UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

PROYECTO TÉCNICO:

"IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM PARA LOS VEHÍCULOS DE EMERGENCIA DEL BENEMÉRITO CUERPO DE BOMBEROS VOLUNTARIOS DE CUENCA"

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A

LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ

AUTOR:

ALVAREZ ZEAS IVAN PATRICIO

TUTOR:

ING. MILTON GARCÍA, MSc.

CUENCA, MAYO 2017

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo Ivan Patricio Alvarez Zeas, con documento de identificación N° 0105309306, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: **"IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM PARA LOS VEHÍCULOS DE EMERGENCIA DEL BENEMÉRITO CUERPO DE BOMBEROS VOLUNTARIOS DE CUENCA",** mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Ivan Patricio Alvarez Zeas

0105309306

Cuenca, mayo de 2017

CERTIFICACIÓN

Yo, Ing. Milton García declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **"IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM PARA LOS VEHÍCULOS DE EMERGENCIA DEL BENEMÉRITO CUERPO DE BOMBEROS VOLUNTARIOS DE CUENCA"**, realizado por, Ivan Patricio Alvarez Zeas, obteniendo el Proyecto Técnico**,** que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, mayo de 2017

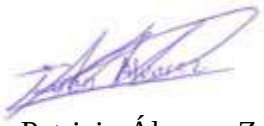
ING. Milton Oswaldo García Tobar, MSc

0104282181

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA

Yo, Ivan Patricio Alvarez Zeas con documento de identificación N° 0105309306, autor del trabajo de titulación **"IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM PARA LOS VEHÍCULOS DE EMERGENCIA DEL BENEMÉRITO CUERPO DE BOMBEROS VOLUNTARIOS DE CUENCA"**. Certifico que el total contenido del Proyecto Técnico es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, mayo del 2017



Ivan Patricio Álvarez Zeas

0105309306

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por iluminarme permitiéndome terminar mi carrera. A mis padres Carlos y Lucila por todo el apoyo brindado durante toda mi vida. A mi hermana Norma por incentivarme a seguir adelante hasta cumplir con mis metas, de igual manera a mi hijo Iván Alejandro por enseñarme lo maravillosa que es la vida permitiéndome luchar y continuar con mis estudios. Al Ing. Milton García por haber dirigido este proyecto de grado, transmitiéndome sus conocimientos y apoyándome en todo momento.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto primeramente a Dios, luego a mis padres Carlos y Lucila, a mi hermana Norma y su familia. A mi esposa Michelle junto con mi hijo Iván Alejandro, a mi familia, amigos y compañeros de la Universidad quienes me han brindado su apoyo incondicional en cada etapa de mi formación especialmente en mi carrera universitaria ya que con su apoyo he podido responder ante cualquier adversidad de la vida.

RESUMEN

El presente proyecto técnico se basa en la implementación de un plan de Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM), para los vehículos de emergencia del Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de la ciudad de Cuenca, en base a un análisis de criticidad de los mismos para luego aplicar la metodología RCM. Una vez determinadas las partes críticas que conllevan a que los vehículos de emergencia presenten fallas, se procedió a realizar un análisis de modos y efectos de falla (AMEF).

Para ello, es necesario definir las funciones principales y secundarias de cada unidad de emergencia, sus modos de falla, los efectos de falla y el origen que generan las fallas en los vehículos, con la finalidad de determinar un plan de mantenimiento que eviten las potenciales fallas generadas a lo lapso del tiempo de operación, dando como efecto las consecuentes paradas.

Este plan se basa en actividades de mantenimiento, las frecuencias y el responsable de control, con el objetivo de realizar un mantenimiento adecuado basándose en la criticidad de cada unidad, teniendo así vehículos seguros que se prestan a ser fiables para el personal de la institución y pacientes. Para corroborar con el proceso de localizar las unidades críticas, se analizó a las diferentes unidades de emergencia bajo ciertos parámetros como: diagramas de Pareto, que nos permitió realizar un análisis de costos acumulados vs fallos acumulados. La distribución de Weibull, con la que analizamos los tiempos de buen funcionamiento vs los tiempos de reparación, con lo cual se plantearon ciertos indicadores de mantenimiento, entre ellos la disponibilidad que presenta cada unidad de emergencia.

Luego de detectar cuáles son las unidades que presentan fallos catalogados como críticos se plantearon soluciones, con el fin de aumentar la disponibilidad y minimizar costos de reparación. Logrando así unidades de emergencia fiables e indudables al momento de realizar sus respectivas funciones para las cuales fueron diseñadas, manteniendo la seguridad y salvaguardando a los pacientes a bordo de las unidades.

Palabras clave:

Análisis de criticidad, Confiabilidad, Efectos de falla, Mantenimiento Centrado en la fiabilidad (RCM), Plan de Mantenimiento, Tasa de fallos, Unidades de Emergencia

ABSTRACT

The present technical project is based on the implementation of a plan of Maintenance Centred on the Reliability (RCM), for emergency vehicles of Worthy body of volunteer firefighters of the city of Cuenca, on the basis of an analysis of criticality for then apply the RCM methodology. Once certain critical parts that lead to emergency vehicles present failures, it proceeded to an analysis of modes and effects of failure (FMEA).

For this, is necessary define them functions main and secondary of each unit of emergency, their modes of failure, the effects of failure and the origin that generate them failures in them vehicles, with the purpose of determine a plan of maintenance that avoid them potential failures generated to it lapse of the time of operation, giving as affect the consequential stops.

This plan is based on maintenance activities, frequencies and is responsible for control, with the objective of carrying out proper maintenance based on the criticality of each unit, thus having safe vehicles that lend themselves to be reliable for the institution's staff and patients. To corroborate with the process of locating critical units, was analyzed to the different units of emergency under certain parameters such as: diagrams of Pareto, which enabled us to perform an analysis of accumulated costs vs accumulated failures. The weibull distribution, which we analyze performance vs. times repair times, with which raised certain indicators of maintenance, including availability, presenting each unit of emergency.

After detecting which are units which are classified as critical failures raised solutions, in order to increase the availability and minimize repair costs. Thus undoubted and reliable emergency units at the time of carrying out their respective roles for which they were designed, maintaining security and safeguarding patients on board units.

Key words:

Criticality Analysis, reliability, Effects of fails, Centered Maintenance reliability (RCM), Maintenance Plan, failure rate, Emergency Units

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR II
CERTIFICACIÓN III
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA IV
AGRADECIMIENTO V
DEDICATORIA VI
RESUMEN VII
ABSTRACT VIII
I. CAPÍTULO 10
1 INTRODUCCIÓN: 10
1.1 Introducción. 10
1.2 Problema de investigación 11
1.2.1 Planteamiento del problema 11
1.2.2 Formulación del problema 11
1.2.3 Sistematización del problema 12
1.2.4 Justificación de la investigación 12
1.3 Objetivos 13
1.3.1 Objetivo General 13
1.3.2 Objetivos Específicos. 13
1.4 Hipótesis 13
1.5 Delimitación 13
II. CAPÍTULO 15
2 MARCO DE REFERENCIA 15
2.1 Historia del RCM – Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad 15
2.2 Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM) 17
2.2.1 La aplicación de un plan de mantenimiento centrado en la fiabilidad pretende los siguientes aspectos: 18
2.3 Metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad 18
2.3.1 Funciones y estándares de uso 20
2.3.2 Fallos funcionales (FF) 20
2.3.3 Modos de fallo funcional (MF) 21
2.3.4 Causas del Fallo 21

2.3.5 Efectos del fallo (EF) 21
2.3.6 Consecuencias del fallo (CF) 22
2.4 Indicadores de mantenimiento 23
2.4.1 MTBF (Tiempo medio entre fallos) 24
2.4.2 MTTR (Tiempo medio de reparación) 24
2.4.3 Disponibilidad 25
2.4.4 Tasa de fallos 25
2.5 Criticidad de los Modos de Fallo (CR) 25
2.6 Selección del plan 27
2.6.1 Tareas proactivas. 27
2.6.2 Proceso de selección de tareas 27
2.6.3 Planificación del proceso RCM 28
2.6.4 Beneficios del análisis RCM 29
III. CAPÍTULO 30
3 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM 30
3.1 Descripción de la Institución de Bomberos Cuenca 30
3.1.1 Estaciones del Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cuenca 30
3.2 Flota de vehículos de Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cuenca 31
A. Vehículos de servicio 31
B. Vehículos de emergencia 31
3.3 Clasificación de los vehículos de emergencia según su función 35
3.4 Selección del caso de estudio 37
3.5 Numero de fallos y costos de los vehículos de emergencia 37
3.6 Descripción del departamento automotriz 39
IV. CAPÍTULO 42
4 DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO APLICANDO RCM PARA LOS VEHÍCULOS DE EMERGENCIA 42
4.1 Diagramas de Pareto 42
4.1.1 Diagramas de Pareto de las Ambulancias 42
4.1.2 Diagramas de Pareto de los vehículos de primera respuesta 44
4.1.3 Diagramas de Pareto de los Vehículos de Abastecimiento 45
4.1.4 Diagramas de Pareto de los Vehículos de Rescate 46

4.2 Distribución de Weibull 48
4.2.1 Distribución de una falla 48
4.2.2 Indicadores de mantenimiento 49
4.2.3 Graficas de la distribución de Weibull de los Vehículos de Emergencia, y sus respectivos indicadores de Mantenimiento 50
4.3 Análisis de los indicadores de mantenimiento 54
4.4 Análisis de criticidad de los Vehículos 55
4.5 Matriz de criticidad de las unidades de emergencia 58
4.5.1 Calculo de la criticidad de U-3 - Vehículo de emergencia 59
4.5.2 Calculo de la criticidad de A-22 - Vehículo de emergencia 60
4.5.3 Calculo de la criticidad de R-33 - Vehículo de emergencia 60
4.6 Análisis de Modos de Fallo y Efectos (AMFE) 61
4.6.1 Funciones de los vehículos de emergencia 62
4.6.2 Fallos funcionales de los vehículos de emergencia 63
4.6.3 Modos de Fallo de los vehículos de emergencia 66
CONCLUSIONES 88
RECOMENDACIONES: 90
BIBLIOGRAFÍA 91
ANEXO A 93
ANEXO B 94
ANEXO C 121
1. Criticidad de A-34 - Vehículo de emergencia 121
2. Criticidad de U-2 - Vehículo de emergencia 121
3. Criticidad de U-6 - Vehículo de emergencia 121
4. Criticidad de T-22 - Vehículo de emergencia 122
5. Criticidad de A-25 - Vehículo de emergencia 122
6. Criticidad de U-4- Vehículo de emergencia 122
7. Criticidad de T-34 - Vehículo de emergencia 123
8. Criticidad de U-1 - Vehículo de emergencia 123
9. Criticidad de M-6 - Vehículo de emergencia 123
10. Criticidad de T-11 - Vehículo de emergencia 124
11. Criticidad de T-33 - Vehículo de emergencia 124
12. Criticidad de T-36 - Vehículo de emergencia 124
13. Criticidad de M-8 - Vehículo de emergencia 125

14. Criticidad de M-5 - Vehículo de emergencia 125
15. Criticidad de U-7 - Vehículo de emergencia 125
16. Criticidad de U-5 - Vehículo de emergencia 126
17. Criticidad de A-11 - Vehículo de emergencia 126
18. Criticidad de M-11 - Vehículo de emergencia 126
19. Calculo de la criticidad de M-34 - Vehículo de emergencia 127
20. Calculo de la criticidad de T-35 - Vehículo de emergencia 127
21. Calculo de la criticidad de TG-31 - Vehículo de emergencia 127
22. Criticidad de TG-32 - Vehículo de emergencia 128
23. Criticidad de R-4 - Vehículo de emergencia 128
24. Criticidad de R-5 - Vehículo de emergencia 128
25. Criticidad de M-7 - Vehículo de emergencia 129
26. Criticidad de T-13 - Vehículo de emergencia 129

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1: Las siete preguntas básicas del RCM Fuente: (RCM, 1999) 18
Tabla 2.2: Hoja de Información RCM 19
Tabla 2.3: Consecuencias del modo de fallo 23
Tabla 2.4: Indicadores de mantenimiento 24
Tabla 2.5: Tabla de detectabilidad 26
Tabla 3.1: Estaciones del Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cuenca 30
Tabla 3.2: Vehículos de emergencia del Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cuenca 32
Tabla 3.3: Ambulancias del Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cuenca 35
Tabla 3.4: Vehículos de Abastecimiento del Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cuenca 36
Tabla 3.5: Tanqueros del Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cuenca 36
Tabla 3.6: Vehículos de Rescate del Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cuenca 36
Tabla 3.7: Numero de fallos en los vehículos de emergencia 38
Tabla 4.1: Tabla de costos acumulados y fallos acumulados de las Ambulancias 42
Tabla 4.2: Tabla de costos acumulados y fallos acumulados de los vehículos de primera respuesta. 44

Tabla 4.3: Tabla de costos acumulados y fallos acumulados de los vehículos de Abastecimiento. 45
Tabla 4.4: Tabla de costos acumulados y fallos acumulados de los Vehículos de Rescate. 46
Tabla 4.5: Parámetros que definen la distribución de weibull de A-11 51
Tabla 4.6: Indicadores de mantenimiento del A-11 52
Tabla 4.7: Parámetros que definen la distribución de Weibull del A-34 53
Tabla 4.8: Indicadores de mantenimiento del A-34 54
Tabla 4.9: Resultados de las unidades de emergencia con los valores de disponibilidad catalogados como bajos..... 54
Tabla 4.10: Criterios para cuantificar el análisis de criticidad de los vehículos 56
Tabla 4.11: Análisis de criticidad de los vehículos Elaborado por: (Autor, 2017) 57
Tabla 4.12: Resultado de criticidad de las unidades de emergencia 61
Tabla 4.13: Funciones de las Ambulancias 62
Tabla 4.14: Funciones de los vehículos Tanqueros 63
Tabla 4.15: Funciones de los vehículos de Abastecimiento 63
Tabla 4.16: Funciones de los vehículos de Rescate 63
Tabla 4.17: Funciones y Fallos Funcionales de las ambulancias 64
Tabla 4.18: Funciones y Fallos Funcionales de los vehículos Tanqueros 64
Tabla 4.19: Funciones y Fallos Funcionales de los vehículos de Abastecimiento 65
Tabla 4.20: Funciones y Fallos Funcionales de los vehículos de Rescate 66
Tabla 4.21: Modos de Fallo de las Ambulancias 67
Tabla 4.22: Modos de Fallo de los vehículos Tanqueros 68
Tabla 4.23: Modos de Fallo de los vehículos de Abastecimiento 69
Tabla 4.24: Modos de Fallo de los vehículos de Rescate 70
Tabla 4.25: Análisis de Modos de Fallo y Efectos (AMFE) de las Ambulancias. 72
Tabla 4.26: Análisis de Modos de Fallo y Efectos (AMFE) de los Tanqueros. 75
Tabla 4.27: Análisis de Modos de Fallo y Efectos (AMFE) de los Vehículos de Abastecimiento. 79
Tabla 4.28: Análisis de Modos de Fallo y Efectos (AMFE) de los Vehículos de Rescate. 84

Tablas del Anexo A

Anexo A. 1: Diagrama de Weibull 93

Tablas del Anexo B

Anexo B. 1: Parámetros de la distribución de Weibull de A-22 94
Anexo B. 2: Parámetros de la distribución de Weibull del A-25 95
Anexo B. 3: Parámetros de la distribución de Weibull de U-1 96
Anexo B. 4: Parámetros de la distribución de Weibull de U-2 97
Anexo B. 5: Parámetros de la distribución de Weibull U-3 98
Anexo B. 6: Parámetros de la distribución de Weibull de U-4 99
Anexo B. 7: Parámetros de la distribución de Weibull de U-5 100
Anexo B. 8: Parámetros de la distribución de Weibull de U-6 101
Anexo B. 9: Parámetros de la distribución de Weibull de U-7 102
Anexo B. 10: Parámetros de la distribución de Weibull de M-5 103
Anexo B. 11: Parámetros de la distribución de Weibull de M-6 104
Anexo B. 12: Parámetros de la distribución de Weibull de T-11 105
Anexo B. 13: Parámetros de la distribución de Weibull de T-22 106
Anexo B. 14: Parámetros de la distribución de Weibull de T-33 107
Anexo B. 15: Parámetros de la distribución de Weibull de T-34 108
Anexo B. 16: Parámetros de la distribución de Weibull de T-35 109
Anexo B. 17: Parámetros de la distribución de Weibull de T-36 110
Anexo B. 18: Parámetros de la distribución de Weibull de M-7 111
Anexo B. 19: Parámetros de la distribución de Weibull de M-8 112
Anexo B. 20: Parámetros de la distribución de Weibull de M-11 113
Anexo B. 21 Parámetros de la distribución de Weibull de M-34 114
Anexo B. 22: Parámetros de la distribución de Weibull de R-4 115
Anexo B. 23: Parámetros de la distribución de Weibull de R-5 116
Anexo B. 24: Parámetros de la distribución de Weibull de T-6 117
Anexo B. 25: Parámetros de la distribución de Weibull de TG-13 118
Anexo B. 26: Parámetros de la distribución de Weibull de TG-31 119
Anexo B. 27: Parámetros de la distribución de Weibull de TG-32 120

Tablas del Anexo C

Anexo C. 1: Matriz de criticidad de A-34, Criticidad alta color rojo 121
Anexo C. 2: Matriz de criticidad de U-2, Criticidad alta color rojo 121
Anexo C. 3: Matriz de criticidad de U-6, Criticidad alta color rojo 121
Anexo C. 4: Matriz de criticidad de T-22, Criticidad media color amarillo.....122
Anexo C. 5: Matriz de criticidad de A-25, Criticidad media color amarillo 122
Anexo C. 6: Matriz de criticidad de U-4, Criticidad media color amarillo 122
Anexo C. 7: Matriz de criticidad de T-34, Criticidad media color amarillo.....123
Anexo C. 8: Matriz de criticidad de U-1, Criticidad media color amarillo 123
Anexo C. 9: Matriz de criticidad de M-6, Criticidad media color amarillo.....123
Anexo C. 10: Matriz de criticidad de T-11, Criticidad media color amarillo.....124
Anexo C. 11: Matriz de criticidad de T-33, Criticidad media color amarillo.....124
Anexo C. 12: Matriz de criticidad de T-36, Criticidad media color amarillo.....124
Anexo C. 13: Matriz de criticidad de M-8, Criticidad baja color verde 125
Anexo C. 14: Matriz de criticidad de M-5, Criticidad media color amarillo.....125
Anexo C. 15: Matriz de criticidad de U-7, Criticidad media color amarillo 125
Anexo C. 16: Matriz de criticidad de U-5, Criticidad baja color verde.....126
Anexo C. 17: Matriz de criticidad de A-11, Criticidad baja color verde.....126
Anexo C. 18: Matriz de criticidad de M-11, Criticidad baja color verde 126
Anexo C. 19: Matriz de criticidad de M-34, Criticidad baja color verde 127
Anexo C. 20: Matriz de criticidad de T-35, Criticidad baja color verde 127
Anexo C. 21: Matriz de criticidad de TG-31, Criticidad baja color verde.....127
Anexo C. 22: Matriz de criticidad de TG-32, Criticidad baja color verde.....128
Anexo C. 23: Matriz de criticidad de R-4, Criticidad baja color verde 128
Anexo C. 24: Matriz de criticidad de R-5, Criticidad baja color verde 128
Anexo C. 25: Matriz de criticidad de M-7, Criticidad baja color verde 129
Anexo C. 26: Matriz de criticidad de TG-13, Criticidad baja color verde.....129

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Cambios en las expectativas del mantenimiento 16
Figura 2.2: Cambios en las técnicas de mantenimiento 16
Figura 3.1: Número de fallos de los vehículos de emergencia. 39

Figura 3.2: Organigrama del trabajo 39
Figura 3.3: Informe de los Mantenimientos.....41
Figura 4.1: Grafica de Pareto de las Ambulancias.....43
Figura 4.2: Grafica de Pareto de los vehículos de primera respuesta 44
Figura 4.3: Grafica de Pareto de los vehículos de abastecimiento.....46
Figura 4.4: Grafica de Pareto de los vehículos de rescate.....47
Figura 4.5: Distribución de weibull del A-11 con β=1,4056, falla por desgaste 52
Figura 4.6: Matriz de Criticidad.....58
Figura 4.7: Valoración de la matriz de criticidad.....59
Figura 4.8: Matriz de criticidad de U-3, Criticidad alta color rojo 59
Figura 4.9: Matriz de criticidad de A-22, Criticidad media color amarillo 60
Figura 4.10: Matriz de criticidad de R-33, Criticidad baja color verde 60

Figuras del Anexo B

Figura B. 1: Distribución de weibull del A-22 con β=2.3227, falla por desgaste.....94
Figura B. 2: Distribución de weibull del A-25 con β= 0.8134, Mortalidad infantil .95
Figura B. 3: Distribución de weibull de U-1 con β= 1.3336, Falla por Desgaste.....96
Figura B. 4: Distribución de weibull de U-2 con β= 0.4853, Mortalidad Infantil 97
Figura B. 5: Distribución de weibull de U-3 con β= 0.9390, Mortalidad Infantil 98
Figura B. 6: Distribución de weibull de U-4 con β= 1.053, Falla por Desgaste.....99
Figura B. 7: Distribución de weibull de U-5 con β= 1.7008, Falla por Desgaste....100
Figura B. 8: Distribución de weibull de U-6 con β= 1.8012, Falla por Desgaste....101
Figura B. 9: Distribución de weibull de U-7 con β= 0,4803, Mortalidad Infantil ...102
Figura B. 10: Distribución de weibull de U-4 con β= 0,905, Mortalidad Infantil ...103
Figura B. 11: Distribución de weibull de M-6 con β= 1,352, Falla por Desgaste ...104
Figura B. 12: Distribución de weibull de T-11 con β= 1.082, Falla por Desgaste ..105
Figura B. 13: Distribución de weibull de T-22 con β= 1,118, Falla por Desgaste ..106
Figura B. 14: Distribución de weibull de T-33 con β= 0,8408, Mortalidad Infantil107
Figura B. 15: Distribución de weibull de T-34 con β= 1.1807, Falla por Desgaste 108
Figura B. 16: Distribución de weibull de T-35 con β= 0,935, Mortalidad Infantil..109
Figura B. 17: Distribución de weibull de T-36 con β= 1,4309, Falla por Desgaste 110
Figura B. 18: Distribución de weibull de M-7 con β= 56,17, Falla por Desgaste ...111

Figura B. 19: Distribución de weibull de M-8 con β= 3,693, Falla por Desgaste ...112
Figura B. 20: Distribución de weibull de M-11 con β= 3,172, Falla por Desgaste .113
Figura B. 21: Distribución de weibull de M-34 con β= 6,57, Falla por Desgaste .114
Figura B. 22: Distribución de weibull de R-4 con β= 7,03, Falla por Desgaste 115
Figura B. 23: Distribución de weibull de R-5 con β= 27,618, Falla por Desgaste ..116
Figura B. 24: Distribución de weibull de T-6 con β=9,942, Falla por Desgaste 117
Figura B. 25: Distribución de weibull de TG-13 con β= 8,587, Falla por Desgaste118
Figura B. 26: Distribución de weibull de TG-31 con β= 12,325 Falla por Desgaste 119
Figura B. 27: Distribución de weibull de TG-32 con β= 4,89, Falla por Desgaste .120

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1.....24
Ecuación 2.....24
Ecuación 3.....25
Ecuación 4.....25
Ecuación 5.....25
Ecuación 6.....26
Ecuación 7.....48

I. CAPÍTULO

1 INTRODUCCIÓN:

1.1 Introducción.

El Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cuenca "BCBVC" se fundó en octubre de 1945 (Bomberos, 2016), es una Institución con el objetivo de socorrer diferentes tipos de emergencias. Debido al crecimiento de la población y de forma especial la creación y el mejoramiento del sector industrial en la ciudad, se vio la necesidad que el Cuerpo de Bomberos no dedique su actividad exclusivamente a combatir incendios, y preste sus servicios en otras áreas como son: el manejo de emergencias médicas, manejo y control de emergencias con productos químicos peligrosos, rescate en estructuras colapsadas varias circunstancias que ameriten la presencia del cuerpo de bomberos, Quienes son un respondiente inmediato al llamado de emergencia. Para cubrir toda la demanda de emergencias la institución posee una variedad de vehículos de diferentes características, los mismos que son destinados de acuerdo a las necesidades y la naturaleza de la emergencia.

