimiento, preventivo, para maximizar la fiabilidad mientras se reducen los costos de operación y mantenimiento. (EMERSON, 2015)

Es la intención del MBF comprender las relaciones de fallo que existen dentro de sistemas de manufactura complejos, y luego concentrar los recursos en lo que es esencial a la operación continua, segura y confiable de la planta. (EMERSON, 2015)

A menudo este objetivo resulta en un aumento a corto plazo en los costos de mantenimiento mientras se corrigen las condiciones deficientes. Luego, los costos de mantenimiento disminuyen a largo plazo, aun para equipo crítico. (EMERSON, 2015)

Fiabilidad Formulación.- Es la probabilidad de que funcione sin fallos durante un tiempo (t) determinado, en unas condiciones operacionales dadas. (SEXTO, 2014)

2.3 Montacargas

Definición.- Se denominan carretillas automotoras de mantenimiento o elevadoras a todas las máquinas que se desplazan por el suelo de tracción motorizada destinadas fundamentalmente a transportar, empujar, tirar o levantar cargas. (INSHT, 2015)

Para cumplir esta función es necesaria una adecuación entre el aparejo de trabajo de la carretilla (implemento) y el tipo de carga. (INSHT, 2015)

La carretilla elevadora es un aparato autónomo apto para llevar cargas en voladizo. Se asienta sobre dos ejes: motriz, el delantero y directriz, el trasero. Pueden ser eléctricas o con motor de combustión interna. (INSHT, 2015)

Las partes que conforman el montacargas se las observa en la figura 1-2.

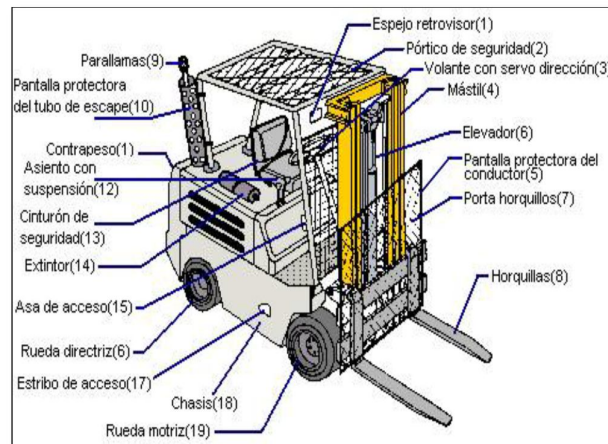


Figura 1-2 Partes del montacargas.

Fuente: Norma técnica de prevención de España NTP 214 (2016).

En la figura 1-2 se pudo apreciar básicamente todos los montacargas poseen horquillas, contrapeso, ruedas, y mástil, y un sistema de propulsión que puede ser eléctrico o algún tipo de motor de combustión interna.

Clasificación.- Cuando se habla de los diferentes tipos de montacargas siempre se considera tres tipos: contrapesadas (o frontales), retráctiles y trilaterales, y los montacargas flexibles de pasillo estrecho, en la figura 2-2 se observa estos montacargas. (LOGÍSTICA, 2015)

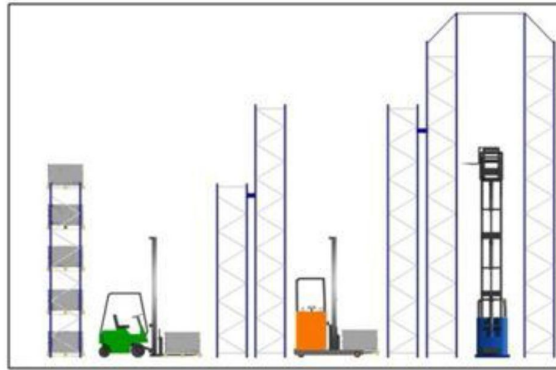


Figura 2-2 Tipos de montacargas.
Fuente: LRM consultoría logística (2016).

El montacargas usado en ECUAESTIBAS es el que se muestra a continuación en la figura 3-2.



Figura 3-2 Operación de montacargas en hangar del puerto.
Fuente: Puerto Guayaquil. Realizado por Stalin Nuela (2016).

El pasillo necesario para una contrapesada es alrededor de 3.5m, en el caso de la retráctil está entre 2,75m-3m y para la trilateral tan solo se requiere de 1,75 m. (LOGÍSTICA, 2015)

La trilateral es una máquina muy cara y muy rígida (se comporta bien dentro de los pasillos gracias a los sistemas filo guiados o de ruedas-guía) que solo aplica cuando hay una necesidad de almacenamiento de paletas muy intensivo y el mayor movimiento es de pallet. (LOGÍSTICA, 2015)

La máquina que se presenta en este estudio, es como un montacargas frontal pero con un mástil que gira 180° y que permite poder operar en pasillos de 2 metros y cambiar de pasillo muy fácilmente. (LOGÍSTICA, 2015)

Además este tipo de montacargas permite trabajar en el exterior, cargar y descargar camiones. (LOGÍSTICA, 2015)

2.4 Normativas de inspección y mantenimiento.

Para el presente estudio se tomará como base técnica los criterios de inspección y mantenimiento de las normativas internacionales establecidas en Estados Unidos y España, tal cual se lo puede ver en la figura 4-2.

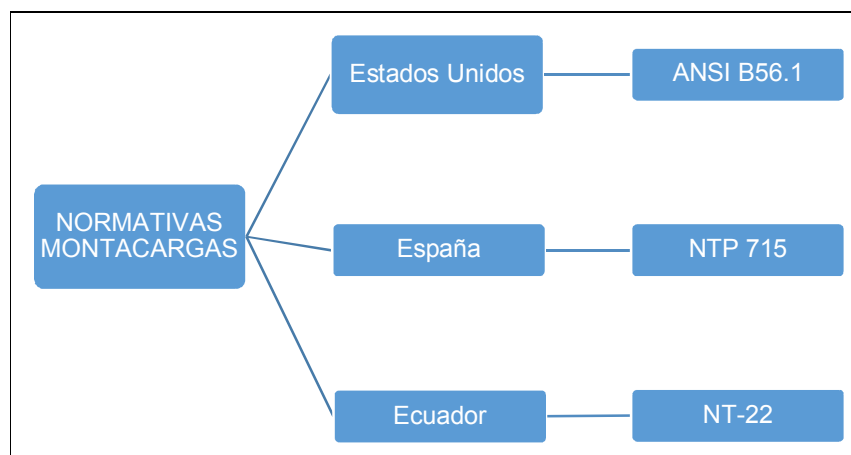


Figura 4-2 Normativas nacionales e internacionales de montacargas.
Fuente: Realizado por Nuela S. 2016

2.4.1 NTP 715

Es una entidad de España en la que se describen buenas prácticas que nos son obligatorias a menos que estén recogidas en una disposición vigente. (INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO, 2015)

En esta normativa se describen los distintos criterios a seguir para realizar un mantenimiento adecuado de los montacargas. El mantenimiento preventivo es el conjunto de programas de intervenciones o cambios de algunos componentes o piezas según intervalos predeterminados de tiempo o espacios regulares, aunque no se produjeron incidencias, para reducir la probabilidad de avería o pérdida de prestaciones de la máquina. (INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO, 2015)

La frecuencia de realización lo determinan la información que el fabricante debe haber suministrado al respecto en el manual de instrucciones y siempre en cualquier caso, la experiencia anterior de la empresa ligada a las condiciones de y trabajo o uso del montacargas. Este mantenimiento es aceptable, preventivamente hablando. (INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO, 2015)

2.4.2 ANSI B56.1

Una norma americana implica una guía para ayudar al fabricante, al consumidor y al público en general. Esta norma provee los lineamientos de seguridad, diseño, operación, y mantenimiento de los montacargas que son usados en superficies compactadas. (ANSI, 2015)

El mantenimiento de los montacargas y sus accesorios debe ser hecho con un programa de mantenimiento planeado, y solo el personal entrenado puede hacer las modificaciones, correcciones y cambios a los montacargas. (ANSI, 2015)

En los casos en donde se necesite hacer reparaciones, estas deberán ser hechas solo por personal del fabricante o personal entrenado. (ANSI, 2015)

2.4.3 NT (Notas técnicas) NT 22

Son información de apoyo que las emite el ministerio de trabajo de Ecuador, en lo referente a temas de seguridad industrial, en el caso particular de la NT 22, esta muestra los parámetros de seguridad en el manejo e inspección de los montacargas. (MINISTERIO DE TRABAJO, 2015)

2.5 Fases de mantenimiento basado en fiabilidad

El mantenimiento basado en fiabilidad, se lo ha establecido en fases, para su mejor desarrollo y comprensión de quienes lo deseen aplicar en sus respectivas empresas. (MILITAR STANDARD, 2015)

2.5.1 Fase 0: Listado y codificación de equipos

El primer problema que se plantea al intentar realizar un análisis de fallos según la metodología es elaborar una lista ordenada de los equipos que hay en ella, para esto se define lo que se tiene en la planta o industria donde se vaya a desarrollar el estudio de acuerdo a lo que se ve en la figura 5-2. (MILITAR STANDARD, 2015)

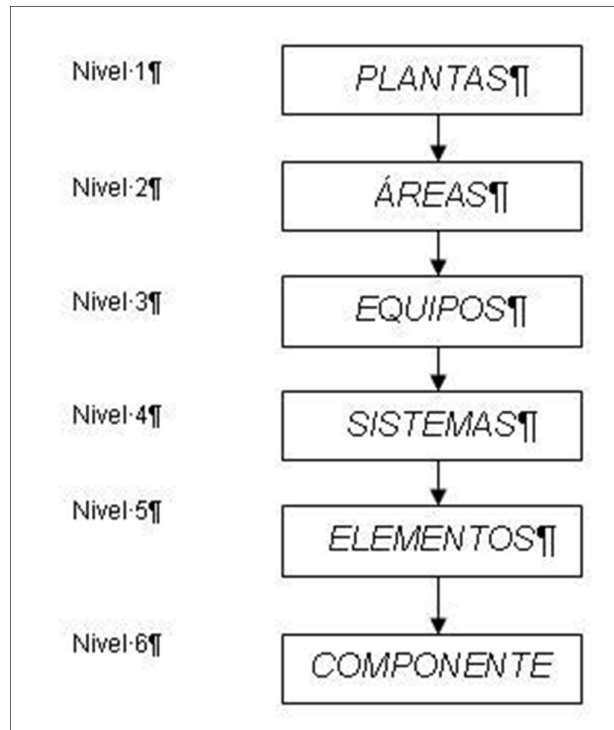


Figura 5-2 Jerarquía de partes de un equipo o planta.
Fuente: Norma militar USA 2173 (2016).

Una empresa puede tener una o varias plantas de producción, cada una de las cuales puede estar dividida en diferentes zonas o áreas funcionales. Estas áreas pueden tener en común la similitud de sus equipos, una línea de producto determinada o una función. Cada una de estas áreas estará formada por un conjunto de equipos, iguales o diferentes, que tienen una entidad propia. Cada equipo, a su vez, está dividido en una serie de sistemas funcionales, que se ocupan de una misión dentro de él. (MILITAR STADARD, 2015)

Los sistemas a su vez se descomponen en elementos (el motor de una bomba de lubricación será un elemento). Los componentes son partes más pequeñas de los elementos, y son las partes que habitualmente se sustituyen en una reparación. (MILITAR STADARD, 2015)

Se define en primer lugar que se entiende por cada uno de estos términos:

- a) Planta: Centro de trabajo. Ej.: Empresa X, Planta de Guayaquil.

b) Área: Zona de la planta que tiene una característica común (centro de coste, similitud de equipos, línea de producto, función). Ej.: Área Servicios Generales, Área hornos, Área Línea 1. (MILITAR STADARD, 2015)

c) Equipo: Cada uno de las unidades productivas que componen el área, que constituyen un conjunto único. (MILITAR STADARD, 2015)

d) Sistema: Conjunto de elementos que tienen una función común dentro de un equipo. (MILITAR STADARD, 2015)

e) Elemento: cada uno de las partes que integran un sistema. Ej.: el motor de la bomba de lubricación de un compresor. Es importante diferenciar elemento y equipo. Un equipo puede estar conectado o dar servicio a más de un equipo. Un elemento, en cambio, solo puede pertenecer a un equipo. Si el ítem que se trata de identificar puede estar conectado o dar servicio simultáneamente a más de un equipo, será un equipo, y no un elemento. (MILITAR STADARD, 2015)

Así si una bomba de lubricación sólo lubrica un compresor, se tratará de un elemento del compresor. Si en cambio, se trata de una bomba que envía aceite de lubricación a varios compresores (sistema de lubricación centralizado) se tratará en realidad de otro equipo, y no de un elemento de alguno de ellos. (MILITAR STADARD, 2015)

f) Componentes: partes en que puede subdividirse un elemento. Ej.: Rodamiento de un motor junta rascadora de un cilindro neumático. Existe un problema al determinar cómo clasificar las redes de distribución de determinados fluidos, como el agua de refrigeración, el aire comprimido, el agua contra-incendios, la red de vacío, etc. Una posible alternativa es considerar toda la red como un Equipo y cada una de las válvulas y tuberías como elementos de ese equipo. Es una solución discutible, pero muy práctica. (MILITAR STADARD, 2015)

2.5.2 Fase 1: Listado de funciones y sus especificaciones

Completar esta fase significa detallar todas las funciones que tiene el sistema que se está estudiando, cuantificando cuando sea posible como se lleva a cabo esa función (especificación a alcanzar por el sistema). (MILITAR STADARD, 2015)

Por ejemplo si se analiza una caldera su función es producir vapor en unas condiciones de presión, temperatura y composición determinadas y con un caudal dentro de un rango concreto. (MILITAR STADARD, 2015)

Si no se alcanzan los valores correctos se entiende que el sistema no está cumpliendo su función no está funcionando correctamente y entonces se dirá que tiene un ‘fallo’. (MILITAR STADARD, 2015)

Para que el sistema cumpla su función cada uno de los subsistemas en que se subdivide deben cumplir la suya. Para ello será necesario listar también las funciones de cada uno de los subsistemas. (MILITAR STADARD, 2015)

Por último, cada uno de los subsistemas está compuesto por una serie de equipos. (MILITAR STADARD, 2015)

Posiblemente fuera conveniente detallar la función de cada uno de estos equipos y elementos por muy pequeño que fuera pero esto haría que el trabajo fuera interminable y que los recursos que se debería asignar para la realización de este estudio fueran tan grandes que lo harían inviable. (MILITAR STADARD, 2015)

Por ello solo se detallará las funciones de unos pocos equipos, que se denominarán ‘equipos significativos’. (MILITAR STADARD, 2015)

2.5.3 Fase 2: Determinación de fallos

Un fallo es la incapacidad de un ítem para cumplir alguna de sus funciones. Por ello se dice que si se realiza correctamente el listado de funciones es muy fácil determinar los fallos: se tendrá un posible fallo por cada función que tenga el ítem (sistema, subsistema o equipo) y no se cumpla. (MILITAR STADARD, 2015)

Puede ser conveniente hacer una distinción entre fallos funcionales y fallos técnicos. Se define como fallo funcional aquel fallo que impide al sistema en su conjunto cumplir su función principal. Naturalmente son los más importantes, a continuación un ejemplo. (MILITAR STADARD, 2015)

Un sistema de refrigeración para cumplir su función necesita cumplir una serie de especificaciones. Las más importantes son: caudal de agua de refrigeración, temperatura, presión y composición química. (MILITAR STADARD, 2015)

Un fallo funcional del sistema de refrigeración puede ser:

Caudal insuficiente de agua de refrigeración, será un fallo funcional porque con caudal insuficiente es imposible que el sistema de refrigeración pueda cumplir su función, que es refrigerar. La planta probablemente parará o verá disminuida su capacidad por este motivo. (MILITAR STADARD, 2015)

Los fallos técnicos afectan tanto a sistemas como a subsistemas o equipos. Un fallo técnico es aquel que, no impidiendo al sistema cumplir su función, supone un funcionamiento anormal de una parte de éste. (MILITAR STADARD, 2015)

Estos fallos, aunque de una importancia menor que los fallos funcionales, suponen funcionamientos anormales que pueden tener como consecuencia una degradación acelerada del equipo y acabar convirtiéndose en fallos funcionales del sistema. (MILITAR STADARD, 2015)

Las fuentes de información para determinar los fallos son muy diversas. Entre las principales se puede citar las siguientes: (MILITAR STADARD, 2015)

- a) Consulta al histórico de averías,
- b) Consultas al personal de mantenimiento.
- c) Consultas al personal de producción.