De esta manera la institución posee: vehículos de primera respuesta, los cuales se utilizan en incendios ya sean estructurales o forestales; vehículos de Abastecimiento, los cuales suministran agua; Ambulancias, utilizadas en el rescate y traslado de pacientes; vehículos de rescate, utilizados para transportar las herramientas necesarias para actuar en cualquier emergencia; vehículos polivalentes, que son multiuso empleados en caso de catástrofes, etc.

Las funciones que realiza cada vehículo son diferentes, y es necesario que su funcionamiento sea óptimo y mantenga los índices de fiabilidad altos, permitiendo una rápida y segura intervención para quienes van dentro del vehículo al llamado de emergencia, dando lugar a la necesidad de un plan que garantice el control y mantenimiento adecuado para garantizar el buen funcionamiento ante cualquier adversidad cuando la emergencia lo requiera.

Estos motivos conllevan a nuevas filosofías de pensamiento y actuación, en busca de un nuevo concepto de mantenimiento que evite daños inesperados en las unidades

provocando interrupciones no planificadas en los procesos de operación de la institución.

1.2 Problema de investigación

1.2.1 Planteamiento del problema

El Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cuenca es una institución creada con el objetivo de socorrer los diferentes tipos de emergencias que amerite la ciudadanía Cuencana. La institución posee una variedad de vehículos cuya gestión de mantenimiento se basa en un sistema asistido por computador muy básico sin un control de gestión de mantenimiento adecuado, en el cual se registra un historial de actividades de mantenimiento de diversos vehículos de emergencia.

De esta manera la institución posee vehículos con diferentes funciones cada uno de ellos, motivo por el cual, estos vehículos deben garantizar altos índices de fiabilidad, considerando que los registros de mantenimiento (Registro de documentos internos) muestran la ocurrencia de fallas durante la intervención de los vehículos en actividades de emergencia.

Los responsables del mantenimiento toman decisiones en función de la operatividad de los vehículos; y, al tener varias fallas mecánicas en periodos cortos de operación de un vehículo se ven obligados a detener el funcionamiento de la unidad, como consecuencia de esto la estación de bomberos pasa de operativa a no operativa.

El vehículo luego del recurso humano es la herramienta principal en una estación de Bomberos, al momento en que no está operativa por falta de un vehículo en óptimas condiciones conlleva a diversos problemas sociales, que en casos extremos pueden terminar con la vida de personas; por cuanto el objetivo del BCBVC pierde su esencia.

1.2.2 Formulación del problema

La implementación de un plan de mantenimiento, aplicando la Metodología de Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM), para los vehículos de emergencia del Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cuenca, permitirá reducir el número de paradas imprevistas y conjuntamente disminuirá el costo de mantenimiento en las unidades de emergencia.

1.2.3 Sistematización del problema

Los problemas secundarios derivados del problema principal, están planteados en las siguientes aseveraciones:

El personal de mantenimiento de los vehículos de emergencia analiza y evalúa las fallas que presentan las unidades, empleando una metodología que permite determinar las fallas funcionales de las unidades de emergencia.

Posteriormente estas fallas serán analizadas para determinar fallas comunes, con ello el siguiente proceso es diagnosticar el origen de las fallas, proceso que ayuda a determinar el mantenimiento respectivo para cada unidad de emergencia, permitiendo disminuir el número de paradas inesperadas y a la vez el costo de mantenimiento.

1.2.4 Justificación de la investigación

El desarrollo del proyecto RCM, está destinado a los vehículos de emergencia del Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cuenca. Esta Institución es de suma importancia para la ciudadanía cuencana por su variedad de funciones:

- Extinción de Incendios tanto estructurales como forestales
- Ayudar en desastres naturales
- Rescate en estructuras colapsadas
- Recate en Accidentes de transito
- Atención Prehospitalaria

Para cumplir con todas las funciones que desempeña la institución es necesario que los vehículos de emergencia se encuentren en óptimas condiciones basándose en un plan de mantenimiento preventivo.

Actualmente se evidencian varias falencias en los vehículos de emergencia teniendo como causas principales la deficiencia de las actividades de mantenimiento preventivo. Por lo cual resulta emergente desarrollar un plan adecuado de mantenimiento a través de la metodología denominada “Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM)”, que minimice las fallas y sus efectos, con el fin de mejorar los índices de fiabilidad y disponibilidad.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

1. Desarrollar un plan de mantenimiento aplicando la Metodología de Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM) para los vehículos de emergencia del Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cuenca.

1.3.2 Objetivos Específicos.

1. Determinar la cantidad de fallos que presentan las unidades de emergencia ocurridos durante el periodo 2015 y 2016.
2. Obtener la información necesaria de los vehículos para la elaboración de hojas de decisión del RCM, como base para definir el plan de mantenimiento.
3. Realizar un análisis de criticidad para lograr identificar los fallos que presentan los vehículos de emergencia.
4. Obtener los criterios necesarios de la norma SAE-JA-1011 (RCM, 1999), para aplicar la metodología del RCM.
5. Desarrollar la metodología de instauración del plan de Mantenimiento Basado en la Fiabilidad.

1.4 Hipótesis

El desarrollo de un plan de mantenimiento aplicando la metodología RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), para las unidades de emergencia del Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cuenca, permitirá reducir los potenciales fallos críticos que presentan las unidades de emergencia durante el desarrollo de sus respectivas funciones.

Variable N. 1: Desarrollando la metodología RCM

Variable N. 2: Análisis de los modos Fallos

1.5 Delimitación

La investigación para el desarrollo del proyecto técnico se realiza en el área de mantenimiento de los vehículos de emergencia del Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cuenca, institución que se dedica a socorrer emergencias que

acontezcan en la ciudad de Cuenca, el proyecto técnico está enfocado hacia los vehículos de emergencia que realizan su mantenimiento dentro de la institución, estas unidades de emergencia cuentan con registros de mantenimiento, las mismas que se han utilizado para el análisis de criticidad de cada vehículo dependiendo de la función que desempeñan dentro de la institución, para los cuales se realizó un análisis de criticidad para luego aplicar la metodología RCM (Mantenimiento Basado en Fiabilidad) para la determinación del plan de mantenimiento. "Implementación de la metodología RCM para los vehículos de emergencia del Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cuenca".

II. CAPÍTULO

2 MARCO DE REFERENCIA

2.1 Historia del RCM – Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad

En los últimos años han existido importantes cambios en la gestión del mantenimiento, donde se han trazado nuevas filosofías de pensamiento y actuación en busca de un nuevo concepto de mantenimiento que evite las paradas no planeadas en los procesos de operación de la institución.

Antes de explicar que es el mantenimiento centrado en la fiabilidad, más conocido como RCM (del inglés Reliability Centered Maintenance), es necesario explicar brevemente cómo ha evolucionado el mantenimiento en este siglo. La evolución del mantenimiento puede dividirse en tres periodos diferentes:

Primera generación

Este periodo cubre desde 1930 hasta la segunda guerra mundial en el que la industria no estaba excesivamente mecanizada, por lo que los tiempos de parada no eran demasiado importantes. La prevención de los fallos de los equipos no era una función prioritaria, además estos eran sencillos y estaban sobre diseñados por lo que eran bastante fiables y fáciles de reparar. Por lo tanto, las únicas operaciones de mantenimiento sistemático eran la limpieza y la lubricación.

Segunda generación

Durante este periodo hay una mayor mecanización debido principalmente a la menor mano de obra disponible y a la necesidad de fabricar rápidamente y de forma fiable para abastecer a los mercados. Existe en este momento una mayor dependencia de las maquinas por lo que sus posibles fallos deben de ser prevenidos, con lo que surge el denominado mantenimiento preventivo. Este consistía principalmente en revisiones de los equipos a intervalos de tiempo fijos.

El costo debido al mantenimiento aumenta de forma considerable y aparece la planificación y el control de las tareas del mismo.

Tercera generación

Este periodo empieza a mediados de los años 70 (Macian, 1999), cuando hay enormes cambios en la industria ya que se crean nuevas expectativas, investigaciones y técnicas. La Figura 2.1 muestra los cambios en las expectativas de mantenimiento con respecto a los años.

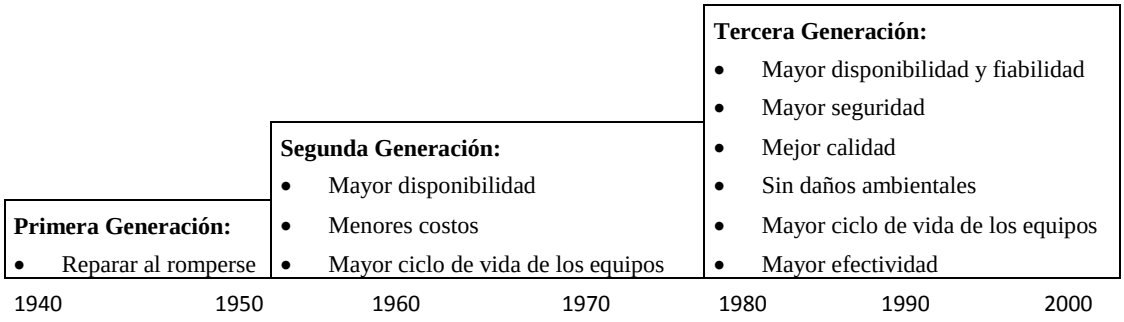


Figura 2.1: Cambios en las expectativas del mantenimiento

Fuente: (Macian, 1999)

La enorme automatización, que hoy en día se tiene en las empresas, significa que un mayor número de fallos son susceptibles de afectar a la capacidad de mantener satisfactoriamente los estándares de calidad, tanto de servicio como de producto. El mantenimiento en los últimos 30 años, ha pasado de apenas tener un control de su costo a ser el elemento prioritario de dicho control, además de nuevas expectativas la realización de nuevos estudios ha cambiado la concepción que se tenía sobre vejez y fallo. En los últimos 20 años ha habido un incremento dramático en el desarrollo de nuevas técnicas de mantenimiento. En la Figura 2.2 se muestran los cambios en dichas técnicas.

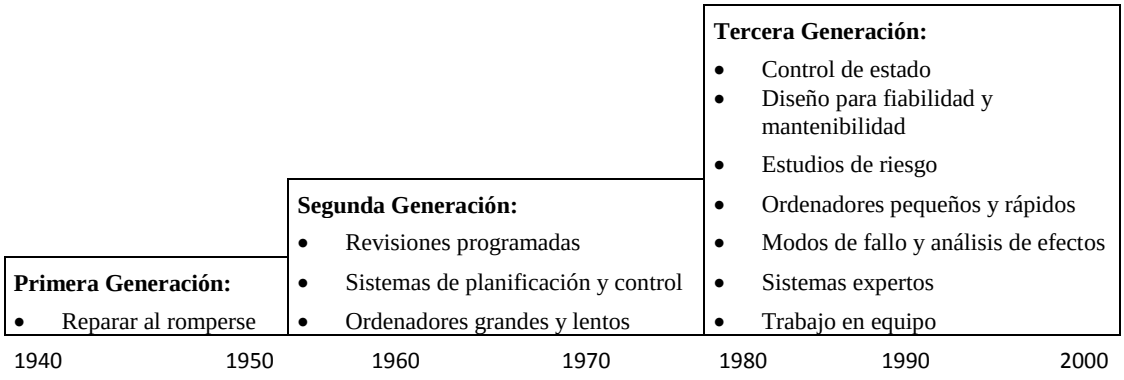


Figura 2.2: Cambios en las técnicas de mantenimiento

Fuente: (Macian, 1999)

Las nuevas técnicas incluyen:

- Herramientas de ayuda en la toma de decisiones
- Nuevas técnicas de mantenimiento
- Diseño de equipos
- Cambios en la forma de pensar

2.2 Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM)

Según la norma SAE JA 1011 (RCM, 1999), el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, (MCC) o RCM (Reliability Centred Maintenance); fue desarrollado con el objetivo de mejorar la seguridad y la confiabilidad de los equipos de la industria de la aviación.

Fue documentado por primera vez en 1978, escrito por F.S. Nowlan y H.F. Heap y publicado por el Departamento de Defensa de U.S. en 1978. A lo largo de los años, ha sido empleado en diferentes áreas de trabajo con el propósito de formular estrategias de mantenimiento de activos físicos, en casi todos los países industrializados. (SAE, 2002).

En la actualidad, existen normas como la SAE JA 1011 y SAE JA 1012 en las que se describen los criterios mínimos que debe cumplir un proceso para que sea considerado como RCM. Aunque la misma norma SAE JA 1011, indica que no intenta definir un proceso específico; la norma SAE JA 1012, es una Guía que amplifica, y donde se realizan aclaraciones a conceptos y términos clave, especialmente las que son exclusivas de RCM.

Por lo tanto, el RCM se define como el proceso usado para determinar los requerimientos de mantenimiento de cualquier sistema dentro de su contexto de operación. Es un método paso a paso, que facilita determinar lo que se debe hacer para asegurar que un activo físico continúe haciendo lo que los usuarios quieren que haga en su contexto operativo. (Macian, 1999)

El objetivo básico de un análisis RCM es establecer un programa de mantenimiento preventivo técnicamente eficaz y económicamente eficiente. (Maintenance, 2013)

2.2.1 La aplicación de un plan de mantenimiento centrado en la fiabilidad pretende los siguientes aspectos:

- Conocer los posibles fallos o averías definidos como el no cumplimiento de unas ciertas funciones con unos parámetros determinados.
- Conocer las causas que los originan.
- Conocer las consecuencias que generan al producirse mediante la evaluación del impacto sobre la organización: personas, medio ambiente y operación (costes económicos y calidad).
- Conocer los métodos para detectarlos anticipadamente con el fin de evitarlos.
- Estimar cualitativamente la importancia del fallo, mediante la criticidad y la probabilidad de ocurrencia. (Maintenance, 2013)

2.3 Metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

Todo procedimiento para el desarrollo de la metodología RCM, debe responder a las siete preguntas que ha definido RCM en la norma SAE JA1011, la misma que especifica los requerimientos que debe cumplir un proceso para poder ser denominado un proceso RCM.

Según la norma SAE: JA1011, es obligatorio seguir el orden que plantea la Tabla 2.1 en la cual se indican las preguntas y el orden en el que se debe ejecutar.

Tabla 2.1: Las siete preguntas básicas del RCM **Fuente:** (RCM, 1999)

Número	Descripción de la pregunta
1	¿Cuáles son las funciones y respectivos estándares de desempeño de este bien en su contexto operativo presente?
2	¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?
3	¿Que ocasiona cada falla funcional?
4	¿Qué sucede cuando se produce cada falla en particular?
5	¿De qué modo afecta cada falla?
6	¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
7	¿Qué debe hacerse si no se encuentra el plan de acción apropiado?

Para la recolección de información, la metodología RCM en la norma internacional ISO 14224 (ISO, 2006), ha desarrollado una hoja informativa para reconocer y evaluar los modos de fallas las mismas que ayudan a determinar los efectos de las fallas potenciales.

En la Tabla 2.2 se presenta la estructura que se utilizó para cuantificar riesgos y confiabilidad, analizar la confiabilidad de las unidades de emergencia y a su vez documentar el proceso.

Tabla 2.2: Hoja de Información RCM

Hoja de información RCM	**Autor:**			**Área:**			**Numero:**	
	Fecha:			**Facilitador**				
	Vehículo:							
FUNCIONES	**FALLOS FUNCIONALES**	**CIRCUNSTANCIA**	**CAUSAS**	**S**	**O**	**D**	**CR**	**ACCIONES PROPUESTAS**
1	A	1	1					
			2					
			3					
			4					
			5					
	B	1	1					
			2					
		2	1					
			2					
			3					
		3	1					
			2					
			3					
		4	1					
			2					
			3					
	C	1	1					
			2					
			3					
		2	1					
			2					

Fuente: (PARRA, 2016), **Elaborado por:** (Autor, 2017)

La hoja de información permite, establecer un código para la función y lo que de ello se deriva, por ejemplo: el código 1A1, se refiere a la función número 1; A, se refiere al fallo funcional A de la función 1 y el tercer dígito, se refiere al modo de fallo o circunstancia 1 del fallo funcional A. (PARRA, 2016)

2.3.1 Funciones y estándares de uso

Para que sea posible aplicar un proceso que determine las operaciones que se deben realizar, se debe llevar a cabo las siguientes operaciones:

1. Determinar que se desea que realice el equipo
2. Asegurarse que el equipo sea capaz de realizarlo

Por este motivo el primer paso es definir las funciones de cada equipo o sistema en su contexto operacional junto a los estándares de uso deseados. Se pueden distinguir cuatro funciones básicas que son:

1. **Primarias:** Son aquellas funciones para los que está diseñado el sistema.
2. **Secundarias:** La mayoría de los sistemas tienen otras funciones menos visibles que las anteriores, pero que también deberán ser tomadas en cuenta.
3. **De protección:** Para eliminar o reducir las consecuencias de un fallo, se hace necesario aumentar los mecanismos de protección, que trabajan de cinco formas diferentes:
    - Llamado de atención de los operadores (luces, alarmas, sensores de nivel, etc.)
    - Detención de la maquina
    - Eliminando o aligerando condiciones anormales que preceden a un fallo que puede causar consecuencias graves (equipo médico de emergencia, válvulas de seguridad, equipos contra incendios, etc.)
    - Asumir una función que ha fallado.
    - Para prevenir situaciones peligrosas con guardias.
4. **Superfluas:** Hay componentes totalmente superfluos. Esto generalmente ocurre cuando ha habido modificaciones en los sistemas o cuando el sistema ha sido sobre diseñado. (Macian, 1999)

2.3.2 Fallos funcionales (FF)

La única causa para que un equipo no realice su función es la aparición de algún tipo de fallo. Es en este punto donde aparece el mantenimiento, ya que su función es determinar un plan adecuado para evitar la aparición de dichos fallos, o al menos reducir sus efectos. Sin embargo, antes de poder aplicar un plan de mantenimiento

adecuado, se debe identificar qué tipos de fallos pueden aparecer. El RCM realiza esta labor de dos niveles:

- Identificando que circunstancias conducen a un estado de fallo
- Diferenciando hechos que pueden causar que se llegue a un estado de fallo

En RCM "estado de fallo" tiene el mismo significado que "fallo funcional", definiciones que incluyen tanto los fallos que producen una total incapacidad de realizar la función prevista, como aquellos que permiten la realización de dicha función, pero a niveles de uso inaceptables.

Hay que tener en cuenta que cada sistema/equipo tiene varias funciones encomendadas, por lo que el fallo del sistema puede venir por no realizar cualquiera de estas funciones. Así, lo que el RCM determina son los posibles fallos funcionales de cada una de las funciones del sistema y no del sistema en sí. (Macian, 1999)

2.3.3 Modos de fallo funcional (MF)

Una vez identificados los fallos funcionales, el siguiente paso es identificar bajo qué circunstancias pueden ocurrir dichos fallos funcionales. Por tanto, el modo de fallo es el fallo funcional más la circunstancia bajo la que ha ocurrido (las circunstancias conviene expresarlas en gerundio). (Macian, 1999)

2.3.4 Causas del Fallo

Se define la causa del modo de fallo como los hechos que pueden haber ocasionado cada estado de fallo. Es muy importante identificar las causas de fallo con suficiente detalle para asegurar que no se ha malgastado tiempo y esfuerzo tratando síntomas en vez de causas, pero tampoco hay que malgastar demasiado tiempo realizando el estudio con demasiado detalle. (Macian, 1999)

2.3.5 Efectos del fallo (EF)

El siguiente paso a realizar es la confección de una lista de los efectos de cada modo de fallo, es decir, una descripción de lo que sucede cuando ocurre cada uno de los modos de fallo. Estos efectos se pueden dividir en 5 familias, que son:

- Evidencias (si las hay) de que el fallo ha ocurrido
- Efectos (si los hay) sobre seguridad y medio ambiente

- Efectos (si los hay) sobre operaciones o producción
- Posibles daños físicos
- Medidas para reparar el fallo (Macian, 1999)

2.3.6 Consecuencias del fallo (CF)

Como se observará, existen una gran cantidad de modos de fallo, pero cada uno de estos afecta a la institución de una u otra forma. Las consecuencias de los modos de fallo son las que determinan el tipo de mantenimiento a efectuar. Así; si un fallo en un sistema tiene consecuencias serias como pueden ser paradas de producción o inseguridad, deberá planificarse un mantenimiento adecuado. Por el contrario, si un fallo no provoca efectos importantes o si estos son pequeños, se podrá decidir realizar únicamente labores de limpieza y lubricación.

Por lo tanto, el RCM no busca simplemente la prevención de los fallos, sino que intenta evitar o reducir las consecuencias de los mismos. Para ello, clasifica estas consecuencias en cinco grupos:

- Consecuencias de fallo ocultas
- Consecuencias de fallo evidentes
- Consecuencias sobre seguridad y medio ambiente
- Consecuencias operacionales
- Consecuencias no operacionales

El RCM utiliza las categorías anteriores como base de la estrategia del mantenimiento, teniendo en cuenta las consecuencias de cada modo de fallo en dichas categorías que integran los objetivos funcionales, de seguridad y ambientales del mantenimiento. (Macian, 1999)

Para la evaluación de las consecuencias se observan las actividades que tienen mayor efecto sobre el funcionamiento, para el caso de este estudio se concentra en las diferentes formas de fallo que presentan los vehículos de emergencia que se obtienen del historial de mantenimiento de cada uno de los vehículos, gracias a este historial se permite realizar una tabla valorando las consecuencias de fallo en una escala de 1 al 10, teniendo a 10 como gravedad máxima y a 1 como gravedad mínima así como se muestra a continuación en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3: Consecuencias del modo de fallo

Consecuencias del modo de fallo	Gravedad
Incendio	10
Accidente	8
Parada del vehículo	6
Fugas	5
Pérdida de imagen	5
Inseguridad potencial	3
No importante	1

Elaborado por: (Autor, 2017)

2.4 Indicadores de mantenimiento

Permiten valorar de una manera cuantitativa y objetiva la gestión que realiza el mantenimiento desde diferentes aspectos que son:

- Disponibilidad
- Fiabilidad
- La vida útil de la instalación
- El costo

Es necesario calcular para poder determinar o evaluar si la gestión del mantenimiento es correcta o a su vez puede ser mejorada, los indicadores de mantenimiento sirven principalmente para tres aspectos diferentes que son:

- Conocer la situación de un determinado plan de mantenimiento
- Elaborar informes para tomar decisiones
- Elaborar auditorias cuantitativas

La norma UNE-EN 15341 define tres categorías de indicadores que son:

- Indicadores económicos
- Indicadores técnicos
- Indicadores organizacionales

Santiago García Garrido director de RENOVATEC (Garrido, 2015), expone que para realizar un análisis más completo se efectúa con seis diferentes indicadores de mantenimiento, entre todos ellos habrá que elegir aquellos que sean realmente útiles, aquellos que aporten información para evitar convertirlos en una larga lista de datos.

El indicador más importante dentro del mantenimiento es la disponibilidad partiendo de allí podemos plantear los objetivos de mantenimiento al que se desea llegar dentro de la institución de bomberos. Los demás indicadores se los pueden seleccionar según los requerimientos que tenga la institución para ello se exponen a continuación los seis indicadores de mantenimiento:

- Indicadores de disponibilidad
- Indicadores de fiabilidad
- Indicadores de gestión de órdenes de trabajo
- Indicadores de coste
- Indicadores de gestión de materiales
- Indicadores de seguridad y medio ambiente

Para el caso del estudio de la criticidad de los vehículos de emergencia se analizarán los siguientes indicadores de mantenimiento como muestra la tabla 2.4.

Tabla 2.4: Indicadores de mantenimiento

INDICADORES	DÍAS	HORAS
MTBF		
MTTR		
Disponibilidad		
Tasa de Fallo		

Elaborado por: (Autor, 2017)

2.4.1 **MTBF** (Tiempo medio entre fallos)

Nos permite conocer la frecuencia con que suceden las averías:

$$MTBF = \frac{Numero\ de\ horas\ totales\ del\ tiempo\ analizado}{Numero\ de\ averias} \qquad \textit{Ecuación 1}$$

2.4.2 MTTR (Tiempo medio de reparación)

Nos permite conocer la importancia de las averías que se producen en un equipo considerando el tiempo medio hasta su solución:

$$MTTR = \frac{Numero\ de\ horas\ de\ paro\ por\ averia}{Numero\ de\ averias} \qquad \textit{Ecuación 2}$$

2.4.3 Disponibilidad

Es sin duda el indicador más importante en mantenimiento, y por supuesto, el que más posibilidades de 'manipulación' tiene. Si se calcula correctamente, es muy sencillo: es el cociente de dividir el número de horas que un equipo ha estado disponible para producir y el número de horas totales de un periodo:

En la ecuación 3 la disponibilidad está dada considerando que 8760 es el número de horas que tiene un año, este valor puede variar por lo que también se utiliza la ecuación 4 que depende del MTTR y MTBF que son valores obtenidos en nuestro estudio del historial del mantenimiento de las unidades de emergencia.

$$Disponibilidad = \frac{8760 - horas\ de\ parada}{8760}$$ *Ecuación 3*

$$Disponibilidad = \frac{MTBF - MTTR}{MTBF}$$ *Ecuación 4*

2.4.4 Tasa de fallos

Todos los equipos en algún momento, presentan fallos; entendiéndose como fallo al cese en la capacidad de un elemento para desarrollar una función requerida. El número de fallos puede ser evaluado a través de un indicador, que se obtiene matemáticamente relacionando el número de fallos y un tiempo de operación determinado del equipo. (PARRA, 2016)

$$\gamma = \frac{Tf}{Tp}$$ *Ecuación 5*

En donde:

γ: tasa de fallos (fallos/Dias)

Tf: Número de fallos totales en el periodo de análisis

Tp: Periodo Analizado

2.5 Criticidad de los Modos de Fallo (CR)

Una vez determinadas las funciones, los fallos funcionales, las circunstancias (modos de fallo), sus causas y sus consecuencias, es posible calcular la criticidad de los modos

de fallo. La ecuación 6 es utilizada en este estudio para realizar el cálculo de criticidad de las unidades de emergencia, se obtiene a partir de la multiplicación de los tres niveles que son: nivel de severidad, nivel de incidencia y nivel de detención. Se utiliza esta ecuación porque el libro "fundamentos de ingeniería del mantenimiento" recomienda su utilización, y muestra cómo obtener cada uno de los niveles utilizados en la siguiente formula:

$$CR = S * O * D \qquad \textit{Ecuación 6}$$

- **S:** nivel de severidad (gravedad del fallo percibida por el usuario)
- **O:** nivel de incidencia (probabilidad de que ocurra el fallo)
- **D:** nivel de detección (probabilidad de que NO detectemos el error antes de que el producto se use), para el cálculo se basa en la tabla 2.5 que indica la detectabilidad. Esta tabla se construye dando valores, como es en este estudio del uno al diez teniendo a muy alta con un valor mínimo de uno y a muy baja con un valor máximo de 10.

Tabla 2.5: Tabla de detectabilidad

Detectabilidad	Valor
Muy alta	1
Alta	5
Baja	8
Muy baja	10

Fuente: (Macian, 1999)

Con este análisis de criticidad, se consigue tener un listado de los elementos con un parámetro de criticidad (CR) asociado y se podrá realizar un plan de mantenimiento personalizado a cada uno de dichos elementos. Existen dos técnicas en la gestión del plan a seleccionar, que son:

- Labores o tareas proactivas
- Acciones que tratan el modo de fallo

Siempre que sea posible, se ha de realizar una labor proactiva, que son aquellas tareas de mantenimiento realizadas antes de que el fallo ocurra. Cuando sea imposible determinar una labor proactiva eficiente, se tratará el modo de fallo entre sí.

2.6 Selección del plan

2.6.1 Tareas proactivas.

La idea primitiva de que cuanto mayor número de revisiones se realice sobre un componente, menos probabilidad existe de que este falle, ha sido abandonada ya que esta afirmación no siempre es cierta.

Actualmente, se realiza este tipo de mantenimiento en componentes cuyo fallo tenga consecuencias pequeñas (índice de criticidad bajo), pero con otro tipo de componentes es necesario realizar alguna operación que prevenga o prediga el fallo (a al menos que reduzca sus consecuencias). Este hecho lleva a las denominadas tareas proactivas, que pueden dividirse en tres categorías diferentes:

- Tareas programadas de reparación
- Tareas programadas de cambio
- Tareas programadas dependiendo del estado

Las dos primeras reparación y cambio se basan en la reparación y/o cambio del componente después de un tiempo de vida delimitado, independientemente de su estado. Estas tareas son denominadas mantenimiento preventivo.

La tercera es lo que se conoce como mantenimiento predictivo y se basa en la utilización de diversas técnicas que permiten detectar el/los posible/s fallo/s antes de que estos ocurran. El RCM permite tomar decisiones sobre qué elementos se debe realizar cada una de las tareas proactivas.

2.6.2 Proceso de selección de tareas

El RCM proporciona un proceso sencillo, preciso, fiable y potente para decidir que tareas proactivas son factibles técnicamente, cada cuanto deben realizarse y quien debe realizarlas. Las claves para una correcta selección de las diferentes tareas a realizar son:

- Para fallos ocultos
- Para fallos con consecuencias para la seguridad y el medio ambiente
- Para fallos con consecuencias operacionales

Con este mantenimiento programado se reducen las tareas proactivas a aquellos fallos que realmente los necesitan y, por tanto, se reduce la carga de trabajo rutinaria. Este

hecho provocara que las tareas se realicen de una forma más óptima. Todo esto, junto a la eliminación de tareas contraproducentes, llevara a un mantenimiento mucho más efectivo.

2.6.3 Planificación del proceso RCM

Para la aplicación del proceso RCM a una empresa se deben seguir una serie de pasos. El primero de ellos es decidir qué sistema o sistemas van a ser introducidos en el RCM. Por lo tanto, para el éxito y la correcta aplicación de la estrategia se debe realizar un plan y una preparación meticulosa. Las claves del proceso de planificación son:

- Decidir que sistemas son los que más ventajas pueden sacar del RCM y que beneficios se obtendrán.
- Estimar los recursos necesarios para aplicar el proceso al sistema o sistemas relacionados
- Cuando los beneficios justifiquen la inversión, determinar las personas que realizan y las que auditaran cada análisis, cuando y donde y darles la formación adecuada.
- Asegurarse que el contexto operacional del sistema es claramente entendido

La necesidad de contestar a las siete cuestiones básicas y la imposibilidad, en la mayoría de los casos, de que puedan ser contestadas por una sola persona, hace necesaria la creación de grupos de trabajo denominados grupos de revisión.

Estos grupos de revisión deben incluir, al menos, una persona perteneciente al área de mantenimiento y otra a producción. La típica formación de un grupo RCM se presenta en la siguiente Figura 2.3.

Figura 2.3: Típica formación de un grupo de revisión

Fuente: (Macian, 1999)

Dentro de este grupo, la persona más importante es el guía, ya que debe asegurar que:

- El análisis está siendo realizado correctamente
- El RCM es entendido y aplicado correctamente por los miembros del grupo
- El análisis progresa rápidamente y se cumplen los tiempos prefijado.

2.6.4 Beneficios del análisis RCM

Tras la aplicación de la estrategia y aprobado el estudio se debe realizar la implantación de las nuevas tareas programadas de mantenimiento, así como los posibles cambios en los procedimientos de operación y los rediseños. Tras esto, se pueden observar tres resultados tangibles, que son:

- Se ha definido un programa de mantenimiento más adecuado
- Se han revisado los procedimientos de operación
- Se han realizado un listado de áreas donde sería conveniente realizar cambios

Además de estos tres resultados, otros beneficios que se obtienen son:

- Mayor seguridad e integridad medio ambiental
- Mejora del funcionamiento operativo
- Menor costo en mantenimiento
- Mayor vida útil en equipos costosos
- Gran base de datos
- Mayor motivación del personal
- Mejora del trabajo en equipo

III. CAPÍTULO

3 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM

3.1 Descripción de la Institución de Bomberos Cuenca

La Institución Bomberos Cuenca posee nueve estaciones distribuidas en diferentes puntos estratégicos de la Ciudad, con el objetivo de atender lo más pronto posible las emergencias suscitadas, realizando sus funciones de trabajo las cuales se resumen en:

- Prevención y Extinción de Incendios
- Apoyo en desastres naturales
- Búsqueda y Rescate en estructuras colapsadas
- Asiste en Accidentes de transito
- Atención Prehospitalaria

Lo primordial de un Bombero es salvar vidas, es por ello que la institución posee dotaciones de materiales actualizados (vehículos, herramientas, bombas, mangueras, equipos, etc.) y con su potencial humano para realizar sus funciones con precisión.

3.1.1 Estaciones del Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cuenca

El Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cuenca, en la actualidad está conformada por nueve estaciones como indica la Tabla 3.1, cada una ubicada en puntos estratégicos de la ciudad con el fin de reducir el tiempo de respuesta, todas las estaciones están equipadas con sus respectivos vehículos de emergencia (Ambulancia, Vehículos de primera respuesta, Vehículos de rescate, Abastecimientos, Polaris, etc.).

Tabla 3.1: Estaciones del Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cuenca

Estación	Nombre de la estación	Ubicación
1	"Vicente Tamariz Valdivieso"	Gil Ramírez Dávalos y Av. España.
2	Inoperativa	Calle Presidente Córdova y Luis Cordero.
3	"Cornelio Tamariz"	Av. 27 de Febrero y Av. Roberto Crespo Toral

4	“CRNL. Jaime Maldonado Ambrosi”	Av. Octavio Chacón Moscoso y Calle Primera
5	“Roberto Loret”	Rafael María Arízaga y Miguel Heredia
6	“Sargento Mufith Hanna Santacruz”	Sector San Joaquín
7	“CRNL. Eduardo Suárez Quintanilla”	Parroquia de Ricaurte
8	Nueva	Sin ubicación
9	“CRNL. Efraín Vásquez Talbot”	Sector Guanguarcucho

Elaborado por: (Autor, 2017)

3.2 Flota de vehículos de Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cuenca

La flota vehicular del Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cuenca está compuesta por:

A. Vehículos de servicio

- 21 Camionetas
- 5 Camiones
- 9 Motos
- 1 Plataforma
- 1 Tractor
- 1 Mini cargadora
- 1 Bus
- 2 Busetas

Que ayudan a la movilización de bomberos a diferentes lugares y además sirven para ejecutar las diferentes operaciones de la institución.

B. Vehículos de emergencia

- 2 Carros escalera
- 18 Ambulancias
- 13Abastecimientos

- 2 Vehículos polivalentes
- 1 Vehículo de comando de incidentes
- 4 Vehículos Unimog
- 6 Vehículos Utilitarios
- 19 Vehículos de rescate
- 2 Vehículos anfibios
- 1 Avioneta

Estos vehículos de emergencia son utilizados para socorrer cualquier eventualidad que suscite en la ciudad de Cuenca o sus alrededores. Los vehículos son despachados por el ECU 911 de acuerdo a la necesidad que acontezca la emergencia. Al momento el cuerpo de bomberos de Cuenca posee un total de 106 vehículos como muestra la Tabla 3.2, que contribuyen al desempeño de los diferentes servicios que prestan los Bomberos de Cuenca.

Tabla 3.2: Vehículos de emergencia del Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cuenca

ÍTEM	PLACA	MARCA	TIPO	COLOR	CÓDIGO
1	AMA-1138	NISSAN	AMBULANCIA	ROJO	A11
2	AMA-1139	NISSAN	AMBULANCIA	BLANCO	A22
3	AMA-1014	HYUNDAI	AMBULANCIA	BLANCO	A25
4	AMA-1098	FORD	FURGÓN	ROJO	A33
5	AMA-1159	FORD	AMBULANCIA	ROJO	A34
6	AMA-1174	INTERNATIONAL	MOTOBOMBA	ROJO	AB-2
7	AMA-1175	INTERNATIONAL	MOTOBOMBA	ROJO	AB-3
8	AMA-1055	MAN	TANQUERO	ROJO	AB1
9	S/PLACA	KAWASAKI	AMBULANCIA	ROJO	AMB. UTILITARIA 1
10	S/PLACA1	KAWASAKI	AMBULANCIA	ROJO	AMB. UTILITARIA 2
11	S/PLACA2	ARGO	CAMIÓN	ROJO	ANFIBIO 1
12	S/PLACA3	ARGO		AMARILLO	ANFIBIO 2
13	S/PLACA4	CATERPILLAR	BOB CAT		BOB CAT
14	AMA1149	CAMPANA	MOTOBOMBA	ROJO	CAMPANA
15	S/P	SPARTA	CAMIÓN	ROJO	CM1
16	AMA-1059	E-ONE	TANQUERO	ROJO	ECO1
17	AMA-1015	ROSENBAUER	PLATAFORMA	ROJO	ECO2
18	AMA-1079	FORD	FORESTAL	ROJO	F1
19	AMA-1148	FORD	CAJÓN-C	ROJO	F2
20	AMA-1150	FIMESA	TANQUERO	ROJO	FIMESA
21	AMA-1099	FORD	TANQUERO	ROJO	M11
22	AMA-1129	MERCEDES	ATAQUE	ROJO	M34
23	AMA-1048	PIERCE	MOTOBOMBA	ROJO	M5
24	AMA-1047	PIERCE		ROJO	M6

25	AMA-1025	HAHN	TANQUERO	ROJO	M7
26	AMA-1176	SCANIA	MOTOBOMBA	ROJO	M8
27	AMA-1177	SCANIA	MOTOBOMBA	ROJO	M9
28	GA-837C	SUZUKI	MOTO	ROJO	MOTO 1
29	GA810C	HONDA	DEPORTIVA	BLANCO	MOTO 2
30	GA811C	HONDA	DEPORTIVA	BLANCO	MOTO 3
31	GA807C	HONDA	DEPORTIVA	BLANCO	MOTO 4
32	GA813C	HONDA	DEPORTIVA	BLANCO	MOTO 5
33	GA808C	HONDA	RESCATE	BLANCO	MOTO 6
34	GA809C	HONDA	MOTO	BLANCO	MOTO 7
35	GA812C	HONDA	DEPORTIVA	BLANCO	MOTO 8
36	GA814C	HONDA	MOTO	BLANCO	MOTO 9
37	AMA-1178	HINO	PLATAFORMA	BLANCO	PLATAFORMA
38	SP20162	RENAULT		ROJO	POLIVALENTE
39	SP20161	RENAULT		ROJO	POLIVALENTE1
40	AMA-1130	FORD	CAMIÓN	ROJO	R33
41	AMA-1049	FORD	CAJÓN-C	ROJO	R4
42	AMA-1017	FORD	FURGÓN-C	ROJO	R5
43	AMA-1057	HEAVY DUTY	CAMIÓN	ROJO	RP1
44	100	SPARTAN	RESCATE	ROJO	RP2
45	AMA-1118	MAZDA	CABINA SIMPLE	ROJO	S21
46	AMA-1006	CHEVROLET	SÚPER CARRY	VERDE	S25
47	AMA-1005	VOLKSWAGEN	PICK UP	VERDE	S26
48	AMA-1088	MITSUBISHI	PICK UP	ROJO	S32
49	AMA-1090	MITSUBISHI	CANTER	ROJO	S33
50	AMA-1008	MITSUBISHI	DOBLE CABINA	ROJO	S34
51	AMA-1027	KIA	FURGONETA	ROJO	S37
52	AMA-1029	FORD	CABINA DOBLE	ROJO	S38
53	AMA-1028	FORD	FURGÓN	ROJO	S39
54	AMA-1012	FORD	SERVICIO	ROJO	S61
55	AMA-1013	FORD	CABINA DOBLE	ROJO	S62
56	AMA-1004	CHEVROLET	CABINA DOBLE	VERDE	S63
57	AMA-1003	CHEVROLET	SERVICIO	ROJO	S64
58	AMA-1140	CHEVROLET	JEEP	ROJO	S65
59	AMA-1161	SUZUKI	JEEP	ROJO	SA1
60	AMA-1157	SUZUKI	JEEP	BLANCO	SA2
61	AMA-1018	CHEVROLET	SERVICIO	ROJO	SC1
62	AMA-1019	CHEVROLET	SERVICIO	ROJO	SC2
63	AMA-1020	CHEVROLET	SERVICIO	ROJO	SC3
64	AMA-1021	CHEVROLET	SERVICIO	ROJO	SC4
65	AMA-1022	CHEVROLET	SERVICIO	ROJO	SC5
66	AMA-1183	CHEVROLET	CAMIONETA	BLANCO	SC6
67	AMA-1182	CHEVROLET	CAMIONETA	BLANCO	SC7
68	AMA-1031	NISSAN	SERVICIO	BLANCO	SJ1
69	AMA-1033	NISSAN	SERVICIO	BLANCO	SJ2
70	AMA-1030	NISSAN	SERVICIO	BLANCO	SJB1
71	AMA-1032	NISSAN	SERVICIO	BLANCO	SJB2

72	AMA-1141	CHEVROLET	SERVICIO	ROJO	SR1
73	AMA-1089	MITSUBISHI	TANQUERO	BLANCO	T11
74	AMA-1100	FORD	TANQUERO	ROJO	T14
75	AMA-1080	MITSUBISHI	TANQUERO	ROJO	T22
76	AMA-1056	MITSUBISHI	CAMIÓN	BLANCO	T33
77	AMA-1007	CHEVROLET	TANQUERO	ROJO	T34
78	AMA-1011	FORD	CAMIÓN	BLANCO	T35
79	AMA-1010	FORD	CAMIÓN	BLANCO	T36
80	AMA-1109	FORD	TANQUERO	ROJO	T46
81	EXONERAD	KAWASAKI	UTILITARIO		TERIX
82	AMA-1128	MERCEDES BENZ	CAMIÓN	ROJO	TG13
83	AMA-1119	MERCEDES BENZ	CAMIÓN	ROJO	TG31
84	AMA-1120	MERCEDES BENZ	CAMIÓN	ROJO	TG32
85	AMA-1023	MERCEDES BENZ	FURGONETA	BLANCO	TP1
86	AMA-1173	SCANIA	BUS	ROJO	TP2
87	SP01	10	10	ROJO	TRACTOR
88	AMA-1158	FORD	AMBULANCIA	BLANCO	U1
89	112	FORD	AMBULANCIA	BLANCO	U2
90	AMA-1009	FREIGHTLINER	AMBULANCIA	BLANCO	U3
91	AMA-1016	FORD	AMBULANCIA	BLANCA	U4
92	AMA-1024	FREIGHTLINER	AMBULANCIA	VERDE	U5
93	AMA-1185	INTERNATIONAL	AMBULANCIA	VERDE	U6
94	AMA-1186	INTERNATIONAL	AMBULANCIA	VERDE	U7
95	S/PLACA5	POLARIS	FORESTAL	NEGRO	UF1
96	S/PLACA6	POLARIS	FORESTAL	NEGRO	UF2
97	S/PLACA7	POLARIS	FORESTAL	NEGRO	UF3
98	S/PLACA8	POLARIS	FORESTAL	NEGRO	UF4
99	S/PLACA9	POLARIS	FORESTAL	NEGRO	UF5
100	S/PLAC10	POLARIS	FORESTAL	NEGRO	UF6
101	S/PLAC11	POLARIS	FORESTAL	NEGRO	UF7
102	S/PLAC12	POLARIS	FORESTAL	NEGRO	UF8
103	SP	AWG	ESPECIAL	ROJO	UNIDAD SUCCIÓN 1
104	2345	AWG	ESPECIAL	ROJO	UNIDAD SUCCIÓN 2
105	3456	AWG	ESPECIAL	ROJO	UNIDAD SUCCIÓN 3
106	AMA-1184	MERCEDES BENZ	FORESTAL	ROJO	UNIMOG 1

Fuente: (Bomberos, 2016)

La flota de vehículos de emergencia que se encuentran operativas en las diferentes nueve estaciones de bomberos serán analizados de acuerdo al número de fallos que presenten en un determinado tiempo, para ello se analizada de acuerdo a la función que realice cada unidad para obtener resultados exactos.

3.3 Clasificación de los vehículos de emergencia según su función

Se ha mencionado la variedad de funciones que cumplen los bomberos, es necesario una flota vehicular con características diferentes, las cuales permitan llegar a concluir cada trabajo de manera rápida y efectiva. Para ello en las Tablas 3.3; 3.4; 3.5; 3.6 se muestra la función de cada vehículo de emergencia, la misma que es necesaria identificar para poder desarrollar un futuro análisis de criticidad.

Los vehículos modernos realizan su mantenimiento en sus propias casas comerciales ya que simplemente cada 5000 Km se les cambia lubricantes, mientras que el área de mantenimiento se encarga de realizar mantenimiento a los siguientes vehículos de las tablas mencionas con anterioridad, para posteriormente analizar estos vehículos basándose en el historial de mantenimiento que cada vehículo registra en el software de mantenimiento.

Tabla 3.3: Ambulancias del Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cuenca

Ítem	Código	Marca	Año	País	Placa	Función
1	A-11	Nissan	1996	Japón	AMA-1138	Ambulancia
2	A-22	Nissan	1996	Japón	AMA-1139	Ambulancia
3	A-25	HYUNDAI	2007	Corea del Sur	AMA-1014	Ambulancia
4	A-34	Ford	2004	Estados Unidos	AMA-1159	Ambulancia
5	U-1	Ford	2004	Estados Unidos	AMA-1158	Ambulancia
6	U-2	Ford	2005	Estados Unidos	AMA-112	Ambulancia
7	U-3	Freightliner	2007	Estados Unidos	AMA-1009	Ambulancia
8	U-4	Freightliner	2011	Estados Unidos	AMA-1016	Ambulancia
9	U-5	Freightliner	2011	Estados Unidos	AMA-1024	Ambulancia
10	U-6	Internacional	2014	México	AMA-1185	Ambulancia
11	U-7	Internacional	2014	México	AMA-1186	Ambulancia

Fuente: (Bomberos, 2016)

Tabla 3.4: Vehículos de Abastecimiento del Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cuenca

Ítem	Código	Marca	Año	País	Placas	Función
12	M-5	PIERCE	2009	Estados Unidos	AMA-1048	Abastecimiento
13	M-6	PIERCE	2009	Estados Unidos	AMA-1047	Abastecimiento
14	M-7	HAHN	1984	Estados Unidos	AMA-1025	Abastecimiento
15	M-8	Scania	2013	Suecia	AMA-1176	Abastecimiento
16	M-11	Ford	1979	Estados Unidos	AMA-1099	Abastecimiento
17	M-34	Mercedes Benz	1998	Brasil	AMA-1129	Abastecimiento

Fuente: (Bomberos, 2016)

Tabla 3.5: Tanqueros del Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cuenca

Ítem	Código	Marca	Año	País	Placa	Función
18	T-11	Mitsubishi	1997	Japón	AMA-1089	Tanquero
19	T-22	Mitsubishi	1997	Japón	AMA-1080	Tanquero
20	T-33	Mitsubishi	2001	Japón	AMA-1056	Tanquero
21	T-34	Chevrolet	2007	Estados Unidos	AMA-1007	Tanquero
22	T-35	Ford	2007	Estados Unidos	AMA-1011	Tanquero
23	T-36	Ford	1997	Japón	AMA-1010	Tanquero

Fuente: (Bomberos, 2016)

Tabla 3.6: Vehículos de Rescate del Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cuenca

Ítem	Código	Marca	Año	País	Placa	Función
24	TG-13	Mercedes Benz	1998	BRASIL	AMA-1128	Rescate
25	TG-31	Mercedes Benz	1998	BRASIL	AMA-1119	Rescate
26	TG-32	Mercedes Benz	1998	BRASIL	AMA-1120	Rescate
27	R-4	Ford	2006	Estados Unidos	AMA-1049	Rescate
28	R-5	Ford	2007	Estados Unidos	AMA-1017	Rescate
29	R-33	Ford	1975	Estados Unidos	AMA-1130	Rescate

Fuente: (Bomberos, 2016)

3.4 Selección del caso de estudio

Los vehículos de emergencia son los vehículos más importantes para la Institución de Bomberos, debido al servicio que prestan en relación a cada una de sus funciones.