Histórico de averías

El histórico de averías es una fuente de información valiosísima a la hora de determinar los fallos potenciales de una instalación.

El estudio del comportamiento de una instalación, equipo o sistema a través de los documentos en los que se registran las averías e incidencias que pueda haber sufrido en el pasado nos aporta una información esencial para la identificación de fallos. (MILITAR STADARD, 2015)

En algunas plantas no existe un archivo histórico de averías suficientemente fiable, un archivo en el que se hubieran registrado de forma sistemática cada una de las averías que hubiesen tenido cada equipo en un período determinado.

Pero siempre es posible buscar una fuente que nos permita estudiar el historial del equipo. (MILITAR STADARD, 2015)

Personal de mantenimiento

Siempre es conveniente conversar con cada uno de los miembros que componen la plantilla, para que den su opinión sobre los incidentes más habituales y las formas de evitarlos. (MILITAR STADARD, 2015)

Esta consulta ayudará, además, a que el personal de mantenimiento se implique en el RCM. De acuerdo a lo que se verá en el apartado correspondiente, la falta de implicación del personal de mantenimiento será una dificultad para su puesta en marcha del plan de mantenimiento resultante. (MILITAR STADARD, 2015)

Personal de producción

Igual que en el apartado anterior, la consulta al personal de producción nos ayudará a identificar los fallos que más interfieren con la operación de la planta. (MILITAR STADARD, 2015)

2.5.4 Fase 3: Determinación de los modos de fallo

Una vez determinados todos los fallos que pueden presentar un sistema, un subsistema o uno de los equipos significativos que lo componen, deben estudiarse los modos de fallo. Se podría definir ‘modo de fallo’ como la causa primaria de un fallo, o como las circunstancias que acompañan un fallo concreto. (MILITAR STADARD, 2015)

Cada fallo funcional o técnico puede presentar como se ve múltiples modos de fallo. Cada modo de fallo puede tener a su vez múltiples causas, y estas a su vez otras causas, hasta llegar a lo que se denomina ‘causas raíces’. (MILITAR STADARD, 2015)

No obstante, la experiencia demuestra que si se trata de hacer un estudio tan exhaustivo, los recursos necesarios son excesivos. El análisis termina abandonándose con pocos avances, se bloquea. (MILITAR STADARD, 2015)

Es aconsejable estudiar modos de fallo y causas primarias de estos fallos, y no seguir profundizando. De esta forma, se perderá una parte de la información valiosa, pero a cambio, se logra realizar el análisis de fallos de toda la instalación con unos recursos razonables y en un tiempo también razonable. (MILITAR STADARD, 2015)

2.5.5 Fase 4: Estudio de las consecuencias de los fallos. Criticidad

El siguiente paso es determinar los efectos de cada modo de fallo y, una vez determinados, clasificarlos según la gravedad de las consecuencias. (MILITAR STADARD, 2015)

La primera pregunta a responder en cada modo de fallo es, pues: ¿qué pasa si ocurre? Una sencilla explicación lo que sucederá será suficiente. A partir de esta explicación, se estará en condiciones de valorar sus consecuencias para la seguridad y el medio ambiente, para la producción y para el mantenimiento. (MILITAR STADARD, 2015)

Se tiene en consideración tres posibles casos de fallo:

- a) Crítico.
- b) Importante.
- c) Tolerable.

En lo referente a la seguridad y al impacto medioambiental del fallo, se considera que el fallo es *crítico* si existen ciertas posibilidades de que pueda ocurrir, y ocasionaría un accidente grave, bien para la seguridad de las personas o bien para el medioambiente. (MILITAR STADARD, 2015)

Se considera que es *importante* si, aunque las consecuencias para la seguridad y el medioambiente fueran graves, la probabilidad de que ocurra el fallo es baja. Por último, se considera que el fallo es *tolerable* si el fallo tiene poca influencia en estos dos aspectos. (MILITAR STADARD, 2015)

En cuanto a la producción, se puede decir que un fallo es *crítico* si el fallo supone una parada de planta, una disminución del rendimiento o de la capacidad productiva, y además, existe cierta probabilidad de que el fallo pudiera ocurrir. (MILITAR STADARD, 2015)

Si la posibilidad es muy baja, aunque pueda suponer una parada o afecte a la potencia o al rendimiento, el fallo debe ser considerado como *importante*. Y por último, el fallo será tolerable si no afecta a la producción, o lo hace de modo despreciable. (MILITAR STADARD, 2015)

Desde el punto de vista del mantenimiento, si el coste de la reparación (de la suma del fallo más otros fallos que pudiera ocasionar ese) supera una cantidad determinada (por ejemplo, diez mil dólares), el fallo será crítico. (MILITAR STADARD, 2015)

Será importante si está en un rango inferior (por ejemplo, entre mil y diez mil dólares) y será tolerable por debajo de cierta cantidad (por ejemplo, mil dólares). Las cantidades indicadas son meras referencias, aunque pueden considerarse aplicables en muchos casos. (MILITAR STADARD, 2015)

En resumen, para que un fallo sea *crítico*,

- a) Que pueda ocasionar un accidente que afecte a la seguridad o al medioambiente, y que existan ciertas posibilidades de que ocurra. (MILITAR STADARD, 2015)
- b) Que suponga una parada de planta o afecte al rendimiento o a la capacidad de producción. (MILITAR STADARD, 2015)
- c) Que la reparación del fallo más los fallos que provoque este (fallos secundarios) sea superior a cierta cantidad (MILITAR STADARD, 2015)

Para que un fallo sea *importante*:

- a) Que pueda ocasionar un accidente grave, aunque la probabilidad sea baja. (MILITAR STADARD, 2015)
- b) Que pueda suponer una parada de planta, o afecte a la capacidad de producción y/o rendimiento, pero que probabilidad de que ocurra sea baja. (MILITAR STADARD, 2015)
- c) Que el coste de reparación sea medio. (MILITAR STADARD, 2015)

Para que un fallo pueda ser considerado *tolerable*,

- a) Debe tener poca influencia en seguridad y medioambiente. (MILITAR STADARD, 2015)
- b) No afecte a la producción de la planta. (MILITAR STADARD, 2015)
- c) Tenga un coste de reparación bajo. (MILITAR STADARD, 2015)

Se muestra a continuación en la tabla 1-2, un ejemplo de la matriz de criticidad basado en los elementos antes señalados.

Tabla 1-2 Matriz de criticidad.

SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE		PRODUCCIÓN		MANTENIMIENTO	
Accidente grave probable	Crítico	Supone parada o afecta a potencia o rendimiento	Crítico	Alto costo de reparación	Crítico
Accidente grave pero muy poco probable	Importante	Afecta a potencia y/o rendimiento, pero el fallo es poco probable	Importante	Costo medio de reparación	Importante
Poca influencia en seguridad y medio ambiente	Tolerable	No afecta la producción	Tolerable	Bajo costo de reparación	Tolerable

Fuente: Mantenimiento industrial (2016).
Realizado por: Nuela S.

Se puede ver en la tabla 1-2, los parámetros para definir la criticidad son la producción, el mantenimiento, y la seguridad y medio ambiente.

2.5.6 Fase 5: Determinación de las medidas preventivas

Determinados los modos de fallo del sistema que se analiza y clasificados estos modos de fallo según su criticidad, el siguiente paso es determinar las medidas preventivas que permiten bien evitar el fallo bien minimizar sus efectos. Desde luego, este es el punto fundamental de un estudio RCM. (MILITAR STADARD, 2015)

Las medidas preventivas que se pueden tomar son de cinco tipos: tareas de mantenimiento, mejoras, formación del personal, modificación de instrucciones de operación y modificación de instrucciones de mantenimiento. (MILITAR STADARD, 2015)

Es aquí donde se ve la enorme potencia del análisis de fallos: no sólo se obtiene un conjunto de tareas de mantenimiento que evitarán estos fallos, sino que además se obtendrán todo un conjunto de otras medidas, como un listado de modificaciones, un plan de formación, una lista de procedimientos de operación necesarios. (MILITAR STADARD, 2015)

Y todo ello, con la garantía de que tendrán un efecto muy importante en la mejora de resultados de una instalación. (MILITAR STADARD, 2015)

Tareas de mantenimiento

Son los trabajos que se pueden realizar para cumplir el objetivo de evitar el fallo o minimizar sus efectos. Las tareas de mantenimiento pueden, a su vez, ser de los siguientes tipos: (MILITAR STADARD, 2015)

Tipo 1: Inspecciones visuales

Se dijo que las inspecciones visuales siempre son rentables. Sea cual sea el modelo de mantenimiento aplicable, las inspecciones visuales suponen un coste muy bajo, por lo que parece interesante echar un vistazo a todos los equipos de la planta en alguna ocasión. (MILITAR STADARD, 2015)

Tipo 2: Lubricación

Igual que en el caso anterior, las tareas de lubricación, por su bajo coste, siempre son rentables. (MILITAR STADARD, 2015)

Tipo 3: Tareas sistemáticas

Realizadas cada determinado número de horas de funcionamiento, o cada cierto tiempo, sin importar la forma actual del equipo. Estas tareas pueden ser: limpiezas, ajustes, sustitución de piezas. (MILITAR STADARD, 2015)

Tipo 4: Grandes revisiones

También llamados Mantenimiento Cero Horas, Overhaul o Hard Time, que tienen como objetivo dejar el equipo tal cual si tuviera cero horas de funcionamiento. (MILITAR STADARD, 2015)

CAPÍTULO III

3 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo de esta investigación, primero se recolectará los datos referentes a los montacargas existentes en la empresa, para después, elaborar el estudio de mantenimiento basado en fiabilidad siguiendo las siguientes fases.

- a) Fase previa: Recolección de datos.
- b) Fase 0: Funciones y especificaciones.
- c) Fase 1: Listado de codificaciones
- d) Fase 2: Determinación de fallos.
- e) Fase 3: Determinación de los modos de fallo.
- f) Fase 4: Estudio de las consecuencias de los fallos. Criticidad.
- g) Fase 5: Determinación de las medidas preventivas.

3.1 Fase previa: Recolección de datos de los montacargas de la empresa ECUAESTIBAS.

En esta fase se determina el número de equipos que tiene la empresa su categoría, clase o tipo, de acuerdo a la forma que la empresa los clasifique o los identifique, para el caso de ECUAESTIBAS, los montacargas se los clasifica por su fuente de propulsión, que para el caso de la empresa son eléctricos, y en función de la capacidad, que son de dos toneladas que se lo puede observar en la tabla 1-3.

Tabla 1-3 Listado de montacargas ECUAESTIBAS.

CODIGO	MARCA	MODELO	FECHA DE FABRICACIÓN	CAPACIDAD
MC1	Crown	RD 5200	2002	2T
MC2	Crown	RD 5200	2002	2T
MC3	Crown	RD 5200	2002	2T
MC4	Crown	RD 5200	2005	2T
MC5	Crown	RD 5200	2005	2T
MC6	Crown	RD 5200	2005	2T
MC7	Crown	RD 5200	2009	2T
MC8	Crown	RD 5200	2009	2T
MC9	Crown	RD 5200	2009	2T
MC10	Crown	RD 5200	2009	2T

Fuente: ECUAESTIBAS (2016).
Realizado por: Stalin Nuela

Los montacargas que posee ECUAESTIBAS están entre el 2002 y 2009 como año de fabricación según la tabla 1-3.

Las marcas de los montacargas existentes en la empresa son CROWN de la misma capacidad y solo difieren en el año de fabricación, el modelo usado es el RD 5200, este modelo se lo puede apreciar en la figura 1-3.

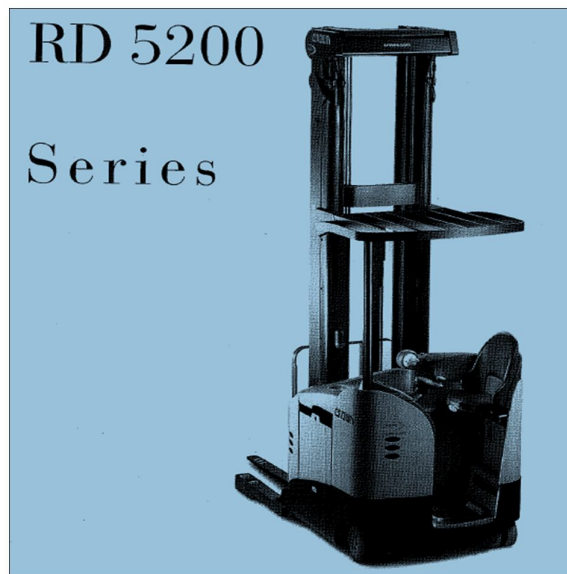


Figura 1-3 Montacargas Crown rd 5200
Fuente: Crown forklifts (2016).

El montacargas de la figura 1-3 que es el utilizado en ECUAESTIBAS tiene una capacidad de levante de 2000 kg y funciona a base de energía acumulada en baterías de plomo

Una vez que se recolectó los datos referentes a marca, capacidad y cantidad de equipos existentes en la empresa ECUAESTIBAS, se procede a dar las especificaciones y funciones que tienen cada uno de los sistemas existentes en los montacargas, en la siguiente fase que es la fase 0.

3.2 Fase 0: Funciones y especificaciones

Cada uno de los elementos que conforman el montacargas tienen una función determinada, la cual debe realizarse para el buen desenvolvimiento del equipo, definir claramente la función de estos elementos es la tarea de esta fase del mantenimiento basado en fiabilidad.

3.2.1 Sistema eléctrico

El sistema eléctrico del montacargas es el que le da la movilidad y la fuerza necesaria para que los elementos hidráulicos puedan realizar sus tareas de elevación o inclinación del mástil, está conformado por batería, cables, conexiones, motor de la bomba hidráulica y el motor de tracción, aquel que le da el movimiento de traslación delantera o de reversa al montacargas.

a) **Batería.-** Es el elemento que almacena la energía necesaria para que el montacargas pueda hacer funcionar los elementos de fuerza como los cilindros hidráulicos, de igual forma la batería es la que entrega la energía para que el montacargas pueda realizar los desplazamientos a lo largo de los hangares donde trabaja el equipo.

También como última función es la de ser parte del contrapeso del equipo, con esto se ayuda a que el montacargas tenga mayor estabilidad.

Las especificaciones de la batería son principalmente que el material del cual está compuesto es plomo y ácido, con 36 voltios y 600 amperios, y un peso de 725kg, el modelo de batería es el que se muestra en la figura 2-3.



Figura 2-3 Batería usada en montacargas Crown.
Fuente: Realizado por Nuela S. (2016).

b) Cables.- Estos elementos son los encargados de llevar la corriente desde la batería al motor de la bomba hidráulica, al motor de desplazamiento del montacargas y también son los encargados de transmitir la energía necesaria para los diferentes elementos de alerta visuales que contiene el equipo (luces, baliza, direccionales) resistiendo temperaturas de hasta 55°C.

Tienen revestimiento térmico, pudiendo resistir hasta 55°C, el material del cual está hecho el cable es de cobre, se muestra en la figura 3-3.



Figura 3-3 Cables de montacargas Crown (2016).
Fuente: Realizado por Nuela S.

c) Conexiones.- Estas partes tienen la misión de pasar la corriente del cable al motor eléctrico (bomba hidráulica y de desplazamiento), resistiendo temperaturas de hasta 55°C.

Al igual que los cables, los materiales principales del que están hechas las conexiones son el cobre, y también vienen con un recubrimiento que ayuda a evitar el contacto directo entre el operador y el elemento del equipo, los cables de la figura 4-3 son los utilizados en los montacargas CROWN.



Figura 4-3 Conexiones del montacargas Crown.
Fuente: Realizado por el Nuela S. (2016).

d) Motor bomba.- Este es uno de elementos principales del montacargas pues es el encargado de generar la potencia necesaria (16,1 HP) para que la bomba hidráulica pueda generar la presión de desplazamiento de los elementos del sistema hidráulico, las especificaciones principales del motor de la bomba son su potencia que es de 7.9 KW (10.5 caballos de fuerza) que se los genera a 2200 rpm, con 600 amperios, en la figura 5-3 se puede ver el motor que utiliza el montacargas CROWN.



Figura 5-3 Motor bomba de sistema hidráulico.
Fuente: Realizado por el Nuela S. (2016).

e) Motor tracción.- De este motor depende que el montacargas pueda desplazarse de un punto a otro. Su función es dar la potencia requerida para que el montacargas pueda moverse tanto en vacío como con carga de 1350 kg.

La característica principal de este motor es la potencia de 4.8 KW (6.4 caballos de fuerza) y el giro que se lo realiza a 2200 rpm, su amperaje es de 600 amperios, el motor de tracción que utiliza el equipo CROWN es el que se aprecia en la figura 6-3.



Figura 6-3 Motor de movimiento del montacargas Crown.
Fuente: Realizado por Nuela S.(2016).

3.2. 2 Sistema hidráulico

Con la ayuda del sistema hidráulico, la energía eléctrica entregada por las baterías puede ser transformada en energía mecánica, la cual es la que hace mover los diferentes elementos del montacargas entre ellos los cilindros de elevación e inclinación, la dirección del montacargas.

Básicamente la mayoría de los sistemas hidráulicos de diferentes maquinas tienen los mismos elementos para su funcionamiento, el tanque, el filtro, la bomba, las mangueras, y los acoples, y sus respectivos cilindros de elevación.

a) Tanque.- Su misión es almacenar el fluido hidráulico que se moverá a través de las manqueras, bomba y los cilindros del montacargas.

El tanque que se utiliza en estos montacargas son de acero ASTM A 36, con un espesor de 2mm, su capacidad de almacenamiento es de 12 litros, y que se mira en la figura 7-3.



Figura 7-3 Tanque del montacargas Crown (2016).
Fuente: Phutung xenangvn

b) Filtro.- Es un elemento pequeño casi imperceptible en comparación con los demás elementos del montacargas, pero su función es una de las más representativas del sistema hidráulico, debido a que es este elemento el que evita que las impurezas se vayan al resto de elementos, y que llegan al aceite por el mismo trabajo del montacargas o por la degradación de los materiales que están en constante movimiento como el cilindro de elevación o la dirección del montacargas.

Las características principales de este elemento es su material que es su medio filtrante es sintético, que se lo aprecia en la figura 8-3.

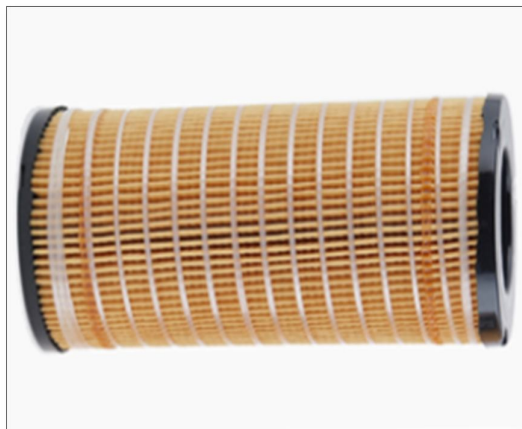


Figura 8-3 Filtro de montacargas Crown (2016).
Fuente: Caterpillar equipment

c) Bomba.- A este elemento se le atribuye el funcionamiento en si del sistema hidráulico, debido a que es la encargada de generar la presión para que los cilindros puedan desplazarse con la carga que levanta el montacargas, y también es la que genera la presión para que las ruedas de la dirección puedan realizar su trabajo de guiar al montacargas.

Sus características principales son la presión que genera de 2200 psi, su material es de acero aleado y utiliza la energía otorgada por el motor eléctrico, la forma y tamaño se lo puede ver en la figura 9-3 que se muestra a continuación.

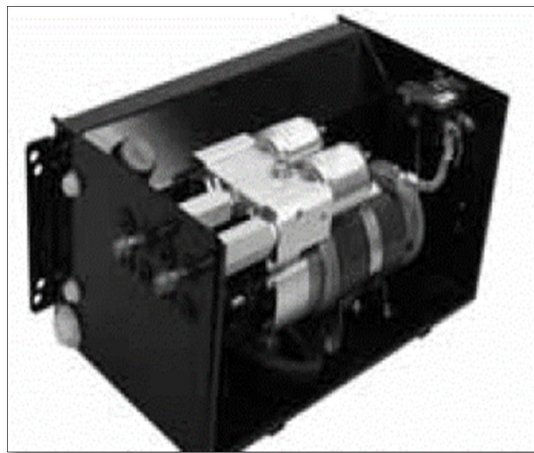


Figura 9-3 Bomba hidráulica de montacargas Crown.
Fuente: TVH Hydraulic parts (2016).

d) Mangueras.- Estos elementos conforman las arterias mismas del montacargas, pues estas se encargan de llevar el fluido (aceite hidráulico) desde el tanque de almacenamiento hacia la bomba y desde esta última hacia los cilindros hidráulicos y la dirección del montacargas.

El material del que está compuesto es caucho en su parte exterior, en su parte intermedia una malla metálica y en su parte interna nuevamente una capa de caucho, su resistencia a la presión es de 3000 psi, y 100°C, en la figura 10-3 se muestra un ejemplo de este tipo de mangueras.



Figura 10-3 Mangueras hidráulicas de montacargas Hely.
Fuente: Realizado por Nuela S. (2016).

e) Acoples.- Son elementos de unión entre mangueras y la bomba o los cilindros de elevación, al igual que las mangueras también tienen la función de transmitir el fluido hidráulico.

Estos elementos están hechos de acero galvanizado, son roscados y deben resistir presiones iguales o superiores a la de las mangueras es decir 3000 psi para el caso de los montacargas CROWN que son objetos de este estudio, ejemplo de estos acoples se lo mira en la figura 11-3.



Figura 11-3 Acoples galvanizados de montacargas Hely.
Fuente: Realizado por Nuela S. (2016).

f) Cilindros de elevación.- Son los elementos finales de todo el circuito hidráulico y que realizan movimientos de entrada o salida para poder elevar o descender carga, inclinar

hacia adelante o atrás el mástil, o dar movimiento a la dirección de las ruedas del montacargas.

Están compuestos por vástagos de acero aleado y los cilindros son de acero aleado con una trayectoria de desplazamiento de 600mm en los cilindros de elevación 120mm en los cilindros de inclinación y todos trabajan con una presión de 3000 psi.

3.2.3 Sistema estructural

Básicamente no tiene elementos móviles ni eléctricos, pero es un elemento importante que representa el esqueleto del montacargas y sobre el cual van acoplados diferentes elementos del montacargas, como los sistemas hidráulicos y eléctricos.

a) Chasis.- La función del chasis es sostener los sistemas eléctricos e hidráulicos, y también para servir de apoyo a las ruedas de propulsión del montacargas.

Este chasis está construido netamente en acero fundido y tiene un peso de 2500 kg, el chasis de los montacargas de lo ve en la figura 12-3.

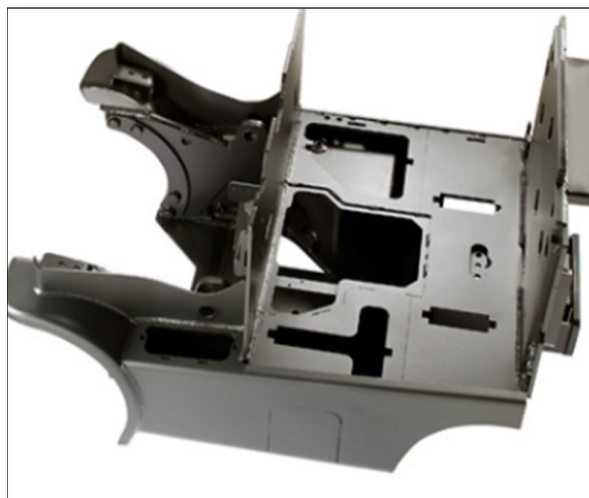


Figura 12-3 Chasis de montacargas.
Fuente: Crown equipment (2016)

b) Horquillas.- Son los elementos que ejercen la unión entre el montacargas y la carga que será transportada hacia o desde las estanterías, su movimiento depende

totalmente de los cilindros a los cuales están conectadas estas horquillas. El material del cual está hecho es de acero aleado con un peso de 110 kg, de acuerdo a lo que se observa en la figura 13-3.



Figura 13-3 Horquillas de montacargas Hely
Fuente: Realizado por Nuela S. (2016).

c) Mástil.- Este elemento del montacargas permite el movimiento de las horquillas desde abajo hacia arriba y viceversa, tiene elementos escalonados que ayudan a que el montacargas pueda tener una altura determinada con relación al piso, y que al desplazarse los cuerpos que conforman el mástil vayan desplazándose logrando alcanzar alturas considerables, básicamente es la columna vertebral del montacargas.

El mástil está conformado por dos, tres o más cuerpos desplegables, que son de acero aleado, para el caso de los montacargas CROWN es de tres cuerpos, así se lo ve en la figura 14-3.



Figura 14-3 Mástil de montacargas.

Fuente: Realizado por Nuela S. (2016).

d) Cadenas.- La cadena es el elemento que transmite el movimiento del gato hidráulico hacia las guías del mástil que a su vez transmitirán el movimiento hacia las horquillas.

Las cadenas pueden ser de rodillos o de hojas, según lo visto en la figura 15-3, su material es de acero aleado, su configuración es de 2x2, 4x4, 6x6 dependiendo de la fuerza o capacidad del montacargas en el que va a ser montado.

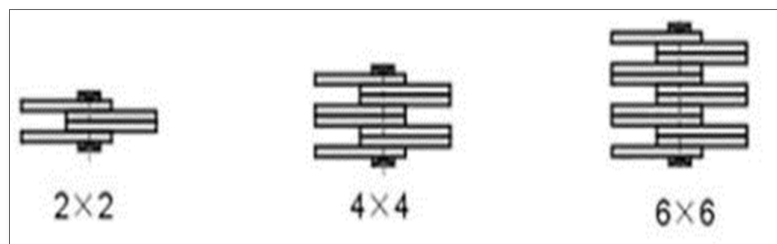


Figura 15-3 Configuración de cadenas.

Fuente: Montacargas del valle de México (2016).

e) Rodamientos de mástil.- Estos elementos son los que evitan que los elementos del mástil se deslicen cuerpo a cuerpo, pues están entre aquellos elementos del mástil,

facilitando el deslizamiento de las guías del mástil y por tanto ayudando a la elevación de la carga.

El material usado para estos elementos es de acero de rodamientos ASTM A 295, esto se lo aprecia en la figura 16-3.



Figura 16-3 Rodamiento de mástil.
Fuente: Folangsi forklift (2016).

3.2.4 Sistema de movimiento

Para que la carga sea puesta de un lugar a otro se necesita que el montacargas posea movimiento el cual es otorgado por la energía de las baterías y que se transforma en energía mecánica en las ruedas.

a) Ruedas.- Las ruedas son los elementos de contacto entre el montacargas y el piso de trabajo, las que soportan la carga y que a su vez proporcionan el movimiento del montacargas a lo largo de los hangares donde trabaja.

Están hechas de caucho, y son sólidas en el caso de los montacargas CROWN que son los analizados en este estudio, así se lo mira en la figura 17-3.



Figura 17-3 Ruedas macizas de montacargas.
Fuente: Realizado por Nuela S.

b) Frenos.- Este elemento es el que le da al operador la posibilidad de detenerse en un sitio determinado y realizar la maniobra de carga o descarga del material que está siendo manipulado.

El tipo de freno que se utiliza en los montacargas del estudio es de tipo pedal hidráulico con disco de fricción, que es un adicional debido a que el montacargas eléctrico no se mueve si no se aplica el pedal de movimiento, así mismo el montacargas deja de moverse cuando se deja de acelerar.



Figura 18-3 Freno de disco montacargas Crown.
Fuente: CROWN EQUIPMENT (2016).

Con las funciones ya definidas de los sistemas del montacargas, se procede a dar una codificación a cada uno de estos sistemas y sus partes, que se lo realiza en la fase 1 que se detalla a continuación.

3.3 Fase 1: Listado y codificación de elementos de los montacargas

Se debe dar una codificación a los elementos que conforman el equipo para poder realizar el análisis de manera más simplificada, debido a que muchos de estos códigos que se asignará se los trasladará a la lista de inspección de equipos que se verá posteriormente.

La codificación que se da a los diferentes sistemas y sus elementos es en base a las letras iniciales que lo conforman, para el caso de los montacargas de ECUAESTIBAS se lo hace tal cual se ve en la tabla 2-3.

Tabla 2-3 Codificación de elementos

SISTEMA ELECTRICO	SE	SISTEMA HIDRAULICO	SH	SISTEMA ESTRUCTURAL	SS	SISTEMA DE MOVIMIENTO	SM
Batería	SEBT	Tanque	SHTQ	Chasis	SSCH	Ruedas	SMRD
Cables	SECB	Filtro	SHFT	Horquillas	SSHQ	Frenos	SMFR
Conexiones	SECC	Bomba	SHBB	Mástil	SSMT		
Motor bomba	SEMB	Mangueras	SHMG	Cadenas	SSCD		
Motor tracción	SEMT	Acoples	SHAP	Rodamientos de mástil	SSRD		
		Cilindros de elevación	SHCI				

Fuente: ECUAESTIBAS (2016).
Realizado por Nuela S.

3.4 Fase 2: Determinación de los fallos

Un fallo es la incapacidad de un ítem para cumplir alguna de sus funciones. Por ello se dijo en el apartado anterior que sí se realiza correctamente el listado de funciones, es muy fácil determinar los fallos: se tendrá un posible fallo por cada función que tenga el ítem (sistema, subsistema o equipo) y no se cumpla.

3.4.1 Sistema eléctrico

- a) Fallo en batería.- El fallo que se tiene en este elemento es la reducción del amperaje entregado a menos de 600 amperios, el cual se traduce en pérdida de potencia del montacargas, además de ese fallo también se tiene la disminución del tiempo de duración de la batería cargada que para el caso de los montacargas que están siendo analizados es de 6 horas.

- b) Fallo en cables.- Los cables estarán en modo de fallo si dejan de suministrar la energía proporcionada por la batería que es de 600 amperios por un periodo de 5 horas.

- c) Fallo en conexiones.- Cuando se presente fallo será con el suministro de energía entrecortado, es decir golpeteos en el movimiento de traslación o en el desplazamiento de los elementos hidráulicos.

- d) Fallo en motor bomba.- Se encuentra un fallo cuando el motor disminuye sus rpm y otorga valores menores a 2200 rpm.

- e) Fallo en motor tracción.- Se encuentra un fallo cuando el motor disminuye sus rpm y otorga valores menores a 2200 rpm a 4.8 KW de potencia (6.4 HP).

3.4.2 Sistema hidráulico

- a) Fallo en tanque.- Dejar de almacenar 12 litros de aceite hidráulico del montacargas, falta de fluido en la bomba hidráulica.

- b) Fallo en filtro.- Si el filtro esta con fallo este mostrara alteraciones en el desempeño de bomba, es decir no entregara la misma fuerza que si estuviera con un filtro adecuado.