El Benemérito Cuerpo de Bomberos posee vehículos modernos los mismos que aún no poseen un historial de mantenimiento, por estas razones se analizan los vehículos que registren algunas falencias para su respectivo análisis. Pudiendo así contabilizar el número de fallos que presenta cada unidad de emergencia y a la vez obtener el tiempo de buen funcionamiento y tiempo de reparación.

3.5 Numero de fallos y costos de los vehículos de emergencia

Una vez que las funciones y los estándares de funcionamiento de cada equipo se hayan definido, el siguiente proceso es identificar cómo puede fallar cada elemento en el cumplimiento de sus funciones.

En la Tabla 3.7 se indica el número de fallos que presenta cada unidad de emergencia con el costo total que se invirtió en todos los fallos correspondientes a cada unidad. Esto lleva al concepto de una falla funcional, que se define como la incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado.

El número de fallos que presenta la Tabla 3.7 es en un determinado tiempo de estudio, para el desarrollo del proyecto técnico se analiza en un periodo desde el 1 de enero del 2015 hasta el 6 de mayo del 2016.

Tabla 3.7: Numero de fallos en los vehículos de emergencia

Ítem	Código	Año	País	N. fallos	Valor $	Kilometraje	Placa
1	A-11	1996	Japón	10	491,31	208592	AMA-1138
2	A-22	1996	Japón	16	1668,68	195094	AMA-1139
3	A-25	2007	Corea del Sur	16	1721,05	85193	AMA-1014
4	A-34	2004	Estados Unidos	15	6957,6	56869	AMA-1159
5	U-1	2004	Estados Unidos	10	1141,01	67012	AMA-1158
6	U-2	2005	Estados Unidos	18	2804,4	53774	AMA-112
7	U-3	2007	Estados Unidos	25	7528,25	82622	AMA-1009
8	U-4	2011	Estados Unidos	15	670,04	35740	AMA-1016
9	U-5	2011	Estados Unidos	4	3590,69	43168	AMA-1024
10	U-6	2014	México	18	2279,82	26548	AMA-1185
11	U-7	2014	México	5	1277,18	15314	AMA-1186
12	M-5	2009	Estados Unidos	16	934,11	17379	AMA-1048
13	M-6	2009	Estados Unidos	13	2554,85	10276	AMA-1047
14	M-7	1984	Estados Unidos	7	1210,8	28906	AMA-1025
15	M-8	2013	SUECIA	4	5587,65	8866	AMA-1176
16	M-11	1979	Estados Unidos	4	420	14324	AMA-1099
17	M-34	1998	BRASIL	4	243,12	5642	AMA-1129
18	T-11	1997	JAPÓN	10	3297,6	40553	AMA-1089
19	T-22	1997	JAPÓN	10	6077,58	48999	AMA-1080
20	T-33	2001	JAPÓN	13	1147,28	42794	AMA-1056
21	T-34	2007	Estados Unidos	19	1557,94	24965	AMA-1007
22	T-35	2007	Estados Unidos	8	356,49	17018	AMA-1011
23	T-36	1997	Japón	10	1969,65	39001	AMA-1010
24	TG-13	1998	BRASIL	8	1445,17	43870	AMA-1128
25	TG-31	1998	BRASIL	6	887,88	55570	AMA-1119
26	TG-32	1998	BRASIL	4	824,8	86696	AMA-1120
27	R-4	2006	Estados Unidos	5	496,54	17693	AMA-1049
28	R-5	2007	Estados Unidos	4	1559,15	16744	AMA-1017
29	R-33	1975	Estados Unidos	5	1322,31	17307	AMA-1130

Fuente: (Bomberos, 2016)

Para una correcta interpretación de los números de fallos que presentan las unidades de emergencia se grafica los datos de la Tabla 3.7, la misma que permite visualizar de mejor manera en la Figura 3.1. En la que se observa que la U-3 presenta el número de fallos más alto que es 25 fallos que corresponden a los 18 meses analizados durante el año 2015 y hasta junio del 2016.

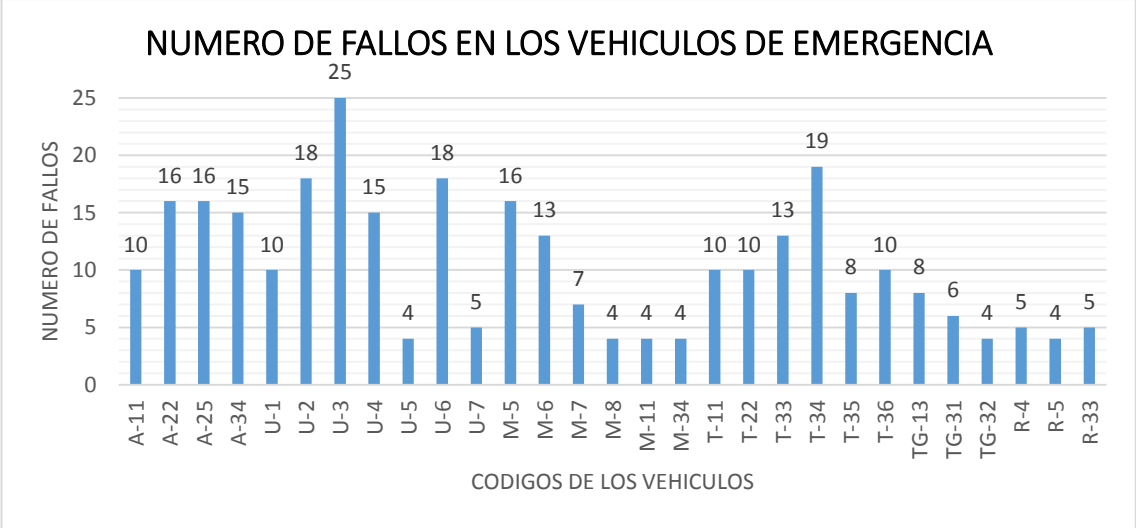


Figura 3.1: Número de fallos de los vehículos de emergencia.

Fuente: (Bomberos, 2016)

3.6 Descripción del departamento automotriz

Las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo son ejecutadas por parte en, talleres contratados y otra parte por los talleres de la institución de bomberos, el cual es el área de servicio automotriz que brinda los mantenimientos necesarios de cada unidad de emergencia, para la gestión del área se ha nombrado a un administrador , el mismo que se apoya con un sub administrador y un asistente que se encarga de la parte automotriz, la Figura 3.2 muestra el organigrama del departamento de mantenimiento.

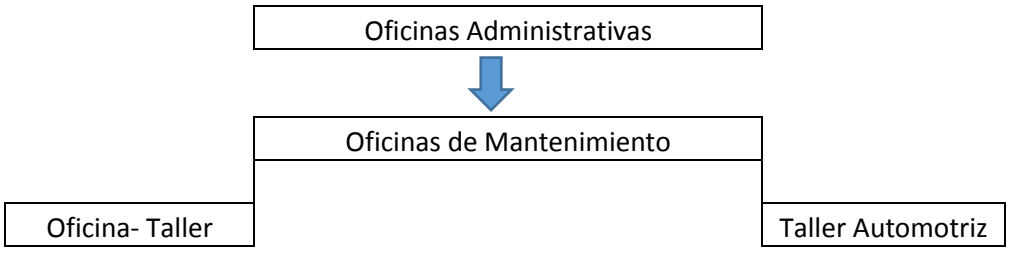


Figura 3.2: Organigrama del trabajo

Fuente: (Bomberos, 2016)

El área de mantenimiento para llevar a cabo su función en las unidades de emergencia dispone de un software en el cual controla, evalúa y realiza la gestión del mantenimiento de la flota vehicular que posee la institución.

El trabajo de gestión de mantenimiento empieza cuando el maquinista observa alguna anomalía en el vehículo, y él informa verbalmente la anomalía presentada al departamento de mantenimiento, en el cual ya se genera la orden de trabajo, y el maquinista entrega el vehículo de emergencia al encargado del departamento firmando bajo qué condiciones y que herramientas posee la unidad en ese momento. En la orden de trabajo como se observa en la Figura 3.3 se registra varios datos, entre los principales están:

- Número total de mantenimientos
- Gasto total en mantenimientos
- Ubicación
- Chasis
- Motor
- Año del vehículo
- Código
- Placas del vehículo
- Fecha

BENEMERITO CUERPO DE BOMBEROS BOLUNTARIOS DE CUENCA

INFORME DE MANTENIMIENTOS

Desde: 01/01/2016 Hasta: 06/12/2016

VEHICULO: AMA-1009- FREIGHTLINER

Código: U3

Chasis: IFVACWCS57HY84397

Motor: 90291000628415

Año: 2007

Ubicación: ESTACION 3

Numero de mantenimientos: 25

Gasto Total en Mantenimientos: 7528,25

Numero	Fecha a prueba	Fecha emite	Nombre responsable	Descripción	Valor
527	6/1/2015 17:49	6/1/2015 17:44	PAUTE QUITUISACA RODRIGO	CAMBIO DE FOCOS DE LUZ DE BAJA POR DAÑO YA QUE NO SE VE NADA	24
531	6/1/2015 17:52	6/1/2015 17:50	PAUTE QUITUISACA RODRIGO	CAMBIO DE ELECTRO VALVUALA DEL SISTEMA DE PITOS DE AIRE Y CAMBIO DE POCICION DE LA VALVULA DEL FRENO DE ESTACIONAMIENTO	98,1
542	23/1/2015 8:44	22/1/2015 13:10	PAUTE QUITUISACA RODRIGO	CAMBIO DE FAROS POR FALTA DE ILUMINACION POR DAÑO EN LAS MICAS E INTERNAMENTE SE ENCUENTRAN OPACOS	1729,67
550	2/2/2015 15:34	23/1/2015 8:45	PAUTE QUITUISACA RODRIGO	COMPRA DE ACOPLES CAÑERIAS ANILLOS PARA EL SISTEMA DE AIRE DE UNIDAD-3	12,21
556	2/2/2015 15:52	2/2/2015 15:42	PAUTE QUITUISACA RODRIGO	CAMBIO DE EMBRAGUE DEL VENTILADOR POR DAÑO EN RODILLO SENTRAL DE UNION DE MANGUERA DE AIRE	2045,74
561	2/2/2015 15:54	2/2/2015 15:54	PAUTE QUITUISACA RODRIGO	CAMBIO DE LA MANGEERA DEL VENTILADOR	0

Figura 3.3: Informe de los Mantenimientos

Fuente: (Bomberos, 2016)

Una vez realizados los trabajos de mantenimiento correctivos o preventivos, el maquinista recibe el vehículo firmando el documento, con lo que el maquinista encargado acepta y da testimonio de los trabajos realizados, terminando así el trabajo de los responsables de mantenimiento.

IV. CAPÍTULO

4 DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO APLICANDO RCM PARA LOS VEHÍCULOS DE EMERGENCIA

4.1 Diagramas de Pareto

El Principio de Pareto dice que el 20% de una acción producirá el 80% de los efectos, mientras que el 80% restante sólo origina el 20% de los efectos. Para un reparto equitativo hay que conseguir minimizar el principio de Pareto, de forma que el reparto esté lo más alejado posible de una distribución de proporciones 80-20. En general, el principio de Pareto permite analizar una situación y facilitar la toma de decisiones estratégicas trabajando con datos reales. (Pareto, 2012)

Por lo cual se ha visto útil la utilización de los diagramas de Pareto para analizar cuál es el 20% de los vehículos de emergencia de la Tabla 3.7 que ocasiona un 80% de fallas, la misma que nos permite visualizar los vehículos críticos que ameritan un mantenimiento más especializado. Según el historial de mantenimiento de los vehículos de emergencia se tiene diferentes números de fallos por vehículo. el cual, contabilizando el número de fallos con sus respectivos costos por vehículo se obtienen las siguientes Tablas: 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 que indican costos acumulados y fallos acumulados para las unidades de emergencia.

4.1.1 Diagramas de Pareto de las Ambulancias

Tabla 4.1: Tabla de costos acumulados y fallos acumulados de las Ambulancias

Ítem	Código	Núm. Fallos	Costo Total ($)	Costo acumulado ($)	Costo acumulado (%)	Fallos Acumulados	Fallos Acumulados (%)
15	U-3	25	7.528,25	$ 7.528,25	24,99	25	16,45
4	A-34	15	6.957,60	$ 14.485,85	48,08	40	26,32
17	U-5	4	3.590,69	$ 18.076,54	60,00	44	28,95
14	U-2	18	2.804,40	$ 20.880,94	69,30	62	40,79
18	U-6	18	2.279,82	$ 23.160,76	76,87	80	52,63
3	A-25	16	1.721,05	$ 24.881,81	82,58	96	63,16
2	A-22	16	1.668,68	$ 26.550,49	88,12	112	73,68
19	U-7	5	1.277,18	$ 27.827,67	92,36	117	76,97
13	U-1	10	1.141,01	$ 28.968,68	96,15	127	83,55
16	U-4	15	670,04	$ 29.638,72	98,37	142	93,42
1	A-11	10	491,31	$ 30.130,03	100,00	152	100,00

Fuente: (Barrachina, 2012), **Elaborado por:** (Autor, 2017)

La Tabla 4.1 muestra costos acumulados y fallos acumulados de las Ambulancias, para obtener una visión más amplia se gráfica y se divide en tres zonas como indica la Figura 4.1 para su respectivo análisis zona por zona.

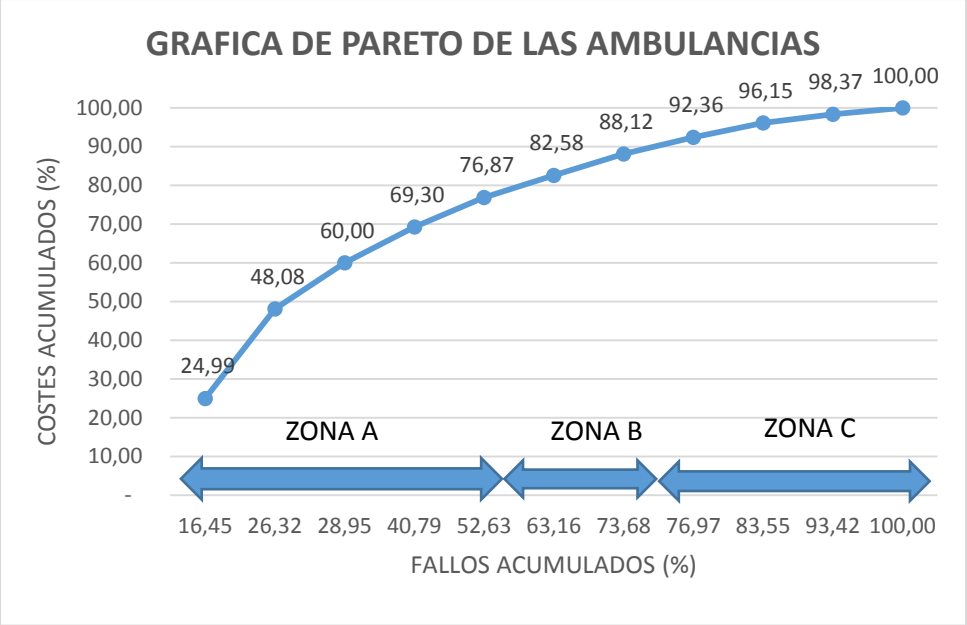


Figura 4.1: Grafica de Pareto de las Ambulancias

Fuente: (Barrachina, 2012), **Elaborado por:** (Autor, 2017)

En la gráfica de Pareto Figura 4.1 se distinguen tres zonas:

ZONA A: Con los vehículos U-3, A-34, U-5, U-2, U-6. Son elementos prioritarios. Alrededor del 60% de los fallos suponen el 80% de los costes. En este caso estos vehículos ameritan un cambio en su mantenimiento.

ZONA B: Vehículos A-25, A-22 y U-7 Para estos vehículos se tiene un 15% de los fallos y a la par incrementa un 10% de los costos de mantenimiento.

ZONA C: Vehículos U-1, U-4 y A-11 estas ambulancias se tienen un 25% de los fallos que involucran tan solo el 10% de los costos de mantenimiento.

4.1.2 Diagramas de Pareto de los vehículos de primera respuesta

Tabla 4.2: Tabla de costos acumulados y fallos acumulados de los vehículos de primera respuesta.

Ítem	Código	N. fallos	Costo Total ($)	Costo acumulado ($)	Costo acumulado (%)	Fallos Acumulados	Fallos Acumulados (%)
8	T-22	10	6077,58	6077,58	42,19	10	14,29
7	T-11	10	3297,6	9375,18	65,08	20	28,57
12	T-36	10	1969,65	11344,83	78,75	30	42,86
10	T-34	19	1557,94	12902,77	89,56	49	70,00
9	T-33	13	1147,28	14050,05	97,53	62	88,57
11	T-35	8	356,49	14406,54	100,00	70	100,00

Fuente: (Barrachina, 2012), **Elaborado por:** (Autor, 2017)

La Tabla 4.2 muestra costos acumulados y fallos acumulados de los vehículos de primera respuesta, para obtener una visión más amplia se gráfica y se divide en tres zonas como indica la Figura 4.2 para su respectivo análisis zona por zona.

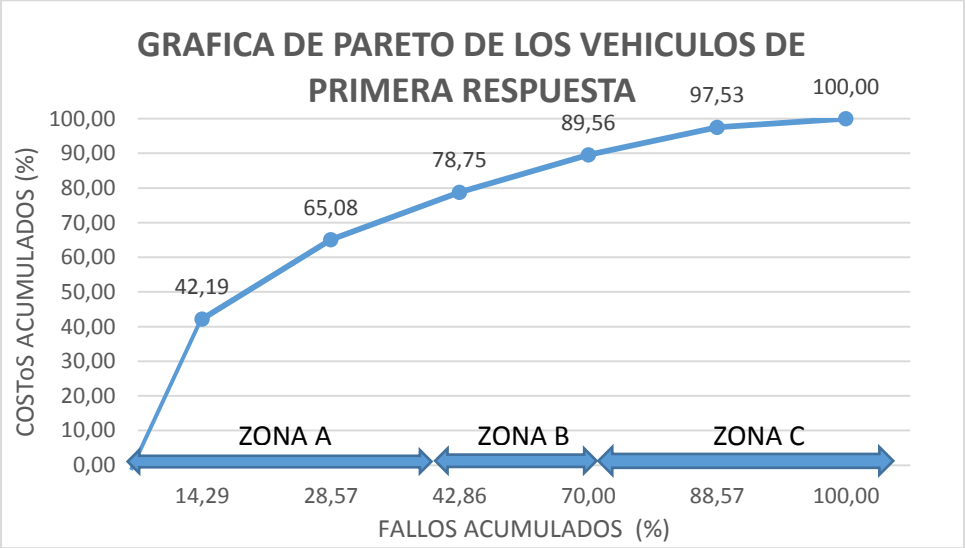


Figura 4.2: Grafica de Pareto de los vehículos de primera respuesta

Fuente: (Barrachina, 2012) **Elaborado por:** (Autor, 2017)

En la gráfica de Pareto Figura 4.2 se distinguen tres zonas:

ZONA A: En esta zona los vehículos T-22, T-11 y T-36. Son elementos prioritarios. Alrededor del 43 % de los fallos suponen el 80% de los costes. En este caso estos vehículos ameritan un cambio en su mantenimiento.

ZONA B: Vehículos T-34. Para este vehículo se tiene un 27% de los fallos y solo incrementa un 10% de los costos de mantenimiento.

ZONA C: Vehículos T-33 y T-35. Estos vehículos de primera respuesta ocupan un 30% de los fallos que involucran un 10% de los costos de mantenimiento que relativamente es bajo ya que los costos del 10 % representan al mantenimiento normal de las unidades.

4.1.3 Diagramas de Pareto de los Vehículos de Abastecimiento

Tabla 4.3: Tabla de costos acumulados y fallos acumulados de los vehículos de Abastecimiento.

Ítem	Código	N. fallos	Costo Total ($)	Costo acumulado ($)	Costo acumulado (%)	Fallos Acumulados	Fallos Acumulados (%)
15	M-8	4	5587,65	5587,65	51,03	4	8,33
13	M-6	13	2554,85	8142,5	74,36	17	35,42
14	M-7	7	1210,8	9353,3	85,41	24	50,00
12	M-5	16	934,11	10287,41	93,94	40	83,33
16	M-11	4	420	10707,41	97,78	44	91,67
17	M-34	4	243,12	10950,53	100,00	48	100,00

Fuente: (Barrachina, 2012) **Elaborado por:** (Autor, 2017)

La Tabla 4.3 muestra costos acumulados y fallos acumulados de los vehículos de abastecimiento, para obtener una visión más amplia se gráfica y se divide en tres zonas como indica la Figura 4.3 para su respectivo análisis zona por zona.

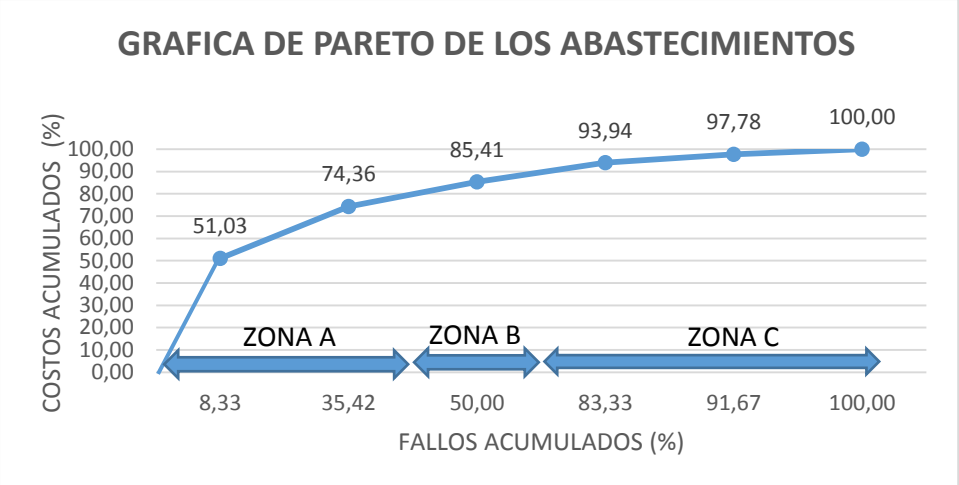


Figura 4.3: Grafica de Pareto de los vehículos de abastecimiento

Fuente: (Barrachina, 2012) **Elaborado por:** (Autor, 2017)

En la gráfica de Pareto Figura 4.3 se distinguen tres zonas:

ZONA A: En esta zona los vehículos M-8 y M-6. Son elementos prioritarios. Alrededor del 45% de los fallos suponen el 80% de los costes. En este caso estos vehículos ameritan un cambio en su mantenimiento.

ZONA B: Vehículos M-7 y M-5. Para estos vehículos se tiene un 20% de los fallos y solo incrementa un 10% de los costos de mantenimiento.

ZONA C: Vehículos M-11 y M-34. Para estos vehículos de abastecimiento se tiene un 35 % de los fallos que involucran un 10% de los costos de mantenimiento.

4.1.4 Diagramas de Pareto de los Vehículos de Rescate

Tabla 4.4: Tabla de costos acumulados y fallos acumulados de los Vehículos de Rescate.

Ítem	Código	N. Fallos	Costo Total ($)	Costo Acumulado ($)	Costo Acumulado (%)	Fallos Acumulados	Fallos Acumulados (%)
28	R-5	4	4559,15	4559,15	39,52	4	10,53
24	TG-13	8	3445,17	8004,32	69,39	12	31,58
29	R-33	5	1322,31	9326,63	80,85	23	60,53
25	TG-31	6	887,88	10214,51	88,55	29	76,32
26	TG-32	4	824,8	11039,31	95,70	33	86,84
27	R-4	5	496,54	11535,85	100,00	38	100,00

Fuente: (Barrachina, 2012), **Elaborado por:** (Autor, 2017)

La Tabla 4.4 muestra costos acumulados y fallos acumulados de los vehículos de rescate, para obtener una visión más amplia se gráfica y se divide en tres zonas como indica la Figura 4.4 para su respectivo análisis zona por zona.

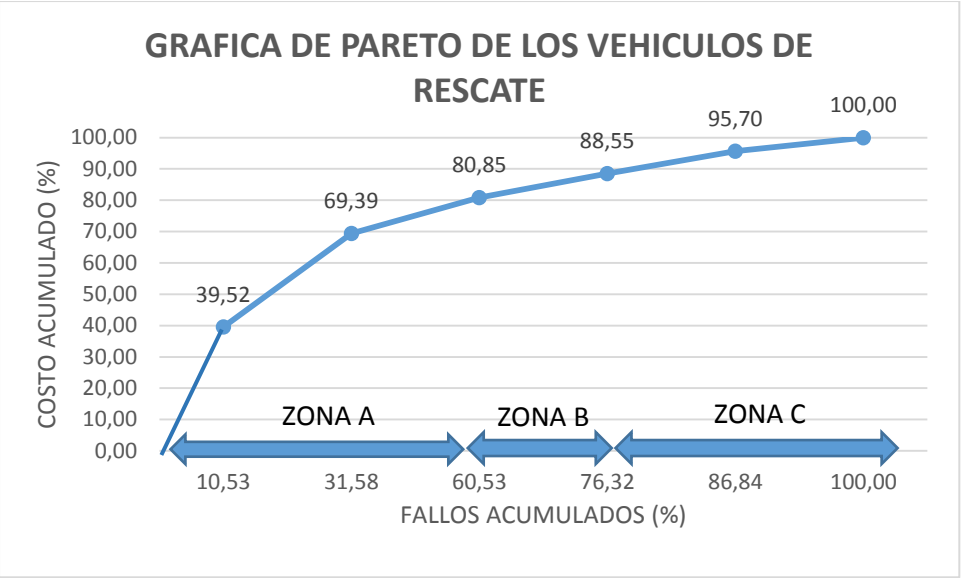


Figura 4.4: Grafica de Pareto de los vehículos de rescate

Fuente: (Barrachina, 2012)**, Elaborado por:** (Autor, 2017)

En la gráfica de Pareto Figura 4.4 se distinguen tres zonas:

ZONA A: En esta zona los vehículos R-5 y TG-13. Son elementos prioritarios. Alrededor del 60% de los fallos suponen el 80% de los costes. En este caso estos vehículos ameritan un cambio en su mantenimiento para reducir el número de fallos y costos.

ZONA B: Vehículos R-33 y TG-31. Para estos vehículos se tiene un 16% de los fallos y solo incrementa un 10% de los costos de mantenimiento.

ZONA C: Vehículos TG-32 y R-4. estas ambulancias se tienen un 24 % de los fallos que involucran un 10% de los costos de mantenimiento.

4.2 Distribución de Weibull

La distribución de Weibull se utiliza para modelar datos de fiabilidad. Esta distribución es fácil de interpretar y muy versátil ya que nos permite saber porcentajes tales como cuantos elementos fallen en un determinado lapso de tiempo.

Esta distribución se utiliza para evaluar la fiabilidad en diversas aplicaciones, como es preciso en nuestro caso de análisis de fiabilidad de los vehículos de emergencia, esta distribución permite modelar una función de riesgo que sea constante, creciente o decreciente lo que permite interpretar cual es la fase de vida útil de cada unidad de emergencia analizada.

Los datos precisos para una distribución weibull son las "edades" de las partes, componentes o sistemas que fallan, como en este proyecto tenemos los tiempos de operación de equipos (horas, días, kilómetros, etc.). El cual nos permite obtener una gráfica de distribución de Weibull que está representado pos sus escalas:

Escala horizontal: Edad o tiempo (t) logarítmica.

Escala vertical: Proporción de las unidades que pueden fallar a una edad (t) en porcentaje.

4.2.1 Distribución de una falla

La pendiente de la gráfica Weibull, se define como:

- $\beta < 1.0$ indica mortalidad infantil
- $\beta = 1.0$ significa falla aleatoria
- $\beta > 1.0$ indica falla por desgaste

Los parámetros β & η de la distribución Weibull son los valores usados para el análisis de vida de los componentes según muestra la fórmula de la distribución de Weibull.

$$F(t) = 1 - e^{-(t/\eta)^{\beta}} \qquad \textit{Ecuación 7}$$

La función de distribución Weibull está ilustrada en la ecuación 5 donde:

T = Tiempo de falla

η = característica de vida parámetro escala

β = Parámetro forma o pendiente

e = 2.718281828, base del logaritmo natural.

B = muestra la clase de falla como son mortalidad infantil, aleatoria, o desgaste, también es llamado parámetro de forma porque determina la familia o el tipo de distribución.

η = es el parámetro de vida y es igual al tiempo promedio para la falla. (Murillo, 2001)

4.2.2 Indicadores de mantenimiento

Para determinar los indicadores de mantenimiento, se ha implantado en una hoja de cálculo en Microsoft Excel una plataforma donde se utilizan las diferentes ecuaciones: ecuación 1, ecuación 2, ecuación 4 y ecuación 5 mencionadas con anterioridad en el capítulo 2.

Se han planteado cuatro indicadores de mantenimiento, los que permitirán determinar la criticidad de cada uno de los vehículos de emergencia, estos indicadores son los siguientes:

- **MTBF**

Para determinar el tiempo medio de vida entre fallos se utiliza la ecuación 1 planteada en el capítulo 2, la misma nos proporcionará valores que especifican el tiempo en las cuales permanecerá la unidad sin averías cuando trabaje en las condiciones físicas sobre las que está diseñado. Estos valores están expresados en días y horas para una correcta interpretación.

η es el parámetro vida y es igual al tiempo promedio para la falla (Mean Time To Failure MTTF) cuando β es igual a 1.

- Cuando β = 1.0, MTBF = η, es una distribución exponencial
- Cuando β > 1.0, MTBF es menor que η
- Cuando B < 1.0, MTBF es mayor que η
- Cuando β = 0.5, MTBF = 2 η (Murillo, 2001)

- **MTTR:**

Es la medida de la distribución del tiempo de reparación de la unidad de emergencia. Este indicador mide la efectividad en restituir la unidad a condiciones óptimas de operación una vez que la unidad se encuentra fuera de servicio por un fallo, dentro de un período de tiempo determinado. El Tiempo Promedio para Reparar es un parámetro de medición asociado a la mantenibilidad, es decir, a la ejecución del mantenimiento.

Para realizar este cálculo se utiliza la ecuación 2 del capítulo 2, en el cual se nos permite cuantificar para después poder tener un criterio para el análisis de la criticidad.

- **Disponibilidad:**

La disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que la unidad esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinada. Con la ecuación número 3 del capítulo 2 podemos determinar este valor. Los factores que influyen sobre la disponibilidad, según la ecuación viene determina por MTTR Y MTBF por lo cual es posible evaluar distintas alternativas de acción para lograr los aumentos necesarios de disponibilidad.

- **Tasa de fallo:**

Se puede definir como una proporción de fallas por unidad de tiempo, este valor lo obtenemos utilizando la ecuación 4 del capítulo 2, este valor indica cual es la tasa de fallos que ha presentado la unidad de emergencia durante su lapso de funcionamiento en este caso desde el 1 enero del 2015, hasta 16 de junio del 2016.

4.2.3 Graficas de la distribución de Weibull de los Vehículos de Emergencia, y sus respectivos indicadores de Mantenimiento

En la graficas de distribución de weibull se analizará la fiabilidad de cada unidad de emergencia, modelando datos de fiabilidad que permitan interpretar cual es la fase de vida útil.

Para establecer los gráficos de distribución de weibull se requiere de la siguiente información:

- Numero de fallos
- Tiempos de buen funcionamiento (TBF)
- Tiempos de reparación

Esta información permite realizar los cálculos pertinentes con las formulas de la distribución de weibull (ecuación 5), permitiendo plantear tablas con el propósito de graficar y obtener una distribución de weibull, dichas tablas se encuentran como anexos en el Anexo A de este proyecto técnico.

En las Tablas 4.5 y 4.7 encontramos los parámetros que definen la función de la distribución de weibull, estas tablas fueron desarrolladas para cada unidad de emergencia mismas que se encuentran anexadas en este proyecto técnico como Anexo B, una vez creadas dichas tablas se desarrolló la gráfica de weibull con la que podemos observar el tipo de falla que se produce ya sea falla infantil o falla por desgaste según se indica en las Figuras 4.5 y 4.6, las demás Figuras correspondiente a las demás unidades de emergencia se encuentran dentro del Anexo B.

Las Tablas 4.6 y 4.8 que se presentaran a continuación muestran los indicadores de mantenimiento de cada unidad de emergencia, las demás tablas se encuentran anexadas dentro del proyecto técnico como Anexo B, para posterior mente analizar las unidades más críticas dependiendo de los resultados de cada indicador.

Tabla 4.5: Parámetros que definen la distribución de weibull de A-11

Pendiente	1,4056
Ordenada	-8,0159
R2	0,8903
β	1,4056
η	299,6532
A	0,9109
B	0,6568
MTBF	272,9396
σ	196,8024

Fuente: (Autor, 2017)

La Tabla 4.5 muestra los Parámetros que definen la distribución de weibull del A-11, en la cual se obtiene:

$\beta > 1$ Indica falla por desgaste, los programas de inspección son leídos directamente con una probabilidad aceptable de las fallas, por lo tanto, MTTF es menor que η

$1 < \beta < 4$ Indica falla por deterioro temprano estas son fallas de modo mecánico

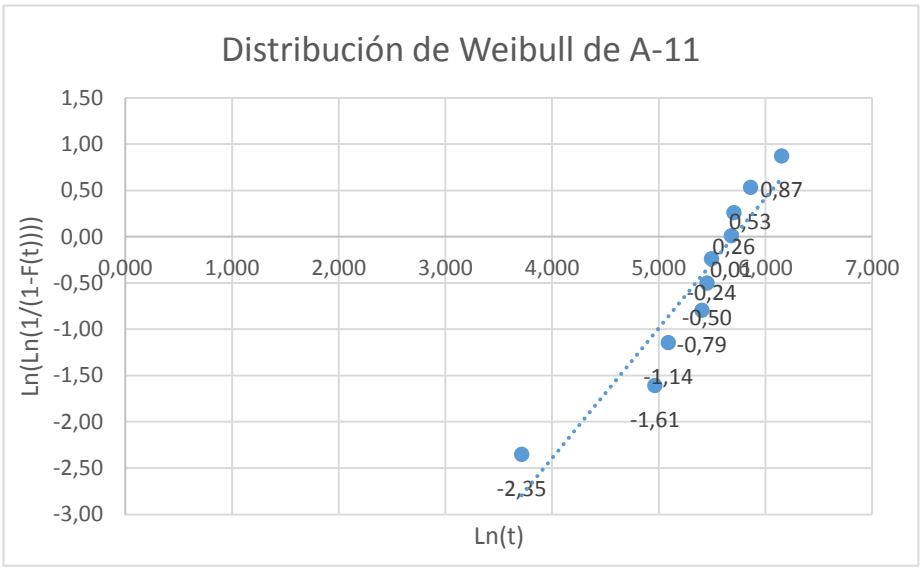


Figura 4.5: Distribución de weibull del A-11 con β=1,4056, falla por desgaste

Elaborado por: (Autor, 2017)

Tabla 4.6: Indicadores de mantenimiento del A-11

INDICADORES	DÍAS	HORAS
MTBF	272,94	6550,55
MTTR	18,1	434,4
Disponibilidad	0,94%	-
Tasa de Fallo	0,055	1,32

Elaborado por: (Autor, 2017)

En la Tabla 4.6 se calcula los indicadores de mantenimiento del A-11, se tiene que el MTBF es muy alto en comparación con el MTTR, lo que indica que esta unidad posee una alta disponibilidad de operación de 0,94%. Con una tasa de fallo de 0.055 fallas/día.

Tabla 4.7: Parámetros que definen la distribución de Weibull del A-34

Pendiente	0,65237
Ordenada	-2,5717
R2	0,834141
β	0,65237
η	51,5297
A	1,36078
B	2,16072
MTBF	70,1206
σ	111,341

Fuente: (Autor, 2017)

La Tabla 4.7 muestra los Parámetros que definen la distribución de weibull del A-34, en la cual se obtiene:

$\beta < 1$ Indica mortalidad infantil, las inspecciones programadas son de costo económico no efectivo, por lo tanto, MTTF es mayor que η.

Los equipos electrónicos, eléctricos, mecánicos presentan una alta tasa de fallas cuando la unidad está en operación, otros modos de falla son: Problemas de control de calidad, Problemas de mantenimiento, Inadecuado manejo de las unidades, etc.

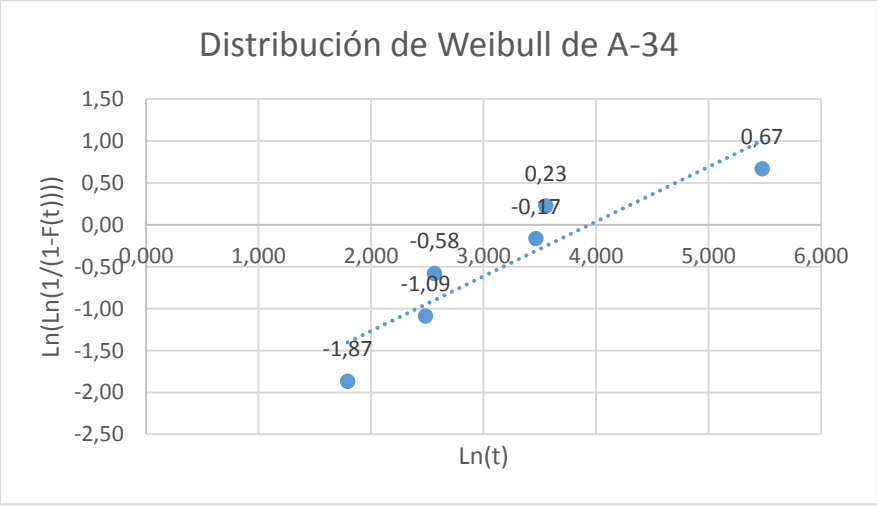


Figura 4.6: Distribución de weibull del A-34 con β= 0.6523, Mortalidad infantil

Elaborado por: (Autor, 2017)

Tabla 4.8: Indicadores de mantenimiento del A-34

INDICADORES	DÍAS	HORAS
MTBF	70,121	1682,895
MTTR	45,833	1100,000
Disponibilidad	0,60%	-
Tasa de Fallo	0,022	0,52

Elaborado por: (Autor, 2017)

En la Tabla 4.8 se calcula los indicadores de mantenimiento del A-34, se tiene que el MTBF no es muy alto en comparación con el MTTR, lo que indica que esta unidad posee baja disponibilidad de operación que es 60%. Con una tasa de fallo de 0,022 fallas/día. Con estos valores podemos observar que es necesario realizar acciones para mejorar la disponibilidad y por ende la tasa de fallas para así poder incrementar la confiabilidad del sistema.

4.3 Análisis de los indicadores de mantenimiento

El respectivo análisis nos permite determinar tres unidades de emergencia que muestran una disponibilidad baja es decir menor al 70 %, lo cual estas unidades de emergencia ameritan un cambio en su respectivo mantenimiento para aumentar su disponibilidad de operación y no pasen en talleres de reparación. Estas unidades de emergencia están representadas en la Tabla 4.9

Tabla 4.9: Resultados de las unidades de emergencia con los valores de disponibilidad catalogados como bajos

Unidad de emergencia	MTBF (Días)	MTTR (Días)	Disponibilidad	Tasa de fallo (fallos/día)
A-22	96,33	34,44	0.64 %	0,029
A-34	70,12	45,83	0,60%	0,022
U-3	61,05	32,88	0,65%	0,03

Elaborado por: (Autor, 2017)

4.4 Análisis de criticidad de los Vehículos

Un análisis de criticidad es una metodología, que puede ser cualitativa o cuantitativa; que se emplea para identificar una jerarquía de criticidad de instalaciones, sistemas, equipos, etc. (reliability, 2014)

La evaluación se realiza a través de la estimación de la ocurrencia de fallas de un periodo de tiempo determinado, y la evaluación del impacto del fallo en el área operativa, económica, de seguridad humana y medio ambiente. Con el análisis de fiabilidad de las unidades de emergencia como siguiente punto es el análisis de criticidad, para ello se utilizará la metodología cualitativa que es de fácil manejo, que emplea la frecuencia de fallo y criterios de evaluación, que se enfocan en identificar el grado de impacto en las áreas: operacionales, verifica si existe flexibilidad operacional, evalúa el impacto en los costos de mantenimiento y el impacto en la seguridad humana y el ambiente. El valor de criticidad total, se obtendrá del producto entre la frecuencia de la ocurrencia y el valor de la consecuencia; para lo cual se emplea la siguiente fórmula.

Criticidad total = Frecuencia de ocurrencia x Consecuencia (reliability, 2014)

Para determinar un valor de consecuencia se obtiene que:

Consecuencia= Impacto operacional*flexibilidad operacional + Costo de mantenimiento + Impacto seguridad humana y ambiente.

Criticidad total = Frecuencia de ocurrencia x [Impacto operacional*flexibilidad operacional + Costo de mantenimiento + Impacto seguridad humana y ambiente]

Para evaluar el impacto de las fallas, se han determinado los criterios que se describen en la Tabla 4.10, los mismos han sido adaptados para que sean aplicables a las unidades que se analizan dependiendo del historial que indican los tipos y el número de fallos que presentan los vehículos de emergencia, es de aquí donde se construye la tabla de criterios de criticidad. Como es el caso en frecuencia de fallas se toma el número más alto de las fallas y se establece valores de cuantificación de acuerdo a la cantidad de fallas.

Tabla 4.10: Criterios para cuantificar el análisis de criticidad de los vehículos

Criterios para determinar la criticidad	Cuantificación
Frecuencia de fallas:	
* Mayor a 20 fallas/18 meses	5
* 15-20 fallas/18 meses	4
* 10-14 fallas/18 meses	3
* 5-9 fallas/18 meses	2
*Menos de 5 fallas/18 meses	1
Impacto operacional:	
* Parada inmediata de todo el vehículo de emergencia	10
* Parada inmediata de todo el vehículo (recuperable con otro vehículo)	8
* Impacto en los niveles de producción o calidad	6
* Repercute en costos operacionales adicionales (indisponibilidad)	3
* No genera ningún efecto o impacto significativo sobre las demás operaciones.	1
Flexibilidad operacional:	
* No existe opción de producción y no hay forma de recuperarlo	5
* Hay opción de producción a la capacidad mínima permisible	4
* Hay opción de repuestos	3
* Función de repuesto disponible	1
Costo de mantenimiento:	
* Mayor a $ 5.000,00	4
*$ 3.000,00 a $ 5.000,00	3
*$ 1.000,00 a $2.999,99	2
* Menores a $1.000,00	1
Impacto en la seguridad humana y ambiente:	
* Afecta a la seguridad humana tanto externa como interna	8
* Afecta el ambiente produciendo daños irreversibles	6
* Afecta las instalaciones o personas causando daños severos	4

Elaborado por: (Autor, 2017)

Una vez que se dispone de la información necesaria para realizar el análisis de criticidad, se procede a realizar los cálculos que permitan determinar, cuál de los vehículos de la institución son catalogados como críticos.

Tabla 4.11: Análisis de criticidad de los vehículos **Elaborado por:** (Autor, 2017)

Ítem	Código	N. de fallos	Costo total	Impacto operacional	Flexibilidad operacional	Impacto de seguridad humana y ambiente	Frecuencia de ocurrencia	Costo de mantenimiento	Consecuencia	Criticidad total
1	A-11	10	491,31	3	1	4	3	1	8	24
2	A-22	16	1668,68	6	3	4	4	2	24	96
3	A-25	16	1721,05	6	3	4	4	2	24	96
4	A-34	15	6957,6	8	4	4	4	4	40	160
5	U-1	10	1141,01	6	3	4	3	2	24	72
6	U-2	18	2804,4	8	3	4	4	3	31	124
7	U-3	25	7528,25	8	4	4	5	4	40	200
8	U-4	15	670,04	6	3	4	4	1	23	92
9	U-5	4	3590,69	6	4	4	1	3	31	31
10	U-6	18	2279,82	6	4	4	4	2	30	120
11	U-7	5	1277,18	3	3	4	2	2	15	30
12	M-5	16	934,11	1	3	4	4	1	8	32
13	M-6	13	2554,85	3	3	4	3	3	16	48
14	M-7	7	1210,8	3	3	4	2	2	15	30
15	M-8	4	5587,65	6	4	4	1	4	32	32
16	M-11	4	420	1	1	4	1	1	6	6
17	M-34	4	243,12	3	3	4	1	1	14	14
18	T-11	10	3297,6	3	3	4	3	3	16	48
19	T-22	10	6077,58	6	4	6	3	4	34	102
20	T-33	13	1147,28	3	3	4	3	2	15	45
21	T-34	19	1557,94	3	3	4	4	2	15	60
22	T-35	8	356,49	1	1	4	2	1	6	12
23	T-36	10	1969,65	3	3	4	3	2	15	45
24	TG-13	8	1445,17	3	3	4	2	2	15	30
25	TG-31	6	887,88	1	1	4	2	1	6	12
26	TG-32	4	824,8	1	1	4	1	1	6	6
27	R-4	5	496,54	1	1	4	2	1	6	12
28	R-5	4	1559,15	3	3	4	1	2	15	15
29	R-33	5	1322,31	3	3	4	2	2	15	30

Para la aplicación de la metodología de análisis de criticidad, se requiere tener información histórica del mantenimiento de las unidades de emergencia que se analizan, como: número de fallas, costos de mantenimiento, etc. Esta información se adquirió del departamento de mantenimiento de las unidades de emergencia, con la respectiva solicitud al primer jefe del Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cuenca, la misma que será utilizada para el análisis de criticidad con el fin de mejorar el mantenimiento.

Según la tabla de criticidad muestra a dos unidades de emergencia como más críticas ya que superan el 50% de la criticidad total. Siendo el valor como máximo a llegar de criticidad de 310, tenemos a U-3 que presenta un valor de 200 de criticidad que corresponden al 64,51% de criticidad, en este caso esta unidad de emergencia es la más crítica. Como segunda unidad critica que supera el 50% de criticidad es A-34, esta unidad tiene un valor de criticidad total de 160 que corresponde al 51,61 %.

4.5 Matriz de criticidad de las unidades de emergencia

Una vez que se dispone de la información necesaria para realizar el análisis de criticidad, se procede a realizar la matriz de criticidad para ello se utiliza la Tabla 4.11. En la Figura 4.6 se plantea una matriz de criticidad la cual nos permite ubicar a las unidades de emergencia en su respectivo cuadrante según sea el caso de su frecuencia de fallos y consecuencias de los fallos.