- c) Fallo en bomba.- Sonidos extraños, pérdida de presión (menor a 2250 psi), gatos hidráulicos no se desplazan con normalidad, los gatos hidráulicos no sostienen la carga en la posición dejada.

d) Fallo en mangueras.- Perdida de caudal hacia la bomba, si es que la manguera con fallo es entre el tanque y la bomba, pero si la manguera con fallo es entre la bomba y los cilindros, el fallo será en el descenso de la carga mientras se la sostiene, es decir disminuirá la presión que ejerce la bomba, también se presentara fugas de aceite.

e) Fallo en acoples.- Fugas de aceite hidráulico, perdida de presión y de caudal hacia o desde la bomba, cilindros de elevación no se despliegan o no sostienen la carga.

f) Fallo en cilindros de elevación.- Si el fallo tiene que ver directamente con los cilindros de elevación (gatos hidráulicos), estos no subirán o no se desplegarán a lo largo de su vástago, o también se verán con caídas de la altura de elevación de carga.

3.4.3 Sistema estructural

a) Fallo en chasis.- Si el chasis tiene un fallo, será cuando existan sonidos extraños, o cuando exista vibración de algún elemento giratorio, o golpes entre elementos de algún sistema, sea eléctrico o hidráulico.

b) Fallo en horquillas.- Se evidencia un fallo en las horquillas cuando la carga que está siendo elevada no está al nivel en relación al montacargas, o también si el fallo fuese más crítico se lo evidenciaría en la caída abrupta de la carga.

c) Fallo en mástil.- Se lo establece cuando al elevar o descender carga, se presentan sonidos extraños, o cuando el ascenso o descenso se lo desarrolla con dificultad para cada uno de los cuerpos del mástil, es decir con movimientos entrecortados, también se lo evidencia cuando la carga que está siendo levantada se cae o tiene algún tipo de movimiento abrupto visible al operador.

d) Fallo en cadenas.- El fallo más evidente es el que puede percibir el oído, pues cuando las cadenas del montacargas están en fallo estas presentarán sonidos extraños, y también se notara el sobreesfuerzo que realizan los gatos hidráulicos para desplegarse, pues presentaran atascamientos.

e) Fallo en rodamientos de mástil.- Cuando exista dificultad para el desplazamiento de los cuerpos del mástil o cuando existan sonidos extraños, será evidencia de que hay un fallo en los rodamientos, también cuando no exista un movimiento continuo de los cuerpos del mástil.

3.4.4 Sistema de movimiento

a) Fallo en ruedas.- El fallo que presentara las ruedas serán el deslizamiento por el piso cuando se realice una frenada fuerte, también cuando se trate de tomar dirección y el montacargas presente sonidos al hacerlo o en su defecto no realice la toma de dirección.

b) Fallo en frenos.- Cuando el freno este en modo de fallo, el montacargas no responderá de manera inmediata a la orden del operador de detener el equipo, o simplemente el equipo no frenará.

Ahora que ya se estableció los fallos en cada uno de los elementos que conforman el montacargas, se procede a la siguiente fase que es la determinación del modo de fallo.

3.5 Fase 3: Determinación de los modos de fallo

Una vez determinados todos los fallos que pueden presentar un sistema, un subsistema o uno de los equipos significativos que lo componen, deben estudiarse los modos de fallo. Se puede definir modo de fallo' como la causa primaria de un fallo, o como las circunstancias que acompañan un fallo concreto.

3.5.1 Sistema eléctrico

a) Modo de fallo batería.- El modo de fallo para que la batería no de su función es la sulfatación de la placa, también puede presentarse corrosión del conductor, o el exceso o la falta de agua.

- b) Modo de fallo en cables.- El modo de fallo del cable de poder es el daño o corte que puede sufrir este en su cubierta o en su parte interna.
- c) Modo de fallo en conexiones.- Se presentan desgaste en las roscas de los elementos, también se puede presentar deformación, y por último la oxidación del elemento que conduce a su debilitamiento.
- d) Modo de fallo en motor bomba.- Puede ocurrir que al motor no le llegue el suministro de energía, puede existir atascamiento de los elementos, y también puede existir desgaste de los elementos que hacen contacto para el paso de corriente hacia el elemento giratorio (carbones).
- e) Modo de fallo en motor tracción.- Al igual que en el motor anterior, puede ocurrir que al motor no le llegue el suministro de energía, puede existir atascamiento de los elementos, y también puede existir desgaste de los elementos que hacen contacto para el paso de corriente hacia el elemento giratorio (carbones).

3.5.2 Sistema hidráulico

- a) Modo de fallo en tanque.- El modo de fallo más visible será la fugas que en este se presenten debido a los agujeros que pueda tener el tanque o a las fugas que puedan existir en sus conexiones de salida o ingreso.
- b) Modo de fallo en filtro.- Deterioro del elemento filtrante, fugas en su cuerpo por presencia de golpes o desgarres.
- c) Modo de fallo en bomba.- Los modos de fallo de las bombas se dan cuando existe fugas de aceite, o cuando se presentan desgastes en sus elementos motrices.
- d) Modo de fallo en mangueras.- El modo de fallo que se tendrá para estos elementos se lo da cuando se tiene la presencia de roturas o desgarres que causen la fuga del fluido transportado.

e) Modo de fallo en acoples.- Principalmente el modo de fallo es en la unión que realiza este con el elemento que recibe el fluido, y se lo visualiza con falta de teflón, ajuste incompleto, o deterioro de la rosca de unión del elemento.

f) Modo de fallo en cilindros de elevación.- El modo de fallo se lo visualiza cuando existe la fuga de aceite en la unión entre el vástago y el cilindro, es decir cuando están desgastados los empaques.

3.5.3 Sistema estructural

a) Modo de fallo en chasis

Se puede presentar cuando se desgastan los elementos de unión tales como pernos, chavetas, también cuando exista deformación de algún elemento que afecte el buen acople entre uno y otro elemento como por ejemplo los elementos de la suspensión.

b) Modo de fallo en horquillas

Por fisuras en las horquillas o deformación de los elementos, o por rotura de alguna parte de la horquilla.

c) Modo de fallo en mástil

Cuando existen fisuras en parte de sus elementos constituyentes, falta de lubricación a lo largo de su trayectoria de deslizamiento, o por deformación de alguno de sus elementos.

d) Modo de fallo en cadenas

El modo de fallo más común es la falta de lubricación, la deformación que pueden sufrir alguno de sus elementos, o la presencia de elementos extraños como por ejemplo las chispas de soldadura.

e) Modo de fallo en rodamientos de mástil

Los modos de fallos son las fisuras y el desgaste.

3.5.4 Sistema de movimiento

a) Modo de fallo en ruedas

El desgaste de la banda de rodadura es el modo de fallo principal, también el desgarre que pueda presentar la llanta durante la operación del montacargas.

b) Modo de fallo en frenos

La falta de líquido de freno es una de los modos de fallo de los frenos así como también el desgaste de las zapatas o discos con los cuales se realice la función de frenado del montacargas.

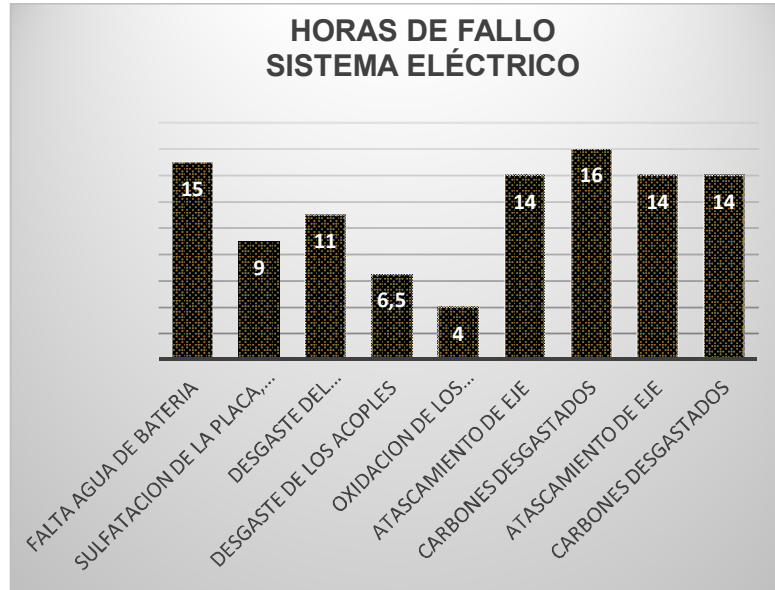
3.6 Análisis de fallos ocurridos en los montacargas 2014-2015

Durante los años 2014 y 2015 se tuvieron mantenimientos correctivos en los montacargas que se originaron de uno u otro elemento que comprende el equipo, los fallos se los ha agrupado en función de los sistemas a los que pertenecen.

3.6.1 Horas de fallo sistema eléctrico

En la tabla 8 se observa la cantidad de fallos que ha tenido cada uno de los elementos del sistema eléctrico, y en la tabla 3-3 se observa el porcentaje que representa cada uno de estos fallos del sistema eléctrico.

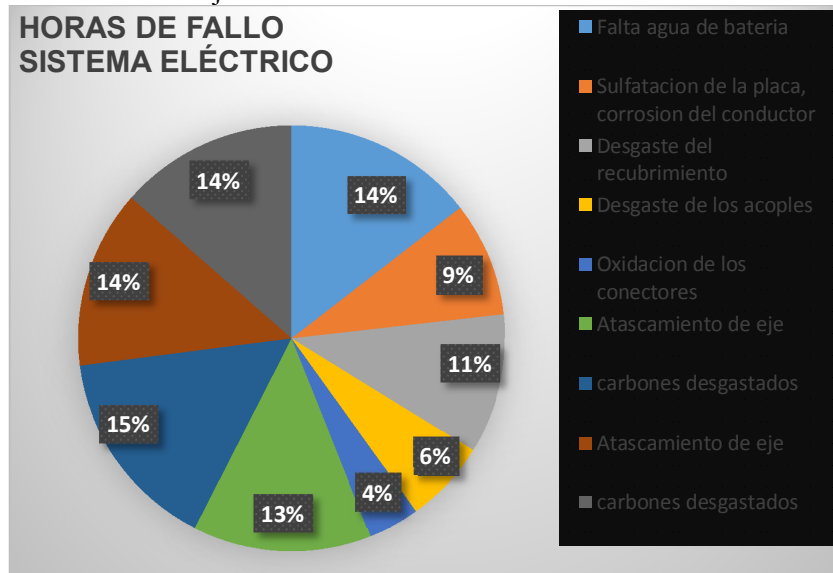
Tabla 3-3 Horas de fallo sistema eléctrico.



Fuente: ECUAESTIBAS (2016).
Realizado por Nuela S.

Se aprecia en la tabla 3-3 que los carbones desgastados y la batería son los elementos que más fallos han tenido en el período 2014-2015.

Tabla 4-3 Porcentaje de fallo sistema eléctrico.



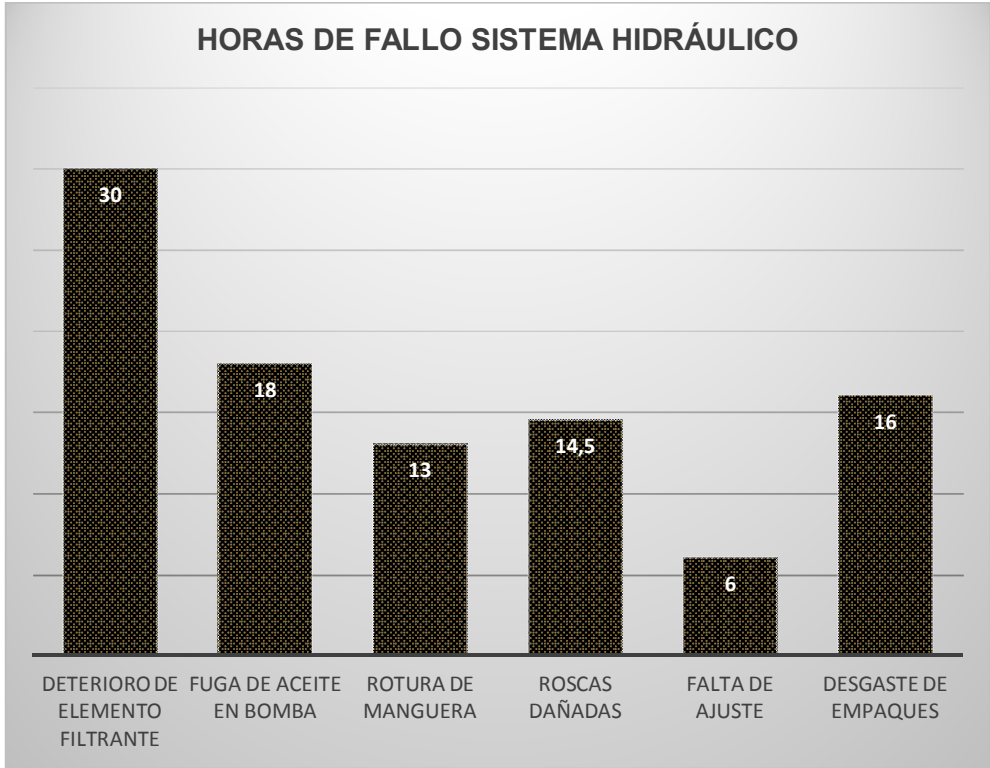
Fuente: ECUAESTIBAS (2016).
Realizado por Nuela S.

Según se observa en la tabla 4-3, el porcentaje mayor es el de los carbones desgastados.

3.6.2 Horas de fallo sistema hidráulico

En la tabla 5-2 se observa la cantidad de fallos que tuvieron los elementos del sistema hidráulico, y en la tabla 5-3 se observa el porcentaje que representa estos fallos.

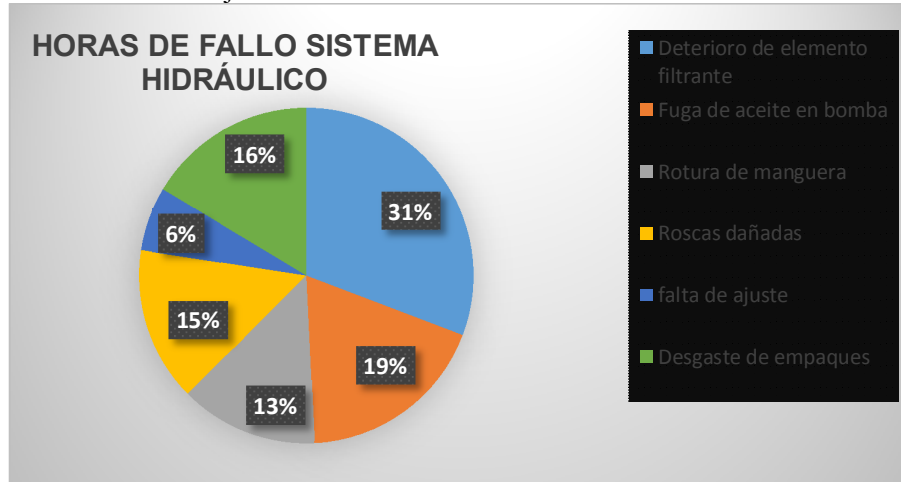
Tabla 5-3 Horas de fallo sistema hidráulico.



Fuente: ECUAESTIBAS (2016).
Realizado por Nuela S.

Se aprecia en la tabla 5-3 que el filtro es el que más fallos ha tenido en el período analizado.

Tabla 6-3 Porcentaje de fallo sistema hidráulico.