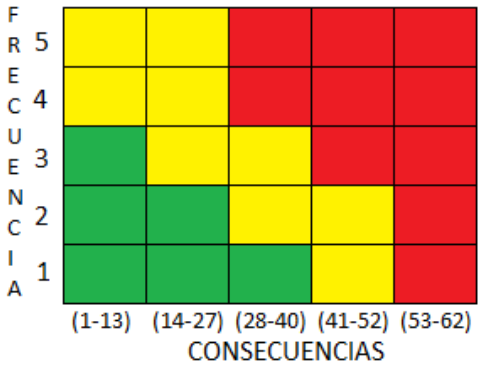


Figura 4.6: Matriz de Criticidad

Elaborado por: (Autor, 2017)

Para poder valorizar la matriz de criticidad se encuentra distribuida por tres diferentes colores los cuales indica la Figura 4.7.

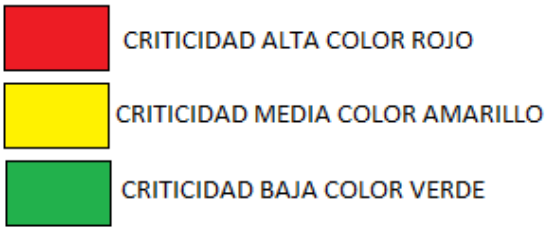


Figura 4.7: Valoración de la matriz de criticidad

Elaborado por: (Autor, 2017)

La Tabla 4.11 muestra la criticidad de los vehículos, la misma que determina que vehículo es el más crítico con un valor máximo de 200 puntos, al tener el vehículo una criticidad elevada, ubicaremos en el cuadrante de la tabla de criticidad que corresponda para determinar el nivel de criticidad que presenta esta unidad de emergencia. De igual manera se observa en las figuras de criticidad desde la 4-36 hasta la 4-64 en las cuales cada vehículo de emergencia ubica su nivel de criticidad según su respectivo calculo.

4.5.1 Calculo de la criticidad de U-3 - Vehículo de emergencia

Frecuencia de ocurrencia: 5 (presenta más de 20 fallos)

Consecuencia: 8*4 +4+4 = 40

Criticidad total: 5*40 = 200

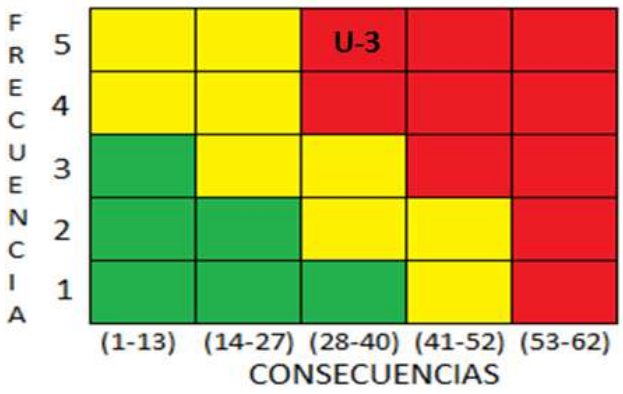


Figura 4.8: Matriz de criticidad de U-3, Criticidad alta color rojo

Elaborado por: (Autor, 2017)

4.5.2 Calculo de la criticidad de A-22 - Vehículo de emergencia

Frecuencia de ocurrencia: 4 (presenta entre 15-20 fallos)
Consecuencia: 6*3 +4+2 = 24
Criticidad total: 4*24 = 96

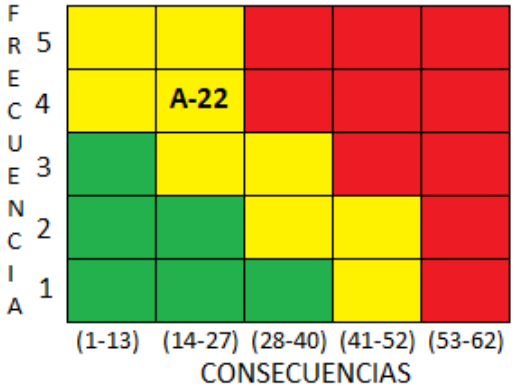


Figura 4.9: Matriz de criticidad de A-22, Criticidad media color amarillo

Elaborado por: (Autor, 2017)

4.5.3 Calculo de la criticidad de R-33 - Vehículo de emergencia

Frecuencia de ocurrencia: 2 (presenta entre 5-9 fallas)
Consecuencia: 3*3 +2+4 = 15
Criticidad total: 2*15 = 30

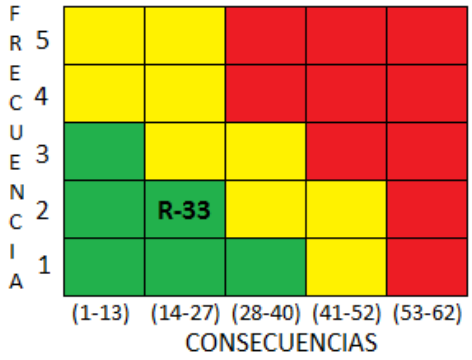


Figura 4.10: Matriz de criticidad de R-33, Criticidad baja color verde

Elaborado por: (Autor, 2017)

La Tabla 4.12 se muestra el resultado de criticidad de las unidades de emergencia en la que cada unidad está representada por su respectivo color que indica el nivel de criticidad que posee.

Tabla 4.12: Resultado de criticidad de las unidades de emergencia

Ítem	Código	Función	Criticidad	
1	A-11	Ambulancia	Criticidad Baja	
2	A-22	Ambulancia	Criticidad Media	
3	A-25	Ambulancia	Criticidad Media	
4	A-34	Ambulancia	Criticidad Alta	
5	U-1	Ambulancia	Criticidad Media	
6	U-2	Ambulancia	Criticidad Alta	
7	U-3	Ambulancia	Criticidad Alta	
8	U-4	Ambulancia	Criticidad Media	
9	U-5	Ambulancia	Criticidad Baja	
10	U-6	Ambulancia	Criticidad Alta	
11	U-7	Ambulancia	Criticidad Media	
12	M-5	Abastecimiento	Criticidad Media	
13	M-6	Abastecimiento	Criticidad Media	
14	M-7	Abastecimiento	Criticidad Baja	
15	M-8	Abastecimiento	Criticidad Baja	
16	M-11	Abastecimiento	Criticidad Baja	
17	M-34	Abastecimiento	Criticidad Baja	
18	T-11	Tanquero	Criticidad Media	
19	T-22	Tanquero	Criticidad Media	
20	T-33	Tanquero	Criticidad Media	
21	T-34	Tanquero	Criticidad Media	
22	T-35	Tanquero	Criticidad Baja	
23	T-36	Tanquero	Criticidad Media	
24	TG-13	Rescate	Criticidad Baja	
25	TG-31	Rescate	Criticidad Baja	
26	TG-32	Rescate	Criticidad Baja	
27	R-4	Rescate	Criticidad Baja	
28	R-5	Rescate	Criticidad Baja	
29	R-33	Rescate	Criticidad Baja	

Fuente: (Autor, 2017)

4.6 Análisis de Modos de Fallo y Efectos (AMFE)

Una vez que se ha aplicado el análisis de criticidad, este dio como resultado 4 vehículos catalogados como críticos los cuales están clasificados según su función como son:

- Ambulancias
- Vehículos de abastecimiento
- Vehículos tanqueros
- Vehículos de rescate

Luego de definir cuáles son las unidades más críticas, el método de RCM indica que se debe realizar un análisis AMFE (Análisis de Modos de Fallos y Efectos), en el caso del presente estudio se realizara de las cuatro funciones que ejercen cada unidad de emergencia.

Para analizar los modos de fallo y efectos en nuestro estudio se plantea lo siguiente:

- Funciones
- Fallos Funcionales
- Circunstancias (Modos de fallo)
- Causas y consecuencias

Los mismos que sirven para el cálculo de la criticidad de los modos de fallo (CR) utilizando la fórmula de la ecuación 6.

Con este análisis de criticidad, se consigue tener un listado de los elementos con un parámetro de criticidad (CR) asociado y se podrá realizar un plan de mantenimiento personalizado a cada una de las unidades de emergencia

El objetivo final del análisis AMFE es que tengamos todos los posibles fallos controlados, habiendo actuado para disminuir las causas críticas que provocan grandes costos e inoperatividad de las unidades de emergencia.

4.6.1 Funciones de los vehículos de emergencia

Dentro de las siete cuestiones básicas que plantea RCM se tiene que el primer punto es cuales son las funciones y estándares de uso apropiados, para ello se da a conocer en las tablas 4.13; 4.14; 4.15 y 4.16, las funciones que desempeñan los de vehículos de emergencia dentro del cuerpo de Bomberos

Tabla 4.13: Funciones de las Ambulancias

	Funciones de las Ambulancias
1.	Trasladar personas enfermas, lesionadas, heridas, rescatadas para que reciban atención médica.
2.	Garantizar el funcionamiento de los indicadores de emergencia (luces y sirenas) para una asistencia de carácter urgente
3.	Transportar personal y equipo para bridar soporte a pacientes

Fuente: (Autor, 2017)

Tabla 4.14: Funciones de los vehículos Tanqueros

Funciones de los vehículos Tanqueros
1. Contener agua para combatir incendios
2. Transportar los equipos y herramientas necesarios para combatir el fuego
3. Garantizar el funcionamiento de los indicadores de emergencia (luces y sirenas) para una asistencia de carácter urgente
4. Garantizar un caudal de bombeo constante de agua
5. Regular la presión adecuada de agua dependiendo de las necesidades de la emergencia

Fuente: (Autor, 2017)

Tabla 4.15: Funciones de los vehículos de Abastecimiento

Funciones de los vehículos de Abastecimiento
1. Contener y transportar grandes volúmenes de agua para el abastecimiento a vehículos de primera respuesta durante una emergencia
2. Garantizar el funcionamiento de los indicadores de emergencia (luces y sirenas) para una asistencia de carácter urgente
3. Abastecer con un flujo determinado, la cantidad de agua necesaria según la emergencia lo requiera
4. Regular la presión adecuada de agua dependiendo de las necesidades de la emergencia

Fuente: (Autor, 2017)

Tabla 4.16: Funciones de los vehículos de Rescate

Funciones de los vehículos de Rescate
1. Transportar los equipos necesarios para el rescate de victimas
2. Utilizar luces y sirenas para acudir al rescate
3. Mover torres de iluminación
4. Poseer herramientas Holmatro (Herramientas Hidráulicas) para rescate de personas (Movimiento de chapa metálica)
5. Utilizar la súper wincha para rescate

Fuente: (Autor, 2017)

4.6.2 Fallos funcionales de los vehículos de emergencia

Para que los vehículos de emergencia no realicen sus funciones dentro del cuerpo de Bomberos, se debe a la ocurrencia de un fallo, para ello es importante identificar qué tipos de fallo pueden aparecer, para poder aplicar un plan de mantenimiento adecuado. En las Tablas 4.17; 4.18; 4.19 y 4.20 se observan los posibles fallos funcionales de los vehículos de emergencia.

Tabla 4.17: Funciones y Fallos Funcionales de las ambulancias

FUNCIONES	FALLOS FUNCIONALES
Trasladar personas enfermas, lesionadas, heridas, rescatadas para que reciban atención médica.	La unidad de emergencia no se encienda.
	La unidad de emergencia se avería en el trayecto de su función
	Neumáticos averiados
	Neumáticos averiados
Garantizar el funcionamiento de los indicadores de emergencia (luces y sirenas) para una asistencia de carácter urgente	Las sirenas no emiten sonido
	Las luces no encienden
	Iluminación insuficiente
	Sonido insuficiente
Transportar personal y equipo para bridar soporte a pacientes	Equipo incompleto
	Equipo Contaminado.
	Inexistencia del personal capacitado

Fuente: (Autor, 2017)

Tabla 4.18: Funciones y Fallos Funcionales de los vehículos Tanqueros

FUNCIONES	**FALLOS FUNCIONALES**
Contener agua en su tanque para trasportar a los lugares de la emergencia	Perdida de agua debido a fugas en el tanque
	Bajo volumen de agua en el tanque
Transportar los equipos y herramientas necesarios para combatir el fuego	Vehículo de primera respuesta no enciende
	Herramientas en mal estado o inexistentes
	La unidad de emergencia se averíe en el trayecto de su función
	Neumáticos Averiados
Garantizar el funcionamiento de los indicadores de emergencia (luces y sirenas) para una asistencia de carácter urgente	Las sirenas no emiten sonido
	Las luces no encienden
	Iluminación insuficiente
	Sonido insuficiente
Garantizar un caudal de bombeo constante de agua	Caudal de agua minino
	Ningún caudal de agua por la tubería
Regular la presión adecuada de agua dependiendo de las necesidades de la emergencia	No regula la presión requerida por el bombero
	Perdida de presión del agua

Fuente: (Autor, 2017)

Tabla 4.19: Funciones y Fallos Funcionales de los vehículos de Abastecimiento

FUNCIONES	FALLOS FUNCIONALES
Transportar los equipos y herramientas necesarios para combatir el fuego	El vehículo de abastecimiento no enciende
	La unidad de emergencia se averíe en el trayecto de su función
	Neumáticos Averiados
	No es capaz de contener el agua en el tanque
	Acoples rápidos NH para el abastecimiento rotos
Garantizar el funcionamiento de los indicadores de emergencia (luces y sirenas) para una asistencia de carácter urgente	Las sirenas no emiten sonido
	Las luces no encienden
	Iluminación insuficiente
	Sonido insuficiente
Abastecer con un flujo determinado la cantidad de agua según la emergencia lo requiera	Caudal de agua minino
	Ningún caudal de agua por la tubería
Regular la presión adecuada de agua dependiendo de las necesidades de la emergencia	No regula la presión requerida por el bombero
	Perdida de presión del agua

Fuente: (Autor, 2017)

Tabla 4.20: Funciones y Fallos Funcionales de los vehículos de Rescate

FUNCIONES	FALLOS FUNCIONALES
Transportar los equipos necesarios para el rescate de victimas	La unidad de emergencia no se encienda.
	La unidad de emergencia se avería en el trayecto de su función
	Equipos en mal estado o inexistentes
	Neumáticos Averiados
Garantizar el funcionamiento de los indicadores de emergencia (luces y sirenas) para una asistencia de carácter urgente	Las sirenas no emiten sonido
	Las luces no encienden
	Sonido Insuficiente
	Iluminación insuficiente
Proporcionar la iluminación adecuada atreves de torres de iluminación	Incapaz de mover la torre de iluminación
	Lámparas encienden con baja intensidad
	No encienden las lámparas
Poseer herramientas Holmatro (Herramientas Hidráulicas) para rescate de personas (Movimiento de chapa metálica)	El motor hidráulico no encienda
	Motor con ausencia de líquido hidráulico
	Herramientas holmatro presentan perdida de potencia
Utilizar la súper wincha para rescate	Súper wincha no enciende
	Perdida de potencia de la súper wincha

Fuente: (Autor, 2017)

4.6.3 Modos de Fallo de los vehículos de emergencia

Una vez identificados los fallos funcionales, el siguiente paso es identificar bajo qué circunstancias pueden ocurrir dichos fallos. Por tanto, el modo de fallo es el fallo funcional más la circunstancia bajo la que ha ocurrido.

Los modos de fallo de las unidades de emergencia se encuentran desarrolladas en las Tablas: 4.21; 4.22; 4.23 y 4.24, para posteriormente continuar con el análisis respectivo que son el análisis de las causas que producen los modos de fallo de dichas unidades.

Tabla 4.21: Modos de Fallo de las Ambulancias

	MODOS DE FALLO	
FUNCIONES	FALLOS FUNCIONALES	CIRCUNSTANCIA
Trasladar personas enfermas, lesionadas, heridas, rescatadas para que reciban atención médica.	La unidad de emergencia no se encienda.	Accionando el switch del vehículo
	La unidad de emergencia se avería en el trayecto de su función	En tránsito se avería un neumático
		Transitando se interrumpe el suministro de combustible
		Circulando sufre un siniestro
		En plena marcha se avería el sistema eléctrico
	Neumáticos averiados	Presentando insuficiente aire en los neumáticos
		Desgastando los neumáticos de manera irregular
Garantizar el funcionamiento de los indicadores de emergencia (luces y sirenas) para una asistencia de carácter urgente	Las sirenas no emiten sonido	Accionando los mandos de la sirena
		Circulando se apagan las sirenas
	Las luces no encienden	Transitando se apagan las luces
		Accionando el interruptor de las luces
	Iluminación insuficiente	Iluminando para acudir a la emergencia
	Sonido insuficiente	Sonando las sirenas
Transportar personal y equipo para bridar soporte a pacientes	Equipo incompleto	Salvaguardando al paciente
	Equipo Contaminado.	Utilizando el equipo adecuado
	Inexistencia del personal capacitado	Brindando atención al paciente

Fuente: (Autor, 2017)

Tabla 4.22: Modos de Fallo de los vehículos Tanqueros

	MODOS DE FALLO	
FUNCIONES	**FALLOS FUNCIONALES**	**CIRCUNSTANCIA**
Contener agua en su tanque para trasportar a los lugares de la emergencia	Perdida de agua debido a fugas en el tanque	Cargando el agua en el tanque
		Teniendo el agua almacenada en el tanque
		Transportando el agua al lugar de la emergencia
	Bajo volumen de agua en el tanque	Revisando el nivel de agua
Transportar los equipos y herramientas necesarios para combatir el fuego	Vehículo de primera respuesta no enciende	Accionando el switch del vehículo
	Herramientas en mal estado o inexistentes	Utilizando el equipo en la escena
	La unidad de emergencia se averíe en el trayecto de su función	Movilizando se avería un neumático
		Transitando se interrumpe el suministro de combustible
		Circulando sufre un siniestro
		Cuando el sistema eléctrico se interrumpe
	Neumáticos Averiados	Desgastando los neumáticos de manera irregular
		Presentando insuficiente aire en los neumáticos
Garantizar el funcionamiento de los indicadores de emergencia (luces y sirenas) para una asistencia de carácter urgente	Las sirenas no emiten sonido	Accionando los mandos de la sirena
		Circulando se apagan las sirenas
	Las luces no encienden	Transitando se apagan las luces
		Accionando el interruptor de las luces
	Iluminación insuficiente	Iluminando para acudir a la emergencia
	Sonido insuficiente	Sonando las sirenas
Garantizar un caudal de bombeo constante de agua	Caudal de agua minino	Regulando el caudal de agua
		Girando la bomba a sus máximas RPM
	Ningún caudal de agua por la tubería	Girando la bomba a sus máximas y mínimas RPM
Regular la presión adecuada de agua dependiendo de las necesidades de la emergencia	No regula la presión requerida por el bombero	Regulando a la presión requerida
		Girando la bomba a sus máximas y mínimas RPM
	Perdida de presión del agua	Girando la bomba a sus máximas y mínimas RPM

Fuente: (Autor, 2017)

Tabla 4.23: Modos de Fallo de los vehículos de Abastecimiento

	MODOS DE FALLO	
FUNCIONES	**FALLOS FUNCIONALES**	**CIRCUNSTANCIA**
Transportar los equipos y herramientas necesarios para combatir el fuego	El vehículo de abastecimiento no enciende	Accionando el switch del vehículo
	La unidad de emergencia se averíe en el trayecto de su función	Movilizando se avería un neumático
		Transitando se queda sin combustible
		Cuando el sistema eléctrico se interrumpe
		Circulando el vehículo sufre un siniestro
	Neumáticos Averiados	Desgastando los neumáticos de manera irregular
		Presentando insuficiente aire en los neumáticos
	No es capaz de contener el agua en el tanque	Transportando el agua al lugar de la emergencia
		Conteniendo agua en la estación
	Acoples rápidos NH para el abastecimiento rotos	Abasteciendo de agua al vehículo de primera respuesta
Garantizar el funcionamiento de los indicadores de emergencia (luces y sirenas) para una asistencia de carácter urgente	Las sirenas no emiten sonido	Circulando se apagan las sirenas
		Accionando los mandos de la sirena
	Las luces no encienden	Transitando se queman las luces
		Accionando el interruptor de las luces
	Iluminación insuficiente	Iluminando para acudir a la emergencia
	Sonido insuficiente	Sonando las sirenas
		Accionando los actuadores del sonido
Abastecer con un flujo determinado la cantidad de agua según la emergencia lo requiera	Caudal de agua minino	Regulando el caudal de agua
		Girando la bomba a sus máximas RPM
	Ningún caudal de agua por la tubería	Girando la bomba a sus máximas y mínimas RPM
Regular la presión adecuada de agua dependiendo de las necesidades de la emergencia	No regula la presión requerida por el bombero	Regulando a la presión requerida
		Girando la bomba a sus máximas y mínimas RPM
	Perdida de presión del agua	Girando la bomba a sus máximas y mínimas RPM

Fuente: (Autor, 2017)

Tabla 4.24: Modos de Fallo de los vehículos de Rescate

	MODOS DE FALLO	
FUNCIONES	**FALLOS FUNCIONALES**	**CIRCUNSTANCIA**
Transportar los equipos necesarios para el rescate de victimas	La unidad de emergencia no se encienda.	Accionando el switch del vehículo
	La unidad de emergencia se avería en el trayecto de su función	Movilizando se avería un neumático
		Circulando el vehículo sufre un siniestro
		Cuando el sistema eléctrico se interrumpe
		Transitando se queda sin combustible
	Equipos en mal estado o inexistentes	Utilizando las herramientas de manera no apropiada
	Neumáticos Averiados	Desgastando los neumáticos de manera irregular
		Presentando insuficiente aire en los neumáticos
Garantizar el funcionamiento de los indicadores de emergencia (luces y sirenas) para una asistencia de carácter urgente	Las sirenas no emiten sonido	Circulando se apagan las sirenas
		Accionando los mandos de la sirena
	Las luces no encienden	Transitando se averían las luces
		Accionando el interruptor de las luces
	Sonido Insuficiente	Sonando las sirenas
		Accionando los actuadores del sonido
	Iluminación insuficiente	Iluminando para acudir a la emergencia
Proporcionar la iluminación adecuada atreves de torres de iluminación	Incapaz de mover la torre de iluminación	Accionando los controles de iluminación
	Lámparas encienden con baja intensidad	Iluminando para cubrir una escena
	No encienden las lámparas	Pulsando los controles de encendido
Poseer herramientas Holmatro (Herramientas Hidráulicas) para rescate de personas (Movimiento de chapa metálica)	El motor hidráulico no encienda	Pulsando actuador de encendido
	Motor con ausencia de líquido hidráulico	Revisando nivel de líquido hidráulico
	Herramientas holmatro presentan perdida de potencia	Estricando material de chapa metálica
Utilizar la súper wincha para rescate	Súper wincha no enciende	Accionando los controles de la súper wincha
	Perdida de potencia de la súper wincha	Halando elementos indispuestos

Fuente: (Autor, 2017)

En las Tablas 4.25; 4.26; 4.27 y 4.28, se presenta la función, el fallo funcional, el modo de fallo y los efectos que éstos provocan en los vehículos de emergencia; las mismas que son evaluadas para establecer las consecuencias de los efectos del fallo y poder instaurar las tareas, sean preventivas o correctivas con las frecuencias que cada una amerite, junto con el especialista encargado de contrarrestar los efectos del fallo, que en este caso es el Mecánico automotriz de turno.

Para instaurar las tareas preventivas o correctivas se seleccionó los modos de fallo con criticidad (CR) elevada que serán los que debamos solventar de forma oportuna, para este estudio se seleccionó un valor de CR = 200, este valor sirve como referencia para priorizar los modos de fallo y buscar soluciones como establece la (Norma Internacional UNE-EN-60812-2008) de Análisis de Modos de Fallo y Efectos (AMFE)

CR $\geq$ 200 se considera un valor de criticidad alto por el cual se necesita priorizar estos modos de fallas y aplicar nuevas tareas preventivas para poder disminuir este valor y mejorar la criticidad.

CR < 200 este valor se encuentra dentro de los fallos normales y comunes que presenta un vehículo de emergencia.

Tabla 4.25: Análisis de Modos de Fallo y Efectos (AMFE) de las Ambulancias.

FUNCIONES	FALLOS FUNCIONALES	CIRCUNSTANCIA	CAUSAS	G	P	E	CR	ACCIONES PROPUESTAS
Trasladar personas enfermas, lesionadas, heridas, rescatadas para que reciban atención médica.	La unidad de emergencia no se encienda.	Accionando el switch del vehículo	Inexistencia del suministro de combustible	3	4	4	48	
			Sistema de encendido averiado (motor de arranque, alternador, carga de batería)	6	6	6	216	Revisar el sistema de encendido cada 10000 Km.
			Sistema de inyección averiado (inyectores, bujías, cables de bujías)	6	6	6	216	Realizar un ABC del motor cada 10000 Km.
			Contacto eléctrico del switch averiado	6	3	5	90	
			Bomba de combustible averiada	7	5	5	175	
	La unidad de emergencia se avería en el trayecto de su función	En tránsito se avería un neumático	Geometría de la calzada	5	6	4	120	
			Neumáticos desgastados	7	4	3	84	
		Transitando se interrumpe el suministro de combustible	Medidor de combustible defectuoso	4	3	3	36	
			Inobservancia del conductor	6	6	4	144	
			Inexistencia de orden para carga de combustible	4	6	3	72	
		Circulando sufre un siniestro	Inobservancia del conductor	6	6	3	108	
			Sistemas del vehículo averiado (frenos, dirección, suspensión)	5	5	4	100	
			Inobservancia del Vehículo contrario	8	7	7	392	ABC del tren de fuerza motriz cada 10000 Km.
		En plena marcha se avería el sistema eléctrico	Fusible quemado	6	4	5	120	
			Contacto eléctrico impreciso (sucios, roto, cables sin tensión)	6	3	6	108	

			Cables desconectados (cables del distribuidor, cables de la bobina, sockets de los sensores.)	6	3	6	108	
	Neumáticos averiados	Presentando insuficiente aire en los neumáticos	Neumáticos inoperativos (desgastados, endurecidos, rotos, presentan desgaste no uniforme)	5	5	6	150	
			Neumáticos averiados con (clavos, vidrios, piedras filosas, latas.)	6	5	6	180	
			Insuficiencia de aire en los neumáticos	4	6	6	144	
		Desgastando los neumáticos de manera irregular	Vehículo desalineado	7	6	8	336	Alinear al vehículo cada cambio de (neumáticos, piezas que intervengan en la alineación.)
			Presenta juego en el neumático debido a (rodillos en mal estado, tirantearía de la dirección con holgura, bujes deteriorados)	8	7	9	504	ABC del tren delantero y posterior cada 10000 Km
Garantizar el funcionamiento de los indicadores de emergencia (luces y sirenas) para una asistencia de carácter urgente	Las sirenas no emiten sonido	Accionando los mandos de la sirena	Las sirenas no cumplen las especificaciones necesarias	4	3	3	36	
			Inexistencia o bajo suministro eléctrico en las sirenas por: (batería, alternador, cables de masa)	5	4	3	60	
		Circulando se apagan las sirenas	Corte del suministro eléctrico	7	4	5	140	
			Partes eléctricas quemadas (fusibles, cables, interruptores, sirenas.)	5	6	4	120	
	Las luces no encienden	Transitando se apagan las luces	Partes eléctricas quemadas (luces, fusibles, cables cortados)	5	6	4	120	
			Inexistencia de suministro eléctrico en las luces	6	5	4	120	
		Accionando el interruptor de las luces	Las luces no cumplen las especificaciones necesarias	3	3	4	36	
			Partes eléctricas quemadas (fusibles, cables, lunas, interruptores.)	5	6	5	150	

	Iluminación insuficiente	Iluminando para acudir a la emergencia	Cables inoperativos presentando falsos contactos de los cables	4	5	4	80	
			Luces de mala calidad o deterioradas (sucias, trizadas, con agua en el interior.)	3	4	4	48	
			Falta de suministro eléctrico (batería, cables, alternador.)	6	5	4	120	
	Sonido insuficiente	Sonando las sirenas	Falta de suministro eléctrico (batería, cables, alternador.)	6	5	4	120	
			Sirenas de mala calidad	3	4	4	48	
			Cables inoperativos presentando falsos contactos de los cables	4	4	3	48	
Transportar personal y equipo para bridar soporte a pacientes	Equipo incompleto	Salvaguardando al paciente	Perdida de equipos	4	6	6	144	
			Inexistencia de inventario de equipos	3	3	5	45	
			Equipos rotos y/o inservibles	5	6	6	180	
	Equipo Contaminado.	Utilizando el equipo adecuado	Inobservancia de las directrices sobre el uso de equipos de emergencia	4	5	6	120	
			Falta de suministros de descontaminación (agua, alcohol, sablón, cloro, apósitos, jabón.)	3	4	4	48	
	Inexistencia del personal capacitado	Brindando atención al paciente	Personal en otra emergencia (incendios, rescates, inundaciones, desastres naturales.)	4	7	5	140	
			Permisos brindados sin remplazos	3	4	5	60	

Elaborado por: (Autor, 2017)

Tabla 4.26: Análisis de Modos de Fallo y Efectos (AMFE) de los Tanqueros.

FUNCIONES	FALLOS FUNCIONALES	CIRCUNSTANCIA	CAUSAS	G	P	E	CR	ACCIONES PROPUESTAS
Contener agua en su tanque para trasportar a los lugares de la emergencia	Perdida de agua debido a fugas en el tanque	Cargando el agua en el tanque	Sistema de carga averiado (acoples con ajuste inadecuado, tanque deteriorado, bomba en mal estado)	4	5	4	80	
		Teniendo el agua almacenada en el tanque	Presencia de fugas por (corrosión del agua en el tanque, golpes del tanque, cañerías defectuosas)	5	6	3	90	
		Transportando el agua al lugar de la emergencia	Tanque deteriorado por golpes o por corrosión del agua	3	4	4	48	
			Acoples al tanque con ajuste inadecuado	3	6	4	72	
	Bajo volumen de agua en el tanque	Revisando el nivel de agua	Tanque deteriorado por golpes o por corrosión del agua	3	5	3	45	
			Acoples al tanque con ajuste inadecuado	3	6	4	72	
			Carga de agua inadecuada	4	5	4	80	
			Medidor de nivel de agua inadecuado	4	3	4	48	
Transportar los equipos y herramientas necesarios para combatir el fuego	Vehículo de primera respuesta no enciende	Accionando el switch del vehículo	Sistema de encendido averiado (motor de arranque, alternador, batería)	6	6	6	216	Revisar el sistema de encendido cada 10000 Km.
			Sistema de inyección averiado (inyectores, bujías, cables de bujías)	6	6	6	216	Realizar un ABC del motor cada 10000 Km.
			Bomba de combustible averiada	7	5	5	175	
			Contacto eléctrico del switch averiado	6	3	5	90	
			Vehículo sin suministro de combustible	3	4	4	48	
	Herramientas en mal estado o inexistentes	Utilizando el equipo en la escena	Perdida de herramientas	6	6	4	144	
			Utilización de las herramientas de modo inadecuado	6	6	4	144	
			Demora en la reposición de herramientas perdidas	5	6	4	120	

	La unidad de emergencia se averíe en el trayecto de su función	Movilizando se avería un neumático	Neumáticos desgastados	7	4	3	84	
			Geometría de la calzada	5	6	4	120	
		Transitando se interrumpe el suministro de combustible	Medidor de combustible defectuoso	4	3	3	36	
			Conductor descuidado	6	6	4	144	
			Inexistencia de orden para carga de combustible	4	6	3	72	
		Circulando sufre un siniestro	Conductor despistado	6	6	3	108	
			Culpa externa	5	5	4	100	
			Sistemas del vehículo averiado (frenos, dirección, suspensión)	8	7	7	392	ABC de suspensión, dirección y frenos cada 10000 Km.
		Cuando el sistema eléctrico se interrumpe	Fusibles averiados	6	4	5	120	
			Cables desconectados como (cables del distribuidor, cables de la bobina, sockets de los sensores.)	6	3	6	108	
	Neumáticos Averiados	Desgastando los neumáticos de manera irregular	Vehículo desalineado	7	6	8	336	Alinear al vehículo cada cambio de (Neumáticos, piezas que intervengan en la alineación)
			Presenta juego en el neumático debido a (rodillos en mal estado, tirantearía de la dirección con holgura, bujes deteriorados)	8	7	9	504	ABC del tren delantero y posterior cada 10000 Km.
			Insuficiencia de aire en los neumáticos	4	5	6	120	
		Presentando insuficiente aire en los neumáticos	Neumáticos inoperativos (desgastados, endurecidos, rotos, presentan desgaste no uniforme)	5	5	6	150	
			Neumáticos averiados con (clavos, vidrios, piedras filosas, latas.)	6	5	6	180	
			Insuficiencia de aire en los neumáticos	4	6	6	144	

Garantizar el funcionamiento de los indicadores de emergencia (luces y sirenas) para una asistencia de carácter urgente	Las sirenas no emiten sonido	Accionando los mandos de la sirena	Las sirenas no cumplen las especificaciones necesarias	3	2	3	18	
			Inexistencia o bajo suministro eléctrico en las sirenas por: (batería, alternador, cables de masa.)	3	3	3	27	
		Circulando se apagan las sirenas	Corte del suministro eléctrico	5	5	4	100	
			Partes eléctricas quemadas (fusibles, cables, interruptores, sirenas.)	5	4	4	80	
	Las luces no encienden	Transitando se apagan las luces	Partes eléctricas quemadas (luces, fusibles, cables cortados)	5	4	4	80	
			Las luces no cumplen las especificaciones necesarias (calidad, voltaje necesario)	4	2	3	24	
		Accionando el interruptor de las luces	Inexistencia de suministro eléctrico en las luces	4	4	4	64	
			Partes eléctricas quemadas (fusibles, cables, lunas, interruptores.)	5	4	3	60	
	Iluminación insuficiente	Iluminando para acudir a la emergencia	Cables inoperativos presentando falsos contactos de los cables	4	4	4	64	
			Luces de mala calidad o deterioradas (sucias, trizadas, con agua en el interior.)	4	4	3	48	
			Batería con insuficiencia de carga (batería, cables, alternador.)	5	5	4	100	
	Sonido insuficiente	Sonando las sirenas	Falta de suministro eléctrico (batería, cables, alternador.)	5	5	4	100	
			Sirenas de mala calidad	5	3	3	45	
			Cables inoperativos presentando falsos contactos de los cables	4	4	4	64	
			Regulador averiado	5	4	5	100	

Garantizar un caudal de bombeo constante de agua	Caudal de agua minino	Regulando el caudal de agua	Cantidad de agua inadecuada	3	3	3	27	
			Fugas en la cañería de salida	5	6	4	120	
			Obstrucción de ductos (tubería de salida, Tubería de ingreso)	6	4	5	120	
		Girando la bomba a sus máximas RPM	Fugas en mangueras	5	6	5	150	
			Nivel insuficiente de agua	5	3	3	45	
			Obstrucción del ducto de circulación del agua	4	4	4	64	
			Medidor de caudal averiado	5	3	4	60	
	Ningún caudal de agua por la tubería	Girando la bomba a sus máximas y mínimas RPM	Bomba dañada	7	6	6	252	Revisar la Bomba cada 10000 Km.
			Fusible averiado	4	3	5	60	
			Mandos de la bomba deteriorados	6	3	4	72	
			Obstrucción del ducto de circulación del agua	5	4	3	60	
			Fugas de agua por (cañerías, tanque, acoples de unión)	6	6	5	180	
Regular la presión adecuada de agua dependiendo de las necesidades de la emergencia	No regula la presión requerida por el bombero	Regulando a la presión requerida	Perilla de regulación defectuosa	5	3	3	45	
			Fugas en mangueras	6	6	5	180	
		Girando la bomba a sus máximas y mínimas RPM	Bomba dañada	7	4	5	140	
			Fugas en mangueras	6	6	5	180	
			Nivel insuficiente de agua	4	4	3	48	
			Obstrucción del ducto por donde circula el agua	6	2	4	48	
			Diámetro de mangueras inadecuado	5	3	4	60	
	Perdida de presión del agua	Girando la bomba a sus máximas y mínimas RPM	Bomba dañada	6	5	6	180	
			Fugas en mangueras	6	6	5	180	
			Nivel insuficiente de agua	5	3	4	60	

			Obstrucción del ducto por donde circula el agua	6	3	4	72	
			Perilla de regulación defectuosa	5	3	3	45	

Elaborado por: (Autor, 2017)

Tabla 4.27: Análisis de Modos de Fallo y Efectos (AMFE) de los Vehículos de Abastecimiento.

FUNCIONES	FALLOS FUNCIONALES	CIRCUNSTANCIA	CAUSAS	G	P	E	CR	Acciones Propuestas
Transportar los equipos y herramientas necesarios para combatir el fuego	El vehículo de abastecimiento no enciende	Accionando el switch del vehículo	Sistema de encendido averiado (motor de arranque, batería, alternador.)	7	6	6	252	Inspección del sistema de encendido cada 10000 Km.
			Vehículo sin suministro de combustible	4	3	4	48	
			Contacto eléctrico del switch averiado	4	3	3	36	
			Sistema de inyección averiado (inyectores, bujías, cables de bujías)	6	6	8	288	Mejorar calidad de combustible e Inspección del sistema de inyección cada 10000 Km.
			Bomba de combustible averiada	6	5	6	180	
	La unidad de emergencia se averíe en el trayecto de su función	Movilizando se avería un neumático	Neumáticos desgastados	7	4	4	112	
			Geometría de la calzada	6	6	4	144	
		Transitando se queda sin combustible	Medidor de combustible defectuoso	3	4	3	36	
			Conductor descuidado	7	6	6	252	Concientizar a los conductores mediante charlas y capacitaciones.
			Inexistencia de orden para carga de combustible	3	6	3	54	

		Cuando el sistema eléctrico se interrumpe	Fusibles quemados	4	5	4	80	
			Cables desconectados como (cables del distribuidor, cables de la bobina, sockets de los sensores.)	3	6	4	72	
		Circulando el vehículo sufre un siniestro	Conductor despistado	7	6	6	252	Concientizar a los conductores mediante charlas y capacitaciones.
			Sistemas del vehículo averiado (frenos, dirección, suspensión)	8	8	8	512	Realizar ABC de (Suspensión, Dirección y Frenos) cada 10000 Km.
			Culpa externa (otro vehículo culpable)	6	6	7	252	Mantener al día los pagos de los seguros de las unidades de emergencia.
	Neumáticos Averiados	Desgastando los neumáticos de manera irregular	Vehículo desalineado	6	7	7	294	Alinear al vehículo dos veces al año o cada cambio de (neumáticos, o piezas que afecten la alineación)
			Presenta juego en el neumático debido a (rodillos en mal estado, tirantearía de la dirección con holgura, bujes deteriorados)	8	8	8	512	Realizar ABC del tren delantero y posterior del vehículo cada 10000 Km.
			Insuficiencia de aire en los neumáticos	5	6	4	120	
		Presentando insuficiente aire en los neumáticos	Neumáticos inoperativos (desgastados, endurecidos, rotos, presentan desgaste irregular)	6	4	5	120	
			Neumáticos averiados con (clavos, vidrios, piedras filosas, latas.)	5	5	6	150	
			Insuficiencia de aire en los neumáticos	5	4	4	80	
	No es capaz de contener el agua en el tanque	Transportando el agua al lugar de la emergencia	Presencia de fugas por ajuste inadecuado (llaves de paso, acoples)	4	5	4	80	
			Tanque deteriorado por golpes o por corrosión del agua	5	4	3	60	

		Conteniendo agua en la estación	Acoples al tanque con ajuste inadecuado	5	4	4	80	
			Carga de agua inadecuada	5	5	3	75	
			Acoples al tanque con ajuste inadecuado provocando fugas	6	4	3	72	
	Acoples rápidos NH para el abastecimiento rotos	Abasteciendo de agua al vehículo de primera respuesta	Caídas de los acoples NH que provocan que se rompan	6	4	3	72	
			Inadecuado almacenaje de los acoples	5	2	4	40	
			El uso inadecuado de los acoples NH	3	3	3	27	
Garantizar el funcionamiento de los indicadores de emergencia (luces y sirenas) para una asistencia de carácter urgente	Las sirenas no emiten sonido	Circulando se apagan las sirenas	Corte del suministro eléctrico	6	5	4	120	
			Partes eléctricas quemadas (fusibles, cables, interruptores, sirenas.)	4	4	5	80	
		Accionando los mandos de la sirena	Las sirenas no cumplen las especificaciones necesarias	3	3	4	36	
			Inexistencia o bajo suministro eléctrico en las sirenas por: (batería, alternador, cables de masa.)	3	4	4	48	
			Partes eléctricas quemadas (fusibles, cables, interruptores, sirenas.)	4	3	4	48	
	Las luces no encienden	Transitando se queman las luces	Partes eléctricas quemadas (luces, fusibles, cables rotos)	4	4	5	80	
			Las luces no cumplen las especificaciones necesarias (calidad, voltaje necesario)	4	3	4	48	
		Accionando el interruptor de las luces	Inexistencia de suministro eléctrico en las luces	4	3	4	48	
			Partes eléctricas quemadas (fusibles, cables, lunas, interruptores.)	4	4	4	64	
	Iluminación insuficiente	Iluminando para acudir a la emergencia	Cables inoperativos presentando falsos contactos en los cables	3	4	3	36	

			Luces de mala calidad o deterioradas (sucias, trizadas, con agua en el interior.)	3	3	2	18	
			Falta de suministro eléctrico (batería, cables, alternador.)	4	6	2	48	
	Sonido insuficiente	Sonando las sirenas	Sirenas de mala calidad	3	3	3	27	
			Falta de suministro eléctrico (batería, cables, alternador.)	4	6	3	72	
		Accionando los actuadores del sonido	Batería con ausencia de carga(alternador, cables, regulador)	4	5	3	60	
			Cables inoperativos presentando falsos contactos de los cables	3	3	3	27	
Abastecer con un flujo determinado la cantidad de agua según la emergencia lo requiera	Caudal de agua minino	Regulando el caudal de agua	Regulador averiado	5	3	3	45	
			Cantidad de agua inadecuada	4	3	3	36	
			Fugas en la cañería de salida	5	4	4	80	
			Obstrucción de ductos (tubería de salida, Tubería de ingreso)	4	3	4	48	
		Girando la bomba a sus máximas RPM	Fugas en mangueras	5	5	3	75	
			Nivel insuficiente de agua	5	3	3	45	
			Obstrucción del ducto de circulación	4	4	4	64	
			Medidor de caudal averiado	6	3	3	54	
	Ningún caudal de agua por la tubería	Girando la bomba a sus máximas y mínimas RPM	Bomba dañada	6	5	5	150	
			Fusible averiado	4	4	5	80	
			Mandos de la bomba deteriorados	5	3	4	60	
			Obstrucción del ducto de circulación del agua	4	3	3	36	
			Fugas de agua por (cañerías, tanque, acoples de unión)	5	4	4	80	
			Perilla de regulación defectuosa	5	3	4	60	

Regular la presión adecuada de agua dependiendo de las necesidades de la emergencia	No regula la presión requerida por el bombero	Regulando a la presión requerida	Fugas en mangueras	5	4	3	60	
		Girando la bomba a sus máximas y mínimas RPM	Bomba dañada	6	5	5	150	
			Fugas en mangueras	4	4	5	80	
			Nivel insuficiente de agua	3	2	4	24	
			Obstrucción del ducto de circulación	4	3	3	36	
			Diámetro de mangueras inadecuado	3	3	4	36	
	Perdida de presión del agua	Girando la bomba a sus máximas y mínimas RPM	Bomba dañada	6	5	5	150	
			Fugas en mangueras	4	4	4	64	
			Nivel insuficiente de agua	4	3	3	36	
			Obstrucción del ducto por donde circula el agua	4	4	4	64	
			Perilla de regulación defectuosa	4	2	3	24	

Elaborado por: (Autor, 2017)

Tabla 4.28: Análisis de Modos de Fallo y Efectos (AMFE) de los Vehículos de Rescate.

FUNCIONES	FALLOS FUNCIONALES	CIRCUNSTANCIA	CAUSAS	G	P	E	CR	Acciones Propuestas
Transportar los equipos necesarios para el rescate de victimas	La unidad de emergencia no se encienda.	Accionando el switch del vehículo	Sistema de encendido averiado (motor de arranque, batería, alternador.)	7	6	6	252	Inspección del sistema de encendido cada 10000 Km.
			Vehículo sin suministro de combustible	4	3	4	48	
			Contacto eléctrico del switch averiado	4	3	3	36	
			Sistema de inyección averiado (inyectores, bujías, cables de bujías)	6	6	8	288	Mejorar calidad de combustible e inspección del sistema de inyección cada 10000 Km.
			Bomba de combustible averiada	6	5	6	180	
	La unidad de emergencia se avería en el trayecto de su función	Movilizando se avería un neumático	Neumáticos desgastados	7	4	4	112	
			Geometría de la calzada	6	6	4	144	
		Circulando el vehículo sufre un siniestro	Chofer despistado	3	4	3	36	
			Sistemas del vehículo averiado (frenos, dirección, suspensión)	7	6	6	252	Realizar ABC de los sistemas (Dirección, Frenos y Suspensión) cada 10000 Km.
			Culpa externa (otro vehículo culpable)	3	6	3	54	
		Cuando el sistema eléctrico se interrumpe	Fusibles quemados	4	5	4	80	
			Cables desconectados como (cables del distribuidor, cables de la bobina, sockets de los sensores.)	3	6	4	72	
		Transitando se queda sin combustible	Medidor de combustible defectuoso	7	6	6	252	Inspección de fusibles y partes eléctricas, cada cambio de aceite.