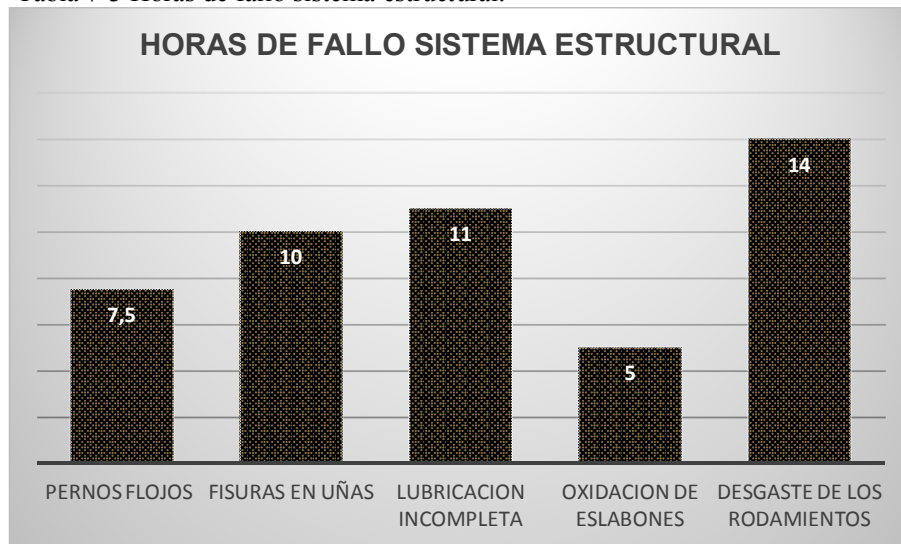
Fuente: ECUAESTIBAS (2016).
Realizado por Nuela S.

En la tabla 6-3 el fallo en el filtro representa el 31% del total de fallos del sistema hidráulico, seguido de la fallo en la fuga de la bomba con el 19%.

3.6.3 Horas de fallo sistema estructural

En la tabla 7-3 se observa la cantidad de fallos que ocurrieron con los elementos del sistema estructural, y en la tabla 13 se observa el porcentaje que representa estos fallos.

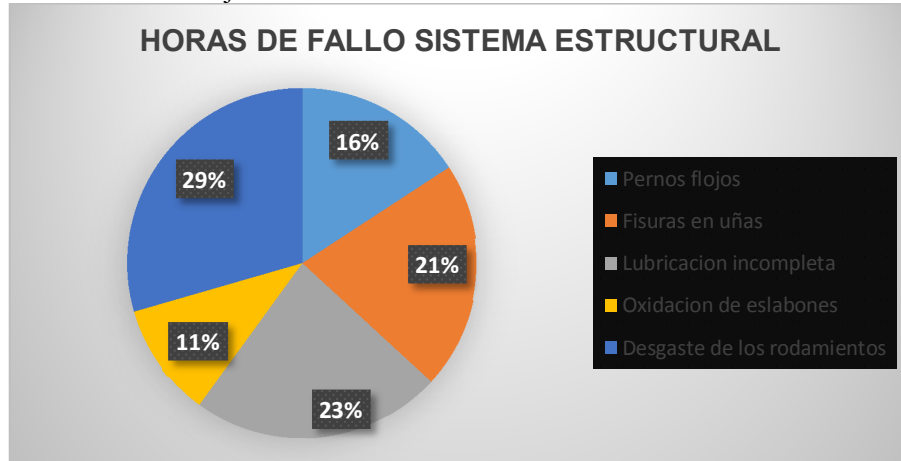
Tabla 7-3 Horas de fallo sistema estructural.



Fuente: ECUAESTIBAS (2016).
Realizado por Nuela S.

Según la tabla 7-3 los rodamientos son los que más fallos ha tenido en entre 2014-2015.

Tabla 8-3 Porcentaje de fallo sistema estructural.



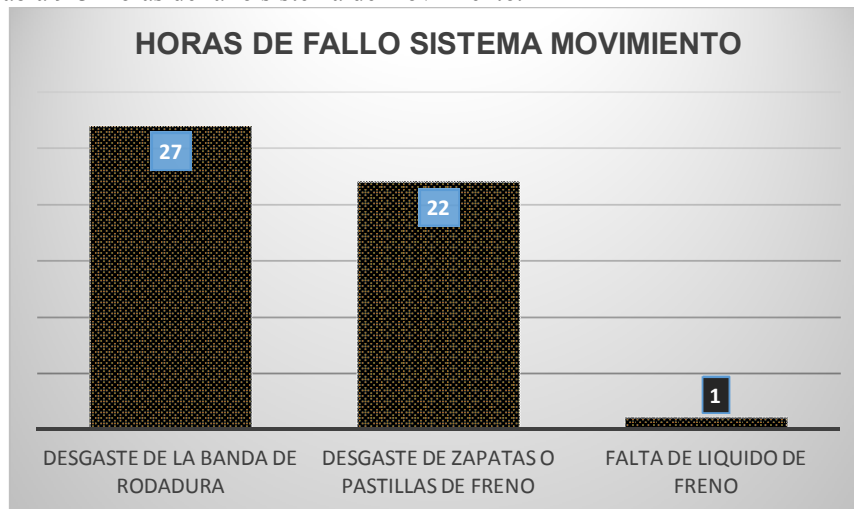
Fuente: ECUAESTIBAS 2016.
Realizado por Nuela S.

El 29% del total de fallos del sistema estructural es lo que representa los fallos de los rodamientos, según la tabla 8-3.

3.6.4 Horas de fallo sistema movimiento

En la tabla 8-3 se observa la cantidad de fallos que ocurrieron con los elementos del sistema estructural, y en la tabla 9-3 se observa el porcentaje que representa estos fallos.

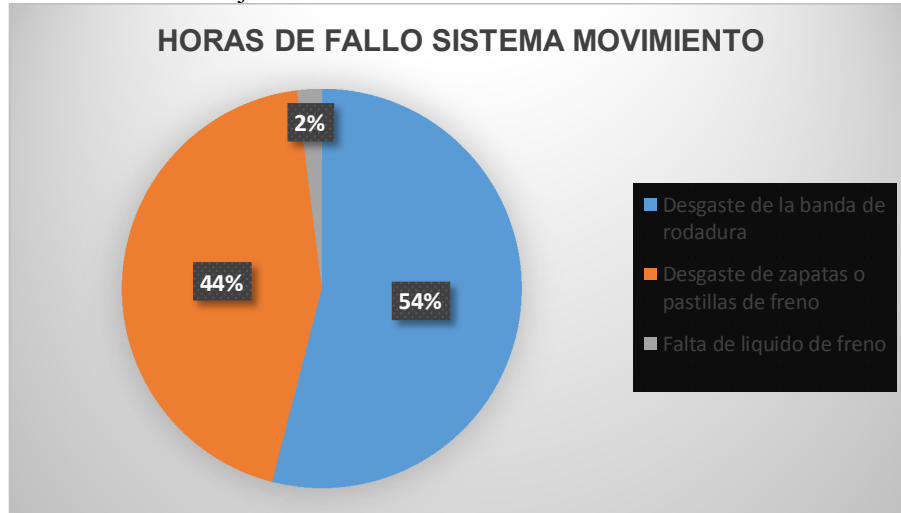
Tabla 9-3 Horas de fallo sistema de movimiento.



Fuente: ECUAESTIBAS (2016).
Realizado por el Nuela S.

Según la tabla 9-3, la banda de rodadura es la que más ha fallado entre 2014-2015.

Tabla 10-3 Porcentaje de fallos sistema de movimiento.



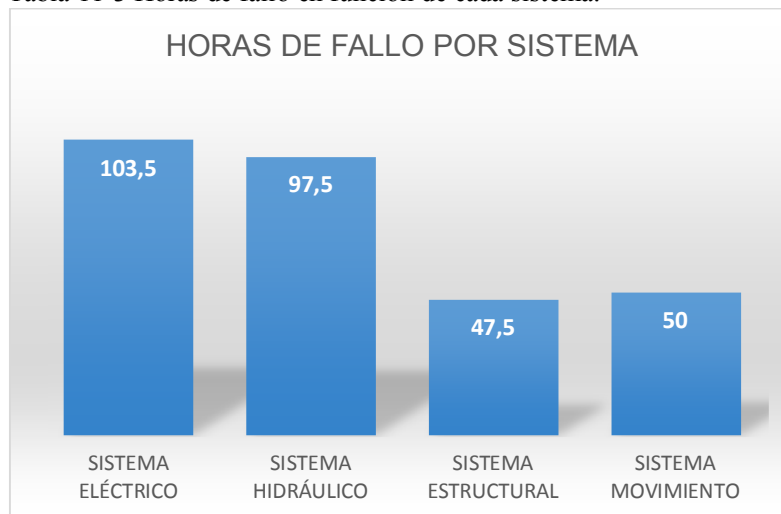
Fuente: ECUAESTIBAS (2016).
Realizado por Nuela S.

El fallo en la banda de rodadura representa el 54% del total de los fallos según la tabla 10-3.

3.6.5 Horas de fallo por sistema

Ahora se presenta un cuadro comparativo en la tabla 11-3, de las horas de fallos entre sistemas del montacargas que nos ayuda a ver cuál de los sistemas ha sido el que más tiempo ha fallado en el periodo analizado.

Tabla 11-3 Horas de fallo en función de cada sistema.



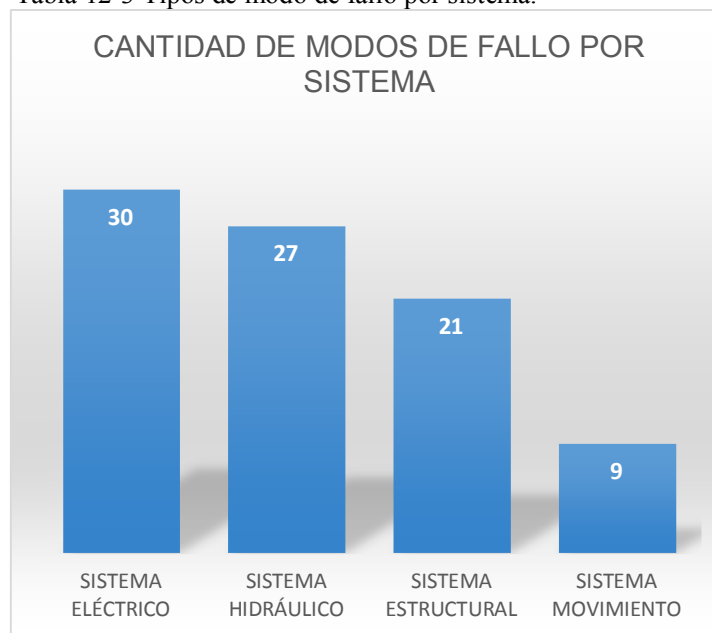
Fuente: ECUAESTIBAS (2016).
Realizado por Nuela S.

De acuerdo a lo que se pudo apreciar en la tabla 11-3 el sistema eléctrico y el sistema hidráulico son los que más fallos han tenido a lo largo del periodo que está siendo estudiado.

3.6.6 Tipos de modos de fallo por sistema

El establecimiento de las cantidades de fallo ayuda a tener un orden de atención inmediata para que estos no sigan siendo repetitivos.

Tabla 12-3 Tipos de modo de fallo por sistema.



Fuente: ECUAESTIBAS (2016).
Realizado por Nuela S.

En la tabla 12-3 se puede observar que el sistema eléctrico es el que mayor número de tipos de fallo posee y el que menos tipos de fallo posee es el sistema de movimiento.

3.7 Fase 4: criticidad de los fallos

La siguiente operación es determinar los efectos de cada modo de fallo y, una vez determinados, clasificarlos según la gravedad de las consecuencias. (GARRIDO, 2015)

La primera pregunta a responder en cada modo de fallo es, pues: ¿qué pasa si ocurre? Con esta explicación, se está en condiciones de valorar sus consecuencias para la seguridad y el medio ambiente, para la producción y para el mantenimiento. (GARRIDO, 2015)

Se considera tres posibles casos: que el fallo sea *crítico*, que el fallo sea *importante* o que sea *tolerable*. (GARRIDO, 2015)

a) En lo referente a la seguridad y al impacto medioambiental del fallo, se considera que el fallo es *crítico* si existen ciertas posibilidades de que pueda ocurrir, y ocasionaría un accidente grave, bien para la seguridad de las personas o bien para el medioambiente. (GARRIDO, 2015)

Se considera que es *importante* si, aunque las consecuencias para la seguridad y el medioambiente fueran graves, la probabilidad de que ocurra el fallo es baja. Por último, se considera que el fallo es *tolerable* si el fallo tiene poca influencia en estos dos aspectos. (GARRIDO, 2015)

b) En cuanto a la producción, se puede decir que un fallo es *crítico* si el fallo supone una parada de planta, una disminución del rendimiento o de la capacidad productiva, y además, existe cierta probabilidad de que el fallo pudiera ocurrir.

Si la posibilidad es muy baja, aunque pueda suponer una parada o afecte a la potencia o al rendimiento, el fallo debe ser considerado como *importante*. Y por último, el fallo será tolerable si no afecta a la producción, o lo hace de modo despreciable. (GARRIDO, 2015)

c) Desde el punto de vista del mantenimiento, si el coste de la reparación (de la suma del fallo más otros fallos que pudiera ocasionar ese) supera una cantidad determinada (diez mil dólares), el fallo será crítico. Será importante si está en un rango inferior (entre mil y diez mil dólares) y será tolerable por debajo de cierta cantidad (mil dólares). (GARRIDO, 2015)

Según la norma del standard militar de Estados Unidos las cantidades indicadas son solo referenciales, pero pueden considerarse aplicables en muchos casos, y se lo aprecia en la tabla 13-3 a continuación.

Tabla 13-3 Matriz de criticidad.

SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	CALIFICACIÓN	PRODUCCIÓN	CALIFICACIÓN	MANTENIMIENTO	CALIFICACIÓN
Accidente grave probable	CRITICO	Afecta a la potencia o rendimiento	CRITICO	Alto coste de reparación	CRITICO
Accidente grave pero muy poco probable	IMPORTANTE	Afecta a la potencia o rendimiento pero el fallo es poco probable	IMPORTANTE	Coste medio de reparación	IMPORTANTE
Poca influencia en seguridad y ambiente	TOLERABLE	No afecta a la producción	TOLERABLE	Bajo coste de reparación	TOLERABLE

Fuente: MIL. STD (2016).
Realizado por Nuela S.

Según la tabla 13-3 se tiene que para cuando se considere altamente probable o muy alto en costo se lo considerara crítico.

Para poder realizar la categorización de la criticidad, se utiliza para este estudio una codificación para cada modo de fallo, que se muestra a continuación en la tabla 14-3.

Tabla 14-3 Codificación de modos de fallo

ITEM	SISTEMA	MODO DE FALLO	CODIGO
1	ELÉCTRICO	Falta agua de batería	SE1
2		Sulfatación de la placa, corrosión del conductor	SE2
3		Desgaste del recubrimiento	SE3
4		Desgaste de los acoples	SE4
5		Oxidación de los conectores	SE5
6		Atascamiento de eje	SE6
7		carbones desgastados	SE7
8		Atascamiento de eje	SE8
9		carbones desgastados	SE9
10	HIDRAÚLICO	Deterioro de elemento filtrante	SH1
11		Fuga de aceite en bomba	SH2
12		Rotura de manguera	SH3
13		Roscas dañadas	SH4
14		falta de ajuste	SH5

15		Desgaste de empaques	SH6
16	ESTRUCTURAL	Pernos flojos	SS1
17		Fisuras en uñas	SS2
18		Lubricación incompleta	SS3
19		Oxidación de eslabones	SS4
20		Desgaste de los rodamientos	SS5
21	MOVIMIENTO	Desgaste de la banda de rodadura	SM1
22		Desgaste de zapatas o pastillas de freno	SM2
23		Falta de líquido de freno	SM3

Fuente: ECUAESTIBAS (2016).
Realizado por Nuela S.

Según se aprecia en la tabla 14-3, cada uno de los fallos posibles se los ha codificado para dar un seguimiento más simplificado.

Una vez que se tiene la codificación de los modos de fallo se procede a dar la calificación de criticidad de acuerdo a lo establecido en la tabla 14-3, que se vio anteriormente, y que se lo analiza ya con datos de la empresa ECUAESTIBAS en la tabla 15-3 que se muestra a continuación.

Tabla 15-3 Matriz de criticidad montacargas ECUAESTIBAS

	S E 1	S E 2	S E 3	S E 4	S E 5	S E 6	S E 7	S E 8	S E 9	S H 1	S H 2	S H 3	S H 4	S H 5	S H 6	S S 1	S S 2	S S 3	S S 4	S S 5	S M 1	S M 2	S M 3	
Calificación Seguridad	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	2	2	0	0	4	2	4	0	2	0	2	2
Calificación ambiente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Calificación producción	3	6	3	3	6	3	6	3	6	6	9	3	3	6	3	6	3	6	6	6	3	6	3	3
Calificación mantenimiento	2	4	2	2	4	2	4	2	4	4	4	6	2	2	4	2	4	2	4	2	2	6	3	1

Fuente: ECUAESTIBAS (2016).
Realizado por Nuela S.

Con la calificación hecha, se puede ver en la tabla 15-3, que el elemento crítico es sistema hidráulico con fuga en la bomba la cual causa una pérdida de producción.

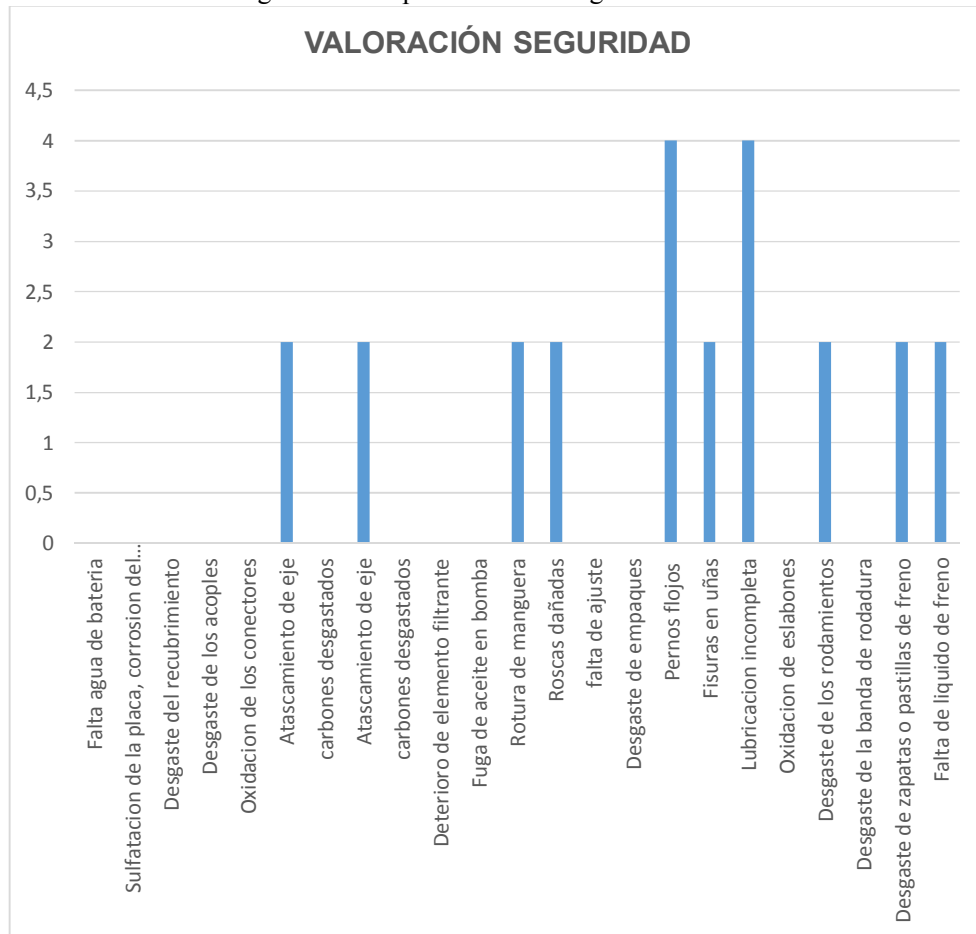
3.8 Establecimiento jerárquico de los fallos ocurridos

Se establecerá la jerarquización en función de la criticidad que estos impliquen a los ámbitos de seguridad, ambiente, producción y mantenimiento.

3.8.1 Jerarquía de los fallos en función de las implicaciones de seguridad

En la tabla 16-3 se puede apreciar que los mayores ítems de afectación a la seguridad industrial.

Tabla 16-3 Valoración gráfica de implicaciones de seguridad.



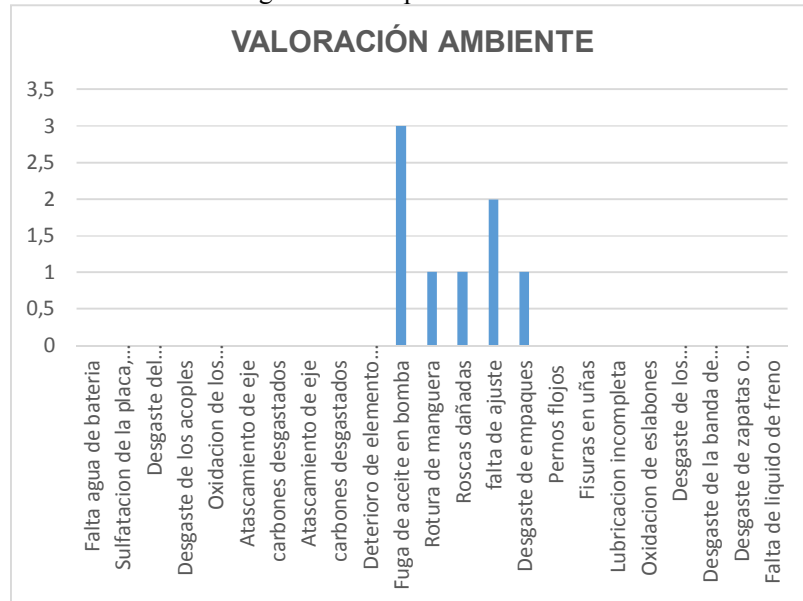
Fuente: ECUAESTIBAS 2016
Realizado por Nuela S.

Según la tabla 16-3, los ítems que afectan a la seguridad son los pernos flojos y la lubricación incompleta.

3.8.2 Jerarquía de los fallos en función de las implicaciones de ambiente

Se muestra en la tabla 17-3 los más representativos en cuanto a implicaciones de ambiente se refiere.

Tabla 17-3 Valoración gráfica de implicaciones de ambiente.



Fuente: ECUAESTIBAS (2016)

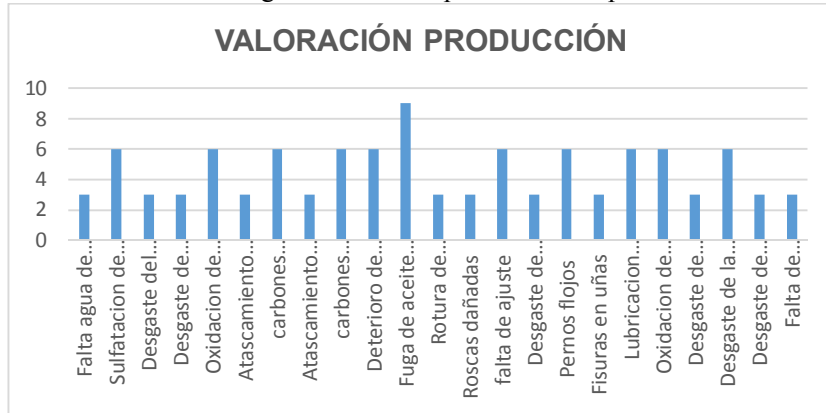
Realizado por Nuela S.

Según la tabla 17-3 las fugas provocadas en la bomba de presión del sistema hidráulico, y le la falta de ajuste de ciertos elementos como mangueras y acoples causan problemas ambientales.

3.8.3 Jerarquía de los fallos en función de las implicaciones de producción

Se muestra a continuación en la tabla 18-3 la valoración de criticidad en función de la producción.

Tabla 18-3 Valoración gráfica de las implicaciones de producción.



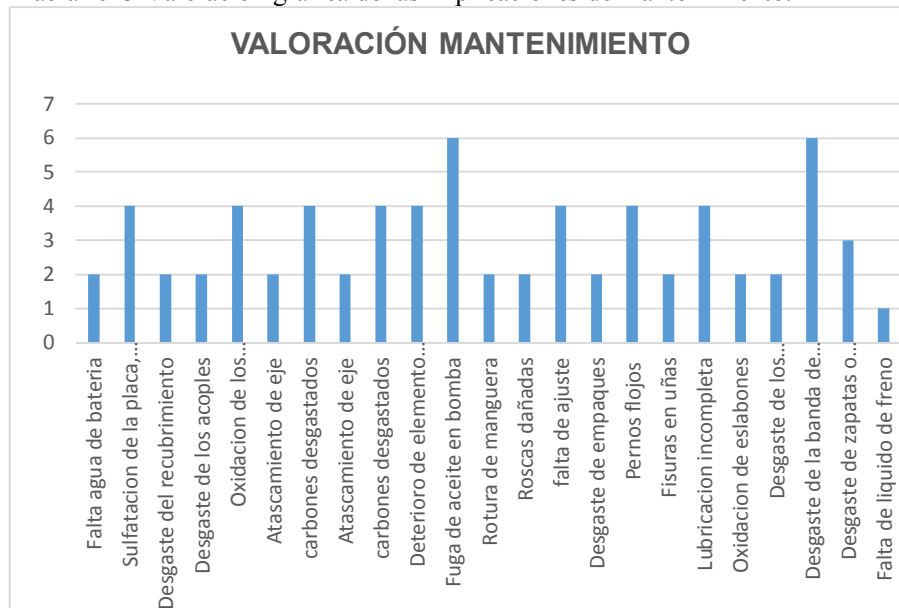
Fuente: ECUAESTIBAS (2016).
Realizado por Nuela S.

La fuga de aceite es la que mayor problema de producción según lo mostrado en la tabla 18-3.

3.8.4 Jerarquía de los fallos en función de las implicaciones de mantenimiento.

Se puede apreciar en la tabla 19-3, la parte producción y la parte de mantenimiento se ven mayormente afectadas por las fugas que se dan en la bomba de presión.

Tabla 19-3 Valoración gráfica de las implicaciones de mantenimiento.



Fuente: ECUAESTIBAS (2016).
Realizado por Nuela S.

Según la tabla 19-3, las fugas de aceite son las que también causan inconvenientes en el mantenimiento.

3.9 Índice de fiabilidad

Los índices existentes de la fiabilidad son los de operatividad, durabilidad, mantenibilidad y conservabilidad.

El índice que se utilizará en este estudio es el de operatividad, en donde intervienen la relación inversa de los tiempos medios entre fallos.

$$R(T) = e^{-\lambda t}$$

Donde:

R= Fiabilidad

T= Ciclo de trabajo

λ = Inversa del tiempo medio entre fallos.

También se tiene que λ se lo puede obtener de la siguiente fórmula:

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

Donde:

λ = Inversa del tiempo medio entre fallos.

MTBF= tiempo medio entre fallos.

Con lo mencionado en las formulas anteriores, se procede a realizar el cálculo de fiabilidad en función de la operatividad y se tiene el siguiente cuadro mostrado en la tabla 20-3.

Tabla 20-3 Fiabilidad de los componentes en los años 2014 y 2015.

ITEM	FIABILIDAD 2014	FIABILIDAD 2015
Falta agua de batería	86,6%	0,6328
Sulfatación de la placa, corrosión del conductor	95,1%	0,9505
Desgaste del recubrimiento	63,3%	0,6334
Desgaste de los acoples	63,3%	0,8650
Oxidación de los conectores	95,0%	0,6323
Atascamiento de eje	63,3%	0,6334
Carbones desgastados	95,1%	0,6328
Atascamiento de eje	63,3%	0,6334
Carbones desgastados	86,5%	0,8657
Deterioro de elemento filtrante	95,1%	0,8664
Fuga de aceite en bomba	99,3%	0,9934
Rotura de manguera	63,3%	0,6334
Roscas dañadas	63,3%	0,6335
Falta de ajuste	95,0%	0,9504
Desgaste de empaques	63,4%	0,6335
Pernos flojos	95,1%	0,9504
Fisuras en uñas	63,3%	0,6330
Lubricación incompleta	95,1%	0,9506
Oxidación de eslabones	95,0%	0,8649
Desgaste de los rodamientos	63,3%	0,6334
Desgaste de la banda de rodadura	86,6%	0,9514
Desgaste de zapatas o pastillas de freno	63,3%	0,8666

Fuente: ECUAESTIBAS (2016).
Realizado por Nuela S.

Lo expresado en la tabla 20-3, muestra los valores que resulta de la fórmula de fiabilidad, lo ideal es siempre valores cercanos a uno. Las propuestas de mejora al mantenimiento de los equipos serán las que nos ayuden a que estos valores se puedan ir aproximando a uno, que serán valores aceptables de fiabilidad, dicho de otra forma, cuando estos valores estén cerca a uno, será porque los tiempos medios entre fallo son más largos.

3.10 Determinación de los criterios de mantenimiento existentes en la planta

La empresa en la actualidad no maneja ningún tipo de mantenimiento, y lo único que realizan son mantenimientos correctivos, no se da por ningún motivo algún tipo de mantenimiento preventivo para evitar que alguno de los modos de fallo ocurran.

Durante la investigación se determinó que no se realizan inspecciones que se realice al menos previo a la jornada de trabajo, pero tampoco se tenía información de este tema.

Tampoco se cuenta con una base de datos que incluya un historial de fallos con los diferentes acontecimientos que tuvieran cada uno de los montacargas.

No se cuenta con un software que pueda ayudar en el manejo del mantenimiento de los equipos.

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Plan de mantenimiento de montacargas, aplicando la ingeniería de fiabilidad a la empresa ECUAESTIBAS

Una vez que se realizó las diferentes fases del mantenimiento basado en fiabilidad, definición y función de los elementos, codificación, determinación de los fallos, determinación de los modos de fallos, criticidad de los fallos, tiempo medio entre fallos, se puede dar inicio a una propuesta de mantenimiento que puedan dar solución a los ítems mencionados anteriormente.

4.1.1 Inspecciones

Las inspecciones de los elementos que conforman el montacargas se lo hará al 50 % de los tiempos medios entre fallos para poder advertir cualquier anomalía que se pueda presentar en los componentes, para esto se llevara un control electrónico y físico del número de horas que está funcionando el montacargas.

Para este trabajo se tomaran criterios de inspección de la normativa ANSI B56.1, que entre otras cosas menciona lo establecido en la tabla 1-4.

Tabla 1-4 Frecuencias de inspección de los montacargas.

SISTEMA	QUE INSPECCIONAR	QUE BUSCAR	FRECUENCIA A (horas)	CONFORME (SI / NO)
Eléctrico	Batería	Falta agua de batería	513	
Eléctrico	Batería	Sulfatación de la placa, corrosión del conductor	343	
Eléctrico	Cables	Desgaste del recubrimiento	1029	
Eléctrico	Cables	Desgaste de los acoples	1030	
Eléctrico	Cables	Oxidación de los conectores	515	
Eléctrico	Motor Hidráulico	Atascamiento de eje	1028	
Eléctrico	Motor hidráulico	carbones desgastados	514	
Eléctrico	Motor tracción	Atascamiento de eje	1028	
Eléctrico	Motor Tracción	carbones desgastados	514	
Hidráulico	Filtro de aceite	Deterioro de elemento filtrante	409	
Hidráulico	Bomba de presión	Fuga de aceite en bomba	205	
Hidráulico	Mangueras	Rotura de manguera	1028	
Hidráulico	Acoples de mangueras	Roscas dañadas	1028	
Hidráulico	Acoples de mangueras	falta de ajuste	343	
Hidráulico	Cilindros de elevación	Desgaste de empaques	1028	
Estructural	Chasis	Pernos flojos	343	
Estructural	Horquillas	Fisuras en horquillas	1029	
Estructural	Cadena	Lubricación incompleta	343	
Estructural	Cadena	Oxidación de eslabones	412	
Estructural	Mástil	Desgaste de los rodamientos	1028	
Movimiento	Llantas	Desgaste de la banda de rodadura	410	
Movimiento	Frenos	Desgaste de zapatas o pastillas de freno	684	
Movimiento	Frenos	Falta de líquido de freno	515	

Fuente: ECUAESTIBAS. (2016).
Realizado por Nuela S.

Se lo puede apreciar en la tabla 1-4, se tiene un referencial de los tiempos medios entre fallos que ayudara a que los mantenimientos se puedan desarrollar antes de que ocurra el fallo.

4.1.2 Alimentación de la base de datos.

De acuerdo a lo que se mencionó anteriormente, la empresa no cuenta al momento con un software que pueda ayudar en la gestión del mantenimiento de los montacargas, por lo que este estudio tendrá el manejo de datos en el programa Excel que resulta una herramienta de gran ayuda para gestionar de manera adecuada el mantenimiento de los equipos que estén a cargo de la empresa.

En esta base de datos se registrará:

- a) Fecha que se realiza la inspección o mantenimiento
- b) Tipo de trabajo que se realiza: Inspección o mantenimiento.
- c) Código de montacargas.
- d) Hodómetro que marca el día del trabajo realizado.
- e) Persona que realiza la inspección o mantenimiento.
- f) Operador asignado en la fecha de la inspección.
- g) Sistema que es objeto del trabajo.
- h) Elemento que es objeto del trabajo.
- i) Hallazgos.
- j) Trabajo realizado.
- k) Observaciones.

Los elementos anteriores se los puede apreciar en la tabla 2-4.

Tabla 2-4 Ejemplo de base de datos de montacargas.

ECUAESTIBAS										
FECHA	INSPECCION / MANTENIMIENTO	CODIGO MONTACARGAS	HODOMETRO	PERSONA QUE REALIZA LA INSPECCION	OPERADOR	SISTEMA SE, SH, SS, SM	ELEMENTO	HALLAZGO	TRABAJO REALIZADO	OBSERVACIONES
2016- 06-04										

Fuente: ECUAESTIBAS autor (2016).
Realizado por Nuela S.

La base de datos será llenada con la ayuda de una hoja de verificación en campo que será el complemento de las inspecciones y que buscará los modos de fallo que se analizaron anteriormente, para que estos sean trasladados hacia la base de datos, y en esta se tendrá una retroalimentación con los nuevos valores de la ocurrencia de los fallos como de los mantenimientos realizados.

En esta hoja de verificación se tendrá que buscar los modos de fallo que se estudiaron en el capítulo anterior, pero por sobre todo aquellos que han existido a lo largo del período 2014-2015, debido a que en el análisis también se hizo constar los posibles modos de fallo que podrían ocurrir.

Se deberá tomar muy en cuenta el tiempo medio entre fallos, para que los tiempos de inspección no lleguen de manera tardía, estos tiempos de inspección han sido colocados de manera automatizada en la hoja de Excel de este estudio, esto se lo puede apreciar en la siguiente tabla.

Se tendrá como elemento principal de entrada de datos, el valor numérico que marque el hodómetro que tiene cada equipo, esto se lo hará de manera diaria, y se lo ve en la tabla 3-4.

Tabla 3-4 Tabla de registro de datos en función hodómetro.

ECUAESTIBAS					
TRANSCURSO DE DIAS	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5
VALOR ESPERADO HODOMETRO	4136	4144	4152	4160	4168
MODO DE FALLO	VALOR REAL HODOMETRO				
Fuga de aceite en bomba	4136	4144	4152	4160	4168
Lubricación incompleta	4136	4144	4152	4160	4168
Sulfatación de la placa, corrosión del conductor, exceso o falta de agua	4136	4144	4152	4160	4168
Pernos flojos	4136	4144	4152	4160	4168
Desgaste de la banda de rodadura	4136	4144	4152	4160	4168
Falta de lubricación	4136	4144	4152	4160	4168
Falta agua de batería	4136	4144	4152	4160	4168

Fuente: ECUAESTIBAS (2016).
Realizado por Nuela S.

De acuerdo a la tabla 3-4, se tendrá un registro diario de las horas que lleva de vida el equipo de izaje, con esto se podrá gestionar las tareas de mantenimiento.

4.1.3 Acciones preventivas.

Se conoce los tiempos medios entre fallos, estos valores son los que nos ayudan a establecer el tiempo para realizar mantenimiento preventivo, es decir antes de que ocurra el fallo.

Inspección

La inspección de los elementos del montacargas se lo hará al 50% del TMEF, y para tener un espacio de holgura que nos pueda dar plazos para realizar la inspección, esta inspección se la puede realizar entre el 48% y el 51% del tiempo medio entre fallo, ejemplo de esto se lo ve en la tabla 4-4.

Tabla 4-4 Tiempo de inspección de los elementos del montacargas.

E C U A E S T I B A S											
TRANSCURSO DE DIAS								DIA 42	DIA 43	DIA 44	DIA 45
VALOR ESPERADO HODOMETRO								4464	4472	4480	4488
SISTEMA	ELEMENTO	CODIGO	MODO DE FALLO	MT BF	50 % MTBF	48% MTBF	51 % MTBF	336	344	352	360
Eléctrico	Batería	SEBT	Sulfatación de la placa, corrosión del conductor, exceso o falta de agua	686,5	343,3	329,5	350,1	4464	4472	4480	4488
Estructural	Chasis	ETCH	Pernos flojos	686,8	343,4	329,6	350,2	4464	4472	4480	4488
Hidráulico	Acoples	SHAP	falta de ajuste	687,0	343,5	329,8	350,4	4464	4472	4480	4488
Movimiento	Ruedas	SMRD	Desgaste de la banda de rodadura	820,6	410,3	393,9	418,5	4464	4472	4480	4488
Eléctrico	Batería	SEBT	Falta agua de batería	1027,0	513,5	493,0	523,8	4464	4472	4480	4488

Fuente: ECUAESTIBAS (2016).

Realizado por Nuela S.

Se puede mirar en la tabla 4-4 se tendrá un periodo de aviso para realizar la inspección que estará a mitad de los TMEF.

Mantenimiento

También las tareas de mantenimiento se los realizará previo una orden de trabajo que se emitirá al 97% del tiempo medio entre fallo teniendo como máximo de aviso de orden de trabajo el 99%, de acuerdo a lo que se lo muestra en la tabla 5-4.

Tabla 5-4 Tiempo de emisión de orden de trabajo de mantenimiento.

E C U A E S T I B A S										
TRANSCURSO DE DIAS									DIA 100	DIA 101
VALOR ESPERADO HODOMETRO									4928	4936
SISTEMA	ELEMENTO	CODIGO	MODO DE FALLO	MTBF	99 % MTBF	MTBF + HA	97 % (MTBF + HA)	99 % (MTBF + HA)	800	808
Hidráulico	Bomba	SHBB	Fuga de aceite en bomba	411,0	406,9	4539,0	4526,7	4534,9	4928	4936
Estructural	Mástil	ETMT	Lubricación incompleta	686,2	679,3	4814,2	4793,6	4807,3	4928	4936
Estructural	Chasis	ETCH	Pernos flojos	686,8	679,9	4814,8	4794,1	4807,9	4928	4936
Hidráulico	Acoples	SHAP	falta de ajuste	687,0	680,1	4815,0	4794,4	4808,1	4928	4936
Hidráulico	Filtro	SHFT	Deterioro de elemento filtrante	819,6	811,4	4947,6	4923,0	4939,4	4928	4936
Movimiento	Ruedas	SMRD	Desgaste de la banda de rodadura	820,6	812,4	4948,6	4924,0	4940,4	4928	4936
Estructural	Cadenas	ETCD	Falta de lubricación	824,6	816,4	4952,6	4927,9	4944,4	4928	4936
Eléctrico	Batería	SEBT	Falta agua de batería	1027,0	1016,7	5155,0	5124,2	5144,7	4928	4936
Eléctrico	Motor bomba	SEMB	carbones desgastados	1028,0	1017,7	5156,0	5125,2	5145,7	4928	4936
Eléctrico	Motor tracción	SEMT	carbones desgastados	1028,5	1018,2	5156,5	5125,6	5146,2	4928	4936

Fuente: ECUAESTIBAS (2016).
Realizado por Nuela S.

Las órdenes de mantenimiento preventivo se las dará con tiempo previo a que ocurra el fallo, tal como se lo vio los iconos marcados en azul de la tabla 5-4, los cuales irán apareciendo de manera automática en función de los datos de hodómetro que se lo ingresará de manera diaria.

Y se tendrá como alerta de que el mantenimiento del ítem debe ser realizado inmediatamente cuando el tiempo medio entre fallo esté entre el 99 y el 100%, según se lo ve en la tabla 6-4.

Tabla 6-4 Tiempo máximo para realizar el mantenimiento.

ECUAESTIBAS									
TRANSCURSO DE DIAS							DIA 101	DIA 102	DIA 103
HODOMETRO							4936	4944	4952
SISTEMA	ELEMENTO	CODIGO	MODO DE FALLO	MTBF	MTBF + HA	99 % (MTBF + HA)	808	816	824
Hidráulico	Bomba	SHBB	Fuga de aceite en bomba	411,0	4539,0	4534,9	4936	4944	4952
Estructural	Mástil	ETMT	Lubricación incompleta	686,2	4814,2	4807,3	4936	4944	4952
Estructural	Chasis	ETCH	Pernos flojos	686,8	4814,8	4807,9	4936	4944	4952
Hidráulico	Acoples	SHAP	falta de ajuste	687,0	4815,0	4808,1	4936	4944	4952
Hidráulico	Filtro	SHFT	Deterioro de elemento filtrante	819,6	4947,6	4939,4	4936	4944	4952
Movimiento	Ruedas	SMRD	Desgaste de la banda de rodadura	820,6	4948,6	4940,4	4936	4944	4952
Estructural	Cadenas	ETCD	Falta de lubricación	824,6	4952,6	4944,4	4936	4944	4952
Eléctrico	Batería	SEBT	Falta agua de batería	1027,0	5155,0	5144,7	4936	4944	4952
Eléctrico	Motor bomba	SEMB	carbones desgastados	1028,0	5156,0	5145,7	4936	4944	4952

Fuente: ECUAESTIBAS (2016).
Realizado por Nuela S.

Según lo visto en la tabla 6-4, se tendrá una alerta visual en la hoja de cálculo Excel, cuando ya llegaron al tope del tiempo medio entre fallos.

4.2 Algoritmo de intervención en mantenimiento de los montacargas

El proceso que se llevará a cabo para realizar las tareas de mantenimiento y sus respectivas inspecciones serán con el involucramiento obligatorio de las tareas de inspección, que serán quienes nos den alertas en caso de presentarse posibles anomalías para un modo de fallo, esto se lo puede apreciar en la figura 1-4.

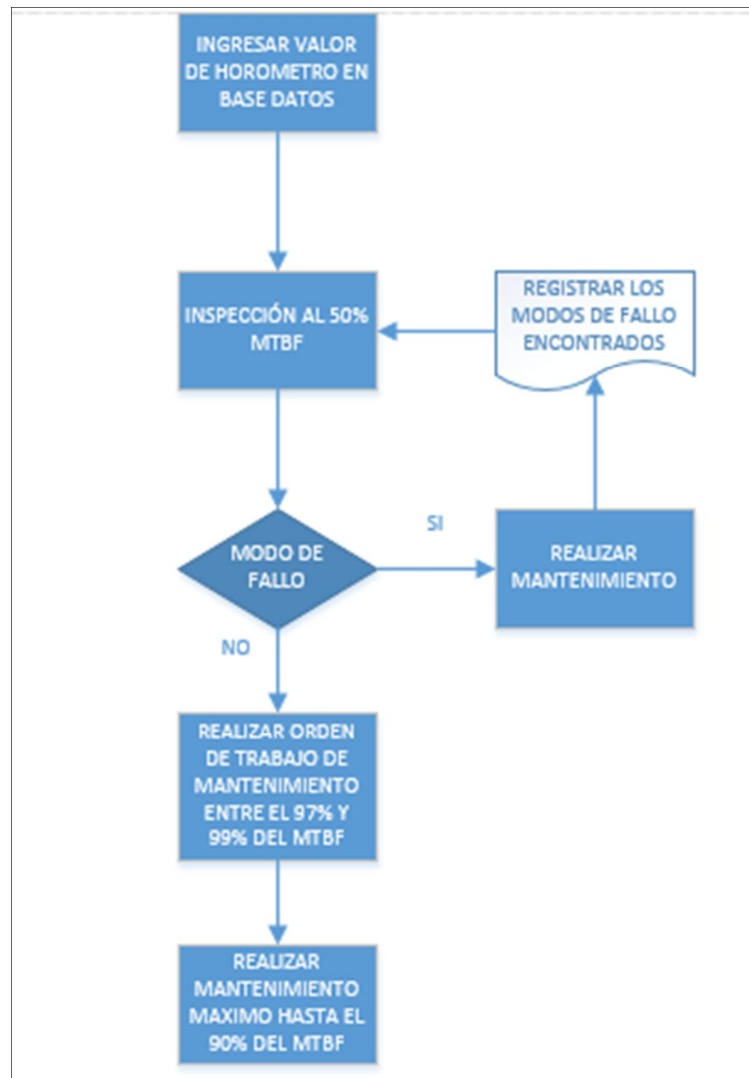


Figura1-4.- Algoritmo de mantenimiento de montacargas.

Fuente: Realizado por Nuela S. (2016).

4.3 Comparación de los costos de mantenimiento con y sin la ingeniería de la fiabilidad

El valor que genera un montacargas en las instalaciones del puerto es de 550\$ se labora de lunes a viernes y se trabaja 8 horas al día con estos parámetros se calcula la pérdida de producción que se tiene cuando el montacargas tiene algún modo de fallo, así como también se tiene el costo de mantenimiento.

Los costos que más implican la falta de algún programa de mantenimiento son la pérdidas económicas por reparaciones y las pérdidas de producción que se da por la detención del equipo tal como se puede ver en la tabla 31 donde los costos de mantenimiento y pérdida de producción nos dan un total de 33616 \$ convirtiéndose esta cantidad en un 11,8% del total de la producción esperada en el ciclo analizado 2014-2015 lo que representa 283800\$.

La empresa incurrirá en costos de mantenimiento de manera preventiva o de manera correctiva siendo estas últimas las maneras que se quieren evitar pues tienen implicaciones directas en la parte económica de esta forma se puede establecer en la tabla 32 que los costos de pérdida de producción esperada en los periodos analizados se pueden reducir si se aplica el mantenimiento basado en fiabilidad.

Es decir en el desempeño que tengan los diferentes elementos en el tiempo para esto se dará uso primordial a los tiempos medios entre fallos que se los ha calculado, así la reducción de la pérdida de producción es del 7%, quedándonos únicamente el costo de realizar el mantenimiento en los periodos adecuados sin dejar que llegue a ocurrir el modo de fallo, esto se lo puede ver en la tabla 7-4.

Tabla 7-4 Costos de mantenimiento y pérdida de producción.

E C U A E S T I B A S																							
DIAS DE PRODUCCIÓN 2014-2015																516							
PRODUCCIÓN ESPERADA \$ 2014-2015																283800							
	SE1	SE2	SE3	SE4	SE5	SE6	SE7	SE8	SE9	SH1	SH2	SH3	SH4	SH5	SH6	SS1	SS2	SS3	SS4	SS5	SM 1	SM 2	SM 3
Horas de fallo	20	9	11	7	5	14	16	14	14	30	18	13	14	6	16	7	10	11	5	14	25	22	5
Costo mantenimiento \$	500	225	495	315	225	910	640	840	560	900	360	650	435	120	720	150	550	220	100	770	1625	1100	100
Costo perdida producción \$	1375	618	756	481	343	962	1100	962	962	2062	1237	893	996	412	1100	515	687	756	343	962	1718	1512	343
																					PÉRDIDAS ECONÓMICAS MANTENIMIENTO \$		12510,0
																					COSTO PÉRDIDA PRODUCCIÓN \$		21106,3
																					TOTAL \$		33616

Fuente: ECUAESTIBAS (2016).
Realizado por Nuela S.

Tabla 8-4 Costos de mantenimiento con aplicación de fiabilidad.

E C U A E S T I B A S																							
DÍAS DE PRODUCCIÓN 2014-2015																516							
PRODUCCIÓN ESPERADA \$ 2014-2015																283800							
CODIGO FALLO	SE1	SE2	SE3	SE4	SE5	SE6	SE7	SE8	SE9	SH1	SH2	SH3	SH4	SH5	SH6	SS1	SS2	SS3	SS4	SS5	SM 1	SM 2	SM 3
Horas de mantenimiento	5,0	2,3	2,8	1,8	1,3	3,5	4,0	3,5	3,5	7,5	4,5	3,3	3,6	1,5	4,0	1,9	2,5	2,8	1,3	3,5	6,3	5,5	1,3
Costo mantenimiento \$	125	56,3	123,8	78,8	56,3	227,5	160	210	140	225	90	162	108,8	30	180	37,5	137,5	55	25	192,5	406,3	275	25
COSTO MANTENIMIENTO \$																			3127,5				

Fuente: ECUAESTIBAS (2016).
Realizado por Nuela S.

4.4 Aplicación mantenimiento basado en fiabilidad 2016.

Durante el año 2016 se aplicó el mantenimiento propuesto que tiene como base la fiabilidad de los componentes, de este año se tomó el primer trimestre para compararlo con el primer trimestre del año 2014 que es la época en la que no se realizaba mantenimientos a más de los correctivos.

El desarrollo de las tareas tanto de inspección como de mantenimiento que se dio hasta el primer trimestre del año 2016 se lo observa en la tabla 9-4.

Tabla 9-4 Ejecución de tareas basadas en fiabilidad.

Fecha	Inspección / mantenimiento	Código equipo	Horas	Técnico	Operador	Sistema se, sh, ss, sm	Elemento	Hallazgo	Trabajo Realizado	Tiempo de tarea horas	Observaciones
2016-02-05	Inspección	MC1	4436	Pedro Méndez	Santiago Gaviláñez	SH	Bomba	Polvo	Limpieza	1	
2016-03-01	Inspección	MC1	4472	Pedro Méndez	Santiago Gaviláñez	SS	Mástil	Sequedad	Lubricación	0,5	
2016-03-01	Inspección	MC1	4472	Pedro Méndez	Santiago Gaviláñez	SE	Batería	Sulfatación	Limpieza	0,5	
2016-03-01	Inspección	MC1	4472	Pedro Méndez	Santiago Gaviláñez	SS	Chasis	Pernos flojos	Ajuste	1	
2016-03-01	Inspección	MC1	4472	Pedro Méndez	Santiago Gaviláñez	SH	Acoples	Acoples flojos	Ajuste	1,5	
2016-03-10	Mantenimiento	MC1	4528	Froilán Tonato	Santiago Gaviláñez	SH	Bomba	Empaque deteriorado	Cambio empaque	3	
2016-03-11	Inspección	MC1	4544	Pedro Méndez	Santiago Gaviláñez	SH	Filtro	Elementos extraños	Limpieza	1	
2016-03-11	Inspección	MC1	4544	Pedro Méndez	Santiago Gaviláñez	SM	Ruedas	3mm de banda de rodadura	Revisión	0,5	
2016-03-11	Inspección	MC1	4544	Pedro Méndez	Santiago Gaviláñez	SS	Cadena	Polvo	Lubricación	0,5	
2016-03-29	Inspección	MC1	4632	Pedro Méndez	Santiago Gaviláñez	SE	Batería	Falta de agua en 5 tanques	Completación	1	
2016-03-30	Inspección	MC1	4640	Pedro Méndez	Santiago Gaviláñez	SE	Motor Bomba	Carbones 55mm	Revisión	2	
2016-03-31	Inspección	MC1	4648	Pedro Méndez	Santiago Gaviláñez	SE	Motor Tracción	Carbones 70mm	Revisión	2	

Fuente: ECUAESTIBAS (2016).
Realizado por Nuela S.

La tabla 9-4 muestra que en el primer trimestre del año 2016 tan solo se realizaron inspecciones y solo una tarea de mantenimiento que no es correctivo sino preventivo.

En la tabla 10-4 se observa la reducción existente en lo que se refiere a los fallos y las horas de para del equipo.

Tabla 10-4 Comparación de horas y fallos entre 2014 y 2016

AÑO	TRIMESTRE	FALLOS	HORAS MANTENIMIENTO	PORCENTAJE
2014	Primero	17	62	100%
2016	Primero	0	14,5	23%
AHORRO				77

Fuente: ECUAESTIBAS (2016).
Realizado por Nuela S.

De acuerdo a lo mostrado en la tabla 10-4, la reducción de horas de mantenimiento es de 77%, lo que también se traduce en reducción de las pérdidas económicas por mantenimientos correctivos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

a) Los pasos para la aplicación de la ingeniería de la fiabilidad se las puede aplicar tal como se lo ha visto en este estudio, y son:

- Codificar los elementos.
- Determinar las funciones de cada elemento.
- Determinar los fallos de cada elemento.
- Establecer los modos de fallo de cada elemento.
- Establecer la criticidad de cada elemento.

b) De acuerdo al análisis de fallos realizado en los años 2014 y 2015, se tiene que el sistema eléctrico y el hidráulico son los más recurrentes, y también coincide con el número de tipos de fallo que tienen los montacargas. Así se puede decir que el sistema eléctrico es el que más horas de fallo tiene dando un total de 103, 5 horas en el período analizado, seguido del sistema hidráulico que tiene 97,5 horas de fallo, a continuación está el sistema de movimiento con 50 horas, y por último el sistema estructural con 47,5 horas de fallo.

c) Las pérdidas económicas de mantenimientos se ven reducidos si se aplica la ingeniería de la fiabilidad, así se tiene que en el periodo analizado se tuvo costos económicos de 12510\$ y ya con la aplicación de ingeniería de la fiabilidad se tiene costos de mantenimiento de 3127,5\$.

d) Existen normativas nacionales e internacionales que se pueden utilizar en la inspección de montacargas, a las cuales se ajustan los ítems que se establecieron en este estudio, entre las cuales están: NT 22: Notas técnicas del ministerio de trabajo de Ecuador, en lo referente a temas de seguridad industrial.

ANSI B56.1: Instituto Nacional Americano de Normas, Montacargas, fabricación, mantenimiento e inspección de montacargas. NTP: Normas técnicas de prevención de España, inspección y mantenimiento de montacargas, de las normativas mencionadas se elaboró la tabla 11-4 con los ítems que deben ser inspeccionados en los montacargas.

Tabla 11-4 Ítems de inspección de montacargas.

SISTEMA	QUE INSPECCIONAR	QUE BUSCAR	CONFORME (SI / NO)	OBSERVACIONES
Eléctrico	Batería	Falta agua de batería		
Eléctrico	Batería	Sulfatación de la placa, corrosión del conductor		
Eléctrico	Cables	Desgaste del recubrimiento		
Eléctrico	Cables	Oxidación de los conectores		
Eléctrico	Motor Hidráulico	Atascamiento de eje		
Eléctrico	Motor hidráulico	carbones desgastados		
Eléctrico	Motor tracción	Atascamiento de eje		
Hidráulico	Filtro de aceite	Deterioro de elemento filtrante		
Hidráulico	Bomba de presión	Fuga de aceite en bomba		
Hidráulico	Mangueras	Rotura de manguera		
Hidráulico	Acoples de mangueras	Roscas dañadas		
Hidráulico	Acoples de mangueras	falta de ajuste		
Hidráulico	Cilindros de elevación	Desgaste de empaques		
Estructural	Chasis	Pernos flojos		
Estructural	Horquillas	Fisuras en horquillas		
Estructural	Cadena	Lubricación incompleta		
Estructural	Cadena	Oxidación de eslabones		
Estructural	Mástil	Desgaste de los rodamientos		
Movimiento	Llantas	Desgaste de la banda de rodadura		
Movimiento	Frenos	Desgaste de zapatas o pastillas de freno		
Movimiento	Frenos	Falta de líquido de freno		

Fuente: ECUAESTIBAS (2016).

Realizado por Nuela S.

RECOMENDACIONES

- a) Hacer uso de los tiempos medios entre fallos ya establecidos en este estudio para el establecimiento de los planes de inspección y los planes de mantenimiento.

- b) Dar seguimiento a los fallos que ocurran usando el software de manejo de datos que se tiene en este estudio.

- c) Realizar las inspecciones de los equipos con ayuda de los manuales de fabricante y con la ayuda de las normativas locales e internacionales tales como la NT 22 del ministerio de trabajo y la ANSI B56.1 de Estados Unidos.

- d) Realizar inspecciones de los elementos que conforman los montacargas siguiendo los ítems establecidos en la tabla 11-4.

BIBLIOGRAFÍA

- ABB. (2009). Que es la fiabilidad? *REVISTA ABB 1/2009*, 1.
- ANSI. (11 de 11 de 2015). Powered and Nonpowered Industrial Trucks. *Safety Standard for Low Lift and High Lift Trucks*. QUITO.
- ECUAESTIBAS. (11 de JUNIO de 2015). *INICIO, ECUAESTIBAS*. Obtenido de <http://www.ecuaestibas.com/>
- EMERSON. (23 de 01 de 2015). *EMERSON*. Obtenido de <http://campuscurico.utalca.cl/~fespinos/CONCEPCION%20RCM%20MANTENIMIENTO%20CENTRADO%20EN%20CONFIABILIDAD.pdf>
- GARRIDO, S. G. (12 de 10 de 2015). *BOOKS. GOOGLE.COM*. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=o5isJP5Pq8IC&pg=PA96&lpg=PA96&dq=La+primera+pregunta+a+responder+en+cada+modo+de+fallo+es,+pues:+%C2%BFqu%C3%A9+pasa+si+ocurre?&source=bl&ots=A6YPQ1AMV_&sig=Eu4I4RGyMuHl-UaMnTKtr1C1m6k&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwii3Nzy0MXQA
- INGEMAN. (09 de 06 de 2015). Técnicas de Ingeniería de Fiabilidad Aplicadas al Proceso de Optimización del Mantenimiento.
- INSHT. (10 de 10 de 2015). NTP 214. *NTP 214*.
- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. (21 de 02 de 2015). NTP 715. *Carretillas elevadoras automotoras (III): mantenimiento y utilización*. Madrid, España.
- LOGÍSTICA, L. C. (01 de 10 de 2015). *Carretillas de pasillo estreho: LRM*. Obtenido de LRM: www.lrmconsultorialogistica.es
- MILITAR STADARD. (11 de 11 de 2015). HANDBOOK MIL-HDBK-2173 . *RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE REQUIREMENTS FOR NAVAL AIRCRAFT, WEAPONS SYSTEMS AND SUPPORT EQUIPMENT*.
- MINISTERIO DE TRABAJO. (11 de 11 de 2015). DSST-NT-22. *Medidas de Prevención en*. QUITO.
- SEXTO, L. F. (15 de 10 de 2014). INGENIERÍA DE LA FIABILIDAD. *INGENIERÍA DE LA FIABILIDAD*.

TRABAJO, I. D. (15 de 11 de 2015). Carretillas elevadoras. *Carretillas elevadoras*. Madrid, España.

ANEXOS

Anexo 1.- Cuadro de control de tiempos de ejecución de tareas

Anexo 2.- Base datos de eventos en montacargas

Anexo 3.- Eventos registrados entre Enero y Marzo 2016

ANEXO 1

CUADRO DE CONTROL DE TIEMPOS DE EJECUCIÓN DE TAREAS

ECUAESTIBAS CONTROL DE TRABAJOS A EQUIPOS																					
HODOMETRO ACTUAL (HA)	4128		INSPECCION	PROXIMO MANTENIMIENTO																	
TRANSCURSO DE DIAS									DIA 102	DIA 103	DIA 104	DIA 105	DIA 106	DIA 107	DIA 108	DIA 109	DIA 110	DIA 111	DIA 112	DIA 113	DIA 114
VALOR ESPERADO HODOMETRO									4944	4952	4960	4968	4976	4984	4992	5000	5008	5016	5024	5032	5040
SISTEMA	ELEMENTO	CODIGO	MODO DE FALLO	MTBF	99 % MTBF	MTBF + HA	97 % (MTBF + HA)	99 % (MTBF + HA)	816	824	832	840	848	856	864	872	880	888	896	904	912
ESTRUCTURAL	MASTIL	ETMT	Lubricación incompleta	686,2	679,3	4814,2	4793,6	4807,3	4944	4952	4960	4968	4976	4984	4992	5000	5008	5016	5024	5032	5040
ELECTRICO	BATERIA	SEBT	Sulfatación de la placa, corrosión del conductor, exceso o falta de agua	686,5	679,6	4814,5	4793,9	4807,6	4944	4952	4960	4968	4976	4984	4992	5000	5008	5016	5024	5032	5040
HIDRAULICO	FILTRO	SHFT	Deterioro de elemento filtrante	819,6	811,4	4947,6	4923,0	4939,4	4944	4952	4960	4968	4976	4984	4992	5000	5008	5016	5024	5032	5040
MOVIMIENTO	RUEDAS	SMRD	Desgaste de la banda de rodadura	820,6	812,4	4948,6	4924,0	4940,4	4944	4952	4960	4968	4976	4984	4992	5000	5008	5016	5024	5032	5040

ANEXO 2

BASE DATOS DE EVENTOS EN MONTACARGAS

E C U A E S T I B A S										
FECHA	Inspección / mantenimiento	Código montacargas	Hodómetro	Persona que realiza la inspección	Operador	Sistema SE, SH, SS, SM	Elemento	Hallazgo	Trabajo realizado	Observaciones
2016-06-04										
2016-06-07										
2016-06-10										
2016-06-12										
2016-06-14										

ANEXO 3

EVENTOS REGISTRADOS ENTRE ENERO Y MARZO 2016

FECHA	.Inspección / mantenimiento	Código montacargas	Hodómetro horas	Técnico	Operador	.Sistema se, sh, ss, sm	Elemento	Hallazgo	Trabajo realizado	Tiempo de tarea horas	Observaciones
2016-02-05	Inspección	MC1	4436	Pedro Méndez	Santiago Gavilánez	SH	Bomba	Polvo	Limpieza	1	
2016-03-01	Inspección	MC1	4472	Pedro Méndez	Santiago Gavilánez	SS	Mástil	Sequedad	Lubricación	0,5	
2016-03-01	Inspección	MC1	4472	Pedro Méndez	Santiago Gavilánez	SE	Batería	Sulfatación	Limpieza	0,5	
2016-03-01	Inspección	MC1	4472	Pedro Méndez	Santiago Gavilánez	SS	Chasis	Pernos flojos	Ajuste	1	
2016-03-01	Inspección	MC1	4472	Pedro Méndez	Santiago Gavilánez	SH	Acoples	Acoples flojos	Ajuste	1,5	
2016-03-10	Mantenimiento	MC1	4528	Froylan Tonato	Santiago Gavilánez	SH	Bomba	Empaque deteriorado	Cambio empaque	3	
2016-03-11	Inspección	MC1	4544	Pedro Méndez	Santiago Gavilánez	SH	Filtro	Elementos extraños	Limpieza	1	
2016-03-11	Inspección	MC1	4544	Pedro Méndez	Santiago Gavilánez	SM	Ruedas	3mm de banda de rodadura	Revisión	0,5	
2016-03-11	Inspección	MC1	4544	Pedro Méndez	Santiago Gavilánez	SS	Cadena	Polvo	Lubricación	0,5	
2016-03-29	Inspección	MC1	4632	Pedro Méndez	Santiago Gavilánez	SE	Batería	Falta de agua en 5 tanques	Completacion	1	
2016-03-30	Inspección	MC1	4640	Pedro Méndez	Santiago Gavilánez	SE	Motor Bomba	Carbones 55mm	Revisión	2	
2016-03-31	Inspección	MC1	4648	Pedro Méndez	Santiago Gavilánez	SE	Motor Tracción	Carbones 70mm	Revisión	2	