			Chofer descuidado	8	8	8	512	Concientizar a los conductores mediante charlas y capacitaciones.
			Inexistencia de orden para carga de combustible	6	6	7	252	Pedir carga de combustible en horas laborables y con anterioridad.
	Equipos en mal estado o inexistentes	Utilizando las herramientas de manera no apropiada	Perdida de herramientas por descuido	5	2	4	40	
			Uso indebido de herramientas	4	3	3	36	
			Almacenaje inadecuado (húmedo, altas temperaturas)	3	2	3	18	
	Neumáticos Averiados	Desgastando los neumáticos de manera irregular	Vehículo desalineado	6	7	7	294	Alinear al vehículo dos veces al año, o cada cambio de piezas que afecten la alineación.
			Juego en neumático(rodillos en mal estado, tirantearía de la dirección con holgura, bujes deteriorados)	8	8	8	512	Realizar ABC del vehículo del tren delantero y posterior cada 10000 Km.
			Insuficiencia de aire en los neumáticos	5	6	4	120	
		Presentando insuficiente aire en los neumáticos	Neumáticos inoperativos (desgastados, endurecidos, rotos, presentan desgaste irregular)	6	4	5	120	
			Neumáticos averiados con (clavos, vidrios, piedras filosas, latas.)	5	5	6	150	
			Insuficiencia de aire en los neumáticos	5	4	4	80	
	Las sirenas no emiten sonido	Circulando se apagan las sirenas	Corte del suministro eléctrico	6	5	4	120	
				4	4	5	80	

			Partes eléctricas quemadas (fusibles, cables, interruptores, sirenas.)					
		Accionando los mandos de la sirena	Las sirenas no cumplen las especificaciones necesarias	3	3	4	36	
			Inexistencia o bajo suministro eléctrico en las sirenas por: (batería, alternador, cables de masa.)	3	4	4	48	
			Partes eléctricas quemadas (fusibles, cables, interruptores, sirenas.)	4	3	4	48	
Garantizar el funcionamiento de los indicadores de emergencia (luces y sirenas) para una asistencia de carácter urgente	Las luces no encienden	Transitando se averían las luces	Partes eléctricas quemadas (luces, fusibles, cables rotos)	4	4	5	80	
			Las luces no cumplen las especificaciones necesarias (calidad, voltaje necesario)	4	3	4	48	
		Accionando el interruptor de las luces	Inexistencia de suministro eléctrico en las luces	4	3	4	48	
			Partes eléctricas quemadas (fusibles, cables, lunas, interruptores.)	4	4	4	64	
	Sonido Insuficiente	Sonando las sirenas	Sirena de mala calidad	3	3	3	27	
			Falta de suministro eléctrico (batería, cables, alternador.)	4	6	3	72	
		Accionando los actuadores del sonido	Batería con ausencia de carga(alternador, cables, regulador)	4	5	3	60	
			Cables inoperativos presentando falsos contactos de los cables	3	3	3	27	
	Iluminación insuficiente	Iluminando para acudir a la emergencia	Cables inoperativos presentando falsos contactos en los cables	3	4	3	36	
			Luces de mala calidad o deterioradas (sucias, trizadas, con agua en el interior.)	3	3	2	18	
			Falta de suministro eléctrico (batería, cables, alternador.)	4	6	2	48	
Proporcionar la iluminación			Baterías agotadas	4	3	4	48	

adecuada atreves de torres de iluminación	Incapaz de mover la torre de iluminación	Accionando los controles de iluminación	Controles defectuosos	3	3	3	27	
			Pedestal de iluminación golpeado	3	2	3	18	
	Lámparas encienden con baja intensidad	Iluminando para cubrir una escena	Sistema eléctrico deteriorado (batería, luces húmedas, lunas trizadas, alternador)	4	4	5	80	
			Falsos contactos en cables de conexión	3	4	4	48	
	No encienden las lámparas	Pulsando los controles de encendido	Ausencia de suministro eléctrico	4	4	5	80	
			Controles defectuosos	3	3	3	27	
			Lámparas de iluminación averiadas	3	3	5	45	
Poseer herramientas Holmatro (Herramientas Hidráulicas) para rescate de personas (Movimiento de chapa metálica)	El motor hidráulico no encienda	Pulsando actuador de encendido	Suministro de combustible agotado	3	2	5	30	
			Actuador de encendido averiado	3	2	4	24	
	Motor con ausencia de líquido hidráulico	Revisando nivel de líquido hidráulico	Cañerías hidráulicas rotas	4	5	5	100	
			Retenes deteriorados	3	4	6	72	
			Descuido del operario	6	5	4	120	
	Herramientas holmatro presentan perdida de potencia	Estricando material de chapa metálica	Cañerías hidráulicas rotas	5	5	6	150	
			Ausencia del líquido Hidráulico	4	4	5	80	
			Cuidado inadecuado (húmedo, altas temperaturas, impurezas)	4	3	4	48	
			Acoples de las cañerías con avería presentando fugas	4	5	6	120	
Utilizar la súper wincha para rescate	Súper wincha no enciende	Accionando los controles de la súper wincha	Ausencia de suministro eléctrico (Cables rotos, fusible quemado)	4	4	5	80	
			Interruptor de encendido averiado	3	3	4	36	
	Perdida de potencia de la súper wincha	Halando elementos indispuestos	Baterías agotadas	5	3	5	75	
			Falsos contactos en cables de conexión	3	2	3	18	

Elaborado por: (Autor, 2017)

CONCLUSIONES

El cálculo de la tasa de fallos realizado con el historial de mantenimiento de la institución durante el año 2015 y hasta junio del 2016, determina que la unidad de emergencia que presenta mayor número de fallos es la ambulancia con código U-3 y placas AMA-1009 que presenta en este tiempo de estudio 25 fallos, con un costo de 7528,25 dólares.

Previo al análisis de aplicación de la metodología RCM, se determinaron las funciones que cumple cada unidad de emergencia para realizar un análisis bajo curvas de Pareto el cual analizó el 20 % de las fallas que ocupa el 80% de los costos generados durante los 18 meses analizados, dando como resultado que las ambulancias U-3, A-34, U-5, U-2, U-6. Son elementos prioritarios ya que el 60% de los fallos suponen el 80% de los costos.

Como complemento para el análisis de la metodología RCM se analizan diagramas de weibull de las diferentes unidades de emergencia, en el cual, según el análisis de beta (β) se tiene como resultado unidades con mortalidad infantil, significando que las unidades A-25, A-34, U-2, U-3, U-7, M-5, T-33, T-35, han empezado con una alta tasa de fallos al momento de ejercer las funciones para las cuales fueron diseñadas.

Dentro de los indicadores de mantenimiento se calcula la disponibilidad de cada unidad de emergencia, dando como resultado 3 vehículos con una disponibilidad menor al 70% las cuales son: A-22 con una disponibilidad del 0,64 %, A-34 con una disponibilidad de 0,60% y U-3 con una disponibilidad de 0,65%. Estas unidades de emergencia ameritan un cambio en su respectiva gestión de mantenimiento que permita aumentar su disponibilidad de operación.

Previo el análisis de la aplicación de la metodología RCM, se determinaron los vehículos críticos del BCBVC, resaltando a 4 unidades con riesgo alto, que son; U-3, A-34, U-2, U-6. 12 unidades de emergencia con riesgo medio que son: T-36, T-34, T-33, T-22, T-11, M-6, M-5, U-7, U-4, U-1, A-22, A-21. y 13 unidades de emergencia

con riesgo bajo que son: A-11, U-5, M-7, M-8, M-11, M-34, T-35, TG-13, TG-31, TG-32, R-4, R-5, R-33.

En el proceso de aplicación de la metodología RCM, en base a los datos registrados en el software de mantenimiento, con la participación del personal del taller automotriz y maquinistas de las unidades de emergencia, se realizó el Análisis de Modos de Fallo y Efectos (AMFE) de las unidades de emergencia según la función que cumple cada unidad. De este análisis se obtuvo que la criticidad más alta en las ambulancias es de CR= 504, la misma que corresponde a la siguiente causa "Presenta juego en el neumático debido a (rodillos en mal estado, tirantearía de la dirección con holgura, bujes deteriorados, etc.)". La criticidad más alta en los vehículos tanqueros es de CR=504, que corresponde a la causa "Presenta juego en el neumático debido a (rodillos en mal estado, tirantearía de la dirección con holgura, bujes deteriorados, etc.)". La criticidad más alta en los vehículos de abastecimiento es de CR= 512, que corresponde a la siguiente causa "Sistemas del vehículo averiado (frenos, dirección, suspensión)", La criticidad más alta en los vehículos de rescate corresponde al CR=512, que corresponde a la siguiente causa "Sistemas del vehículo averiado (frenos, dirección, suspensión)"

A través de la aplicación de la metodología RCM; se ha determinado el plan de mantenimiento que permita la reducción de la tasa de fallos en las unidades de emergencia. Para 257 modos de fallo analizados en las unidades de emergencia, se logró determinar una actividad preventiva para 27 de ellos que resultaron ser los más críticos, logrando así obtener vehículos más confiables, y minimizando los costos de mantenimiento de las unidades.

RECOMENDACIONES:

Del presente trabajo de investigación se puede realizar las siguientes recomendaciones:

- Revisar periódicamente los planes de mantenimiento, obtenidos a través de la metodología RCM; debido a que el contexto operativo del vehículo cambia.

- Realizar periódicamente un análisis de criticidad, debido a que la tasa de fallos no es un valor constante en el tiempo.

- Capacitar al personal de mantenimiento del taller en la metodología RCM; para que ésta pueda implementarse en los vehículos nuevos que adquiera la institución.

- Capacitar al personal de mantenimiento en temas referentes a gestión de mantenimiento, con énfasis en la planificación de mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. Autor. (2017).
2. Barrachina, J. P. (2012). Problemas de Pareto. En *Ejercicios Practicos de ingenieria del mantenimiento.* VALENCIA.
3. Bomberos. (12 de Septiembre de 2016). Lista de vehiculos de emergencia. Cuenca, Azuay, Ecuador.
4. Bomberos. (2016). *Reseña historica de los Bomberos de Cuenca*. Recuperado el 6 de 03 de 2017, de http://www.bomberos.gob.ec/nuestra-institucion/Rese%C3%B1a-Hist%C3%B3rica/26
5. Garrido, S. G. (28 de septiembre de 2015). *RENOVATEC*. Obtenido de http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/300-indicadores-en-mantenimiento
6. ISO, N. (2006). *Norma ISO 14224*. Obtenido de http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/0605MarioTroffeISO14224.pdf
7. Macian. (1999). Departamento de máquinas y Motores Térmicos. En *FUNDAMENTOS DE INGENIERIA DEL MANTENIMIENTO* (pág. 58). VALÉNCIA: UPV.
8. Maintenance, R. C. (2013). *slideshare.* Obtenido de slideshare: http://es.slideshare.net/albertopila/filosofia-rcm?qid=fc0c4170-ca85-49a4-965d-deef15c7dbf0&v=&b=&from_search=2
9. Moubray, J. (s.f.). Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad segunda edicion. En J. Moubray, *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad segunda edicion* (pág. 11). Industrial Press Inc.
10. Murillo, I. W. (2001). RCM INGENIERIA.
11. Pareto. (2012). *Principio de PARETO*. Obtenido de http://ipgo.webs.upv.es/fruitis/task3.pdf
12. PARRA, S. R. (2016). *Ingeniero.* RIOBAMBA.
13. RCM. (1999). norma SAE-JA-1011. *requisitos mínimos que debería cumplir una metodología que quisiera definirse como RCM*.

14. reliability. (2014). *reliabilityweb*. Obtenido de http://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope

15. SAE, N. (enero de 2002). *slidershare*. Obtenido de Norma SAE: JA 1012: https://es.slideshare.net/oluyar/94542210-normasaeja1012

16. Turmero, I. (s.f.). *Diseño programa mantenimiento predictivo motores eléctricos*. Obtenido de http://www.monografias.com/trabajos-pdf5/diseno-programa-mantenimiento-predictivo-motor-electricos/diseno-programa-mantenimiento-predictivo-motor-electricos3.shtml

ANEXO A

Anexo A. 1: Diagrama de Weibull

FALLO	TBF (DÍAS)	F(T) (%)	Ln(t)	Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Tiempo de Paradas
1	41	0,091	3,714	-,35	2
2	143	0,182	4,963	-1,61	1
3	162	0,273	5,088	-1,14	11
4	222	0,364	5,403	-0,79	15
5	233	0,455	5,451	-0,50	10
6	243	0,545	5,493	-0,24	1
7	293	0,636	5,680	0,01	7
8	300	0,727	5,704	0,26	46
9	350	0,818	5,858	0,53	80
10	469	0,909	6,151	0,87	8
				TOTAL	**181**

Fuente: (Autor, 2017)

ANEXO B

Anexo B. 1: Parámetros de la distribución de Weibull de A-22

Pendiente	2,32279
Ordenada	-10,891
R2	0,85053
β	2,32279
η	108,719
A	0,88602
B	0,40493
MTBF	96,3274
σ	44,0241

Fuente: (Autor, 2017)

β > 1 Indica falla por desgaste, los programas de inspección son leídos directamente con una probabilidad aceptable de las fallas, por lo tanto, MTTF es menor que η

1 < β < 4 Indica falla por deterioro temprano estas son fallas de modo mecánico

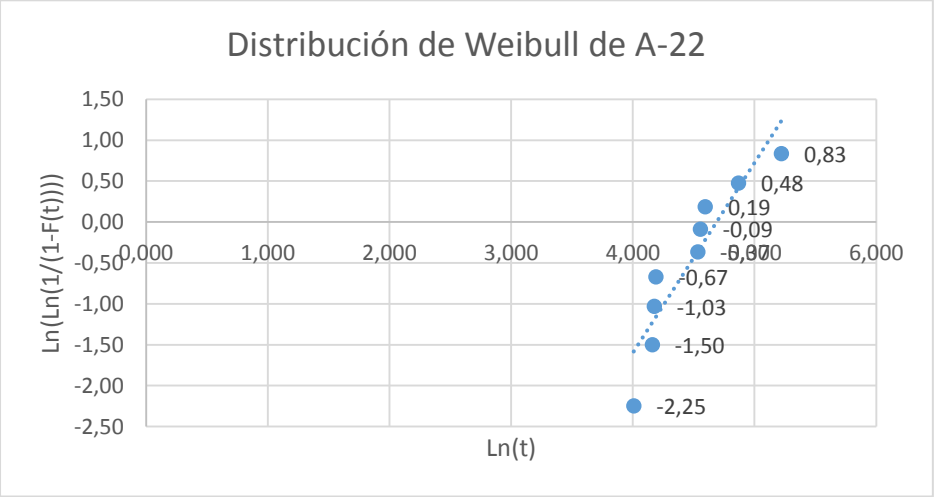


Figura B. 1: Distribución de weibull del A-22 con β=2.3227, falla por desgaste

Indicadores de mantenimiento del A-22

INDICADORES	DÍAS	HORAS
MTBF	96,33	2311,86
MTTR	34,44	826,667
Disponibilidad	0,64 %	-
Tasa de Fallo	0,029	0,69677

Elaborado por: (Autor, 2017)

Anexo B. 2: Parámetros de la distribución de Weibull del A-25

Pendiente	0,81340052
Ordenada	-4,79971
R2	0,656768
β	0,813452
η	365,3322
A	1,119552
B	1,38039
MTBF	409,1179
σ	506,5553

Fuente: (Autor, 2017)

β < 1 Indica mortalidad infantil, las inspecciones programadas son de costo económico no efectivo, por lo tanto, MTTF es mayor que η.

Los equipos electrónicos, eléctricos, mecánicos presentan una alta tasa de fallas cuando la unidad está en operación, otros modos de falla son: Problemas de control de calidad, Problemas de mantenimiento, Inadecuado manejo de las unidades, etc.

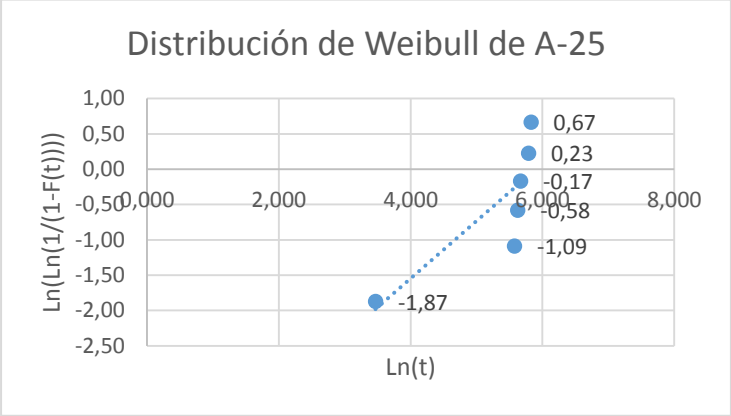


Figura B. 2: Distribución de weibull del A-25 con β= 0.8134, Mortalidad infantil

Indicadores de mantenimiento del A-25

INDICADORES	DÍAS	HORAS
MTBF	409,12	9818,81
MTTR	17,67	424,00
Disponibilidad	0,96 %	-
Tasa de Fallo	0,057	1,36

Elaborado por: (Autor, 2017)

Anexo B. 3: Parámetros de la distribución de Weibull de U-1

Pendiente	1,33364
Ordenada	-7,04985
R2	0,94832
β	1,33364
η	197,58215
A	0,91902
B	0,69600
MTBF	181,58250
σ	137,51646

Fuente: (Autor, 2017)

β > 1 Indica falla por desgaste, los programas de inspección son leídos directamente con una probabilidad aceptable de las fallas, por lo tanto, MTTF es menor que η

1 < β < 4 Indica falla por deterioro temprano estas son fallas de modo mecánico

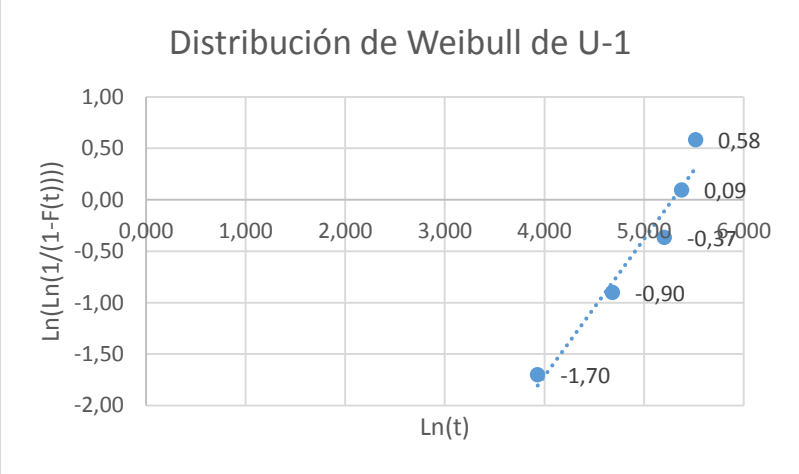


Figura B. 3: Distribución de weibull de U-1 con β= 1.3336, Falla por Desgaste

Indicadores de mantenimiento de U-1

INDICADORES	DÍAS	HORAS
MTBF	181,58	4357,98
MTTR	69	1656
Disponibilidad	0,72%	-
Tasa de Fallo	0,014	0,35

Elaborado por: (Autor, 2017)

Anexo B. 4: Parámetros de la distribución de Weibull de U-2

Pendiente	0,4853
Ordenada	-2,2185
R2	0,7839
β	0,4853
η	96,7115
A	2,1169
B	4,9383
MTBF	204,7290
σ	477,5937

Fuente: (Autor, 2017)

$\beta < 1$ Indica mortalidad infantil, las inspecciones programadas son de costo económico no efectivo, por lo tanto, MTTF es mayor que η.

Los equipos electrónicos, eléctricos, mecánicos presentan una alta tasa de fallas cuando la unidad está en operación, otros modos de falla son: Problemas de control de calidad, Problemas de mantenimiento, Inadecuado manejo de las unidades, etc.

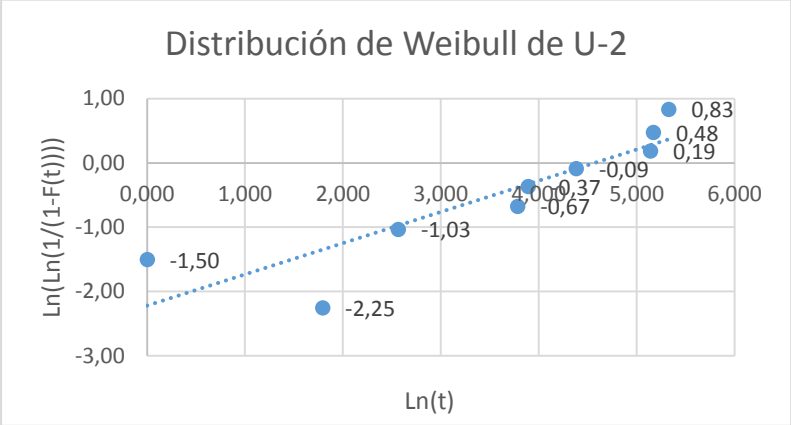


Figura B. 4: Distribución de weibull de U-2 con β= 0.4853, Mortalidad Infantil

Indicadores de mantenimiento de U-2

INDICADORES	DÍAS	HORAS
MTBF	204,729	4913,495
MTTR	25,111	602,667
Disponibilidad	0,891%	-
Tasa de Fallo	0,040	0,956

Elaborado por: (Autor, 2017)

Anexo B. 5: Parámetros de la distribución de Weibull U-3

Pendiente	0,93904
Ordenada	-3,83406
R2	0,925928
β	0,93904
η	59,3190
A	1,02920
B	1,09666
MTBF	61,0512
σ	65,0528

Fuente: (Autor, 2017)

$\beta < 1$ Indica mortalidad infantil, las inspecciones programadas son de costo económico no efectivo, por lo tanto, MTTF es mayor que η.

Los equipos electrónicos, eléctricos, mecánicos presentan una alta tasa de fallas cuando la unidad está en operación, otros modos de falla son: Problemas de control de calidad, Problemas de mantenimiento, Inadecuado manejo de las unidades, etc.

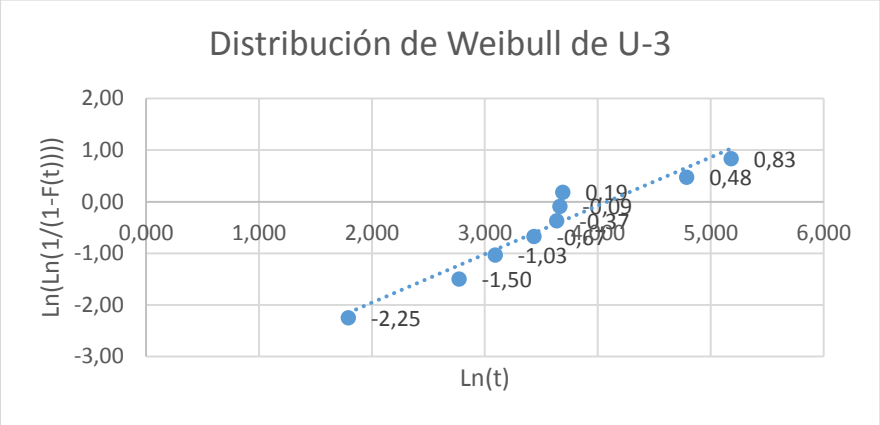


Figura B. 5: Distribución de weibull de U-3 con β= 0.9390, Mortalidad Infantil

Indicadores de mantenimiento de U-3

INDICADORES	DÍAS	HORAS
MTBF	61,051	1465,230
MTTR	32,889	789,333
Disponibilidad	0,650 %	-
Tasa de Fallo	0,030	0,730

Elaborado por: (Autor, 2017)

Anexo B. 6: Parámetros de la distribución de Weibull de U-4

Pendiente	1,0536
Ordenada	-5,3553
R2	0,8997
β	1,0536
η	161,2058
A	0,9795
B	0,9300
MTBF	157,9062
σ	149,9239

Fuente: (Autor, 2017)

β > 1 Indica falla por desgaste, los programas de inspección son leídos directamente con una probabilidad aceptable de las fallas, por lo tanto, MTTF es menor que η

1 < β < 4 Indica falla por deterioro temprano estas son fallas de modo mecánico

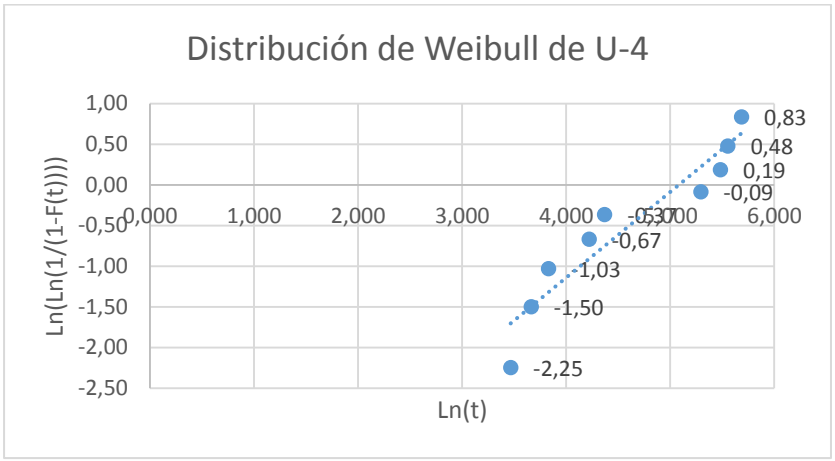


Figura B. 6: Distribución de weibull de U-4 con β= 1.053, Falla por Desgaste

Indicadores de mantenimiento de U-4

INDICADORES	DÍAS	HORAS
MTBF	157,91	3789,75
MTTR	15,67	376,00
Disponibilidad	0,91 %	-
Tasa de Fallo	0,06	1,53

Elaborado por: (Autor, 2017)

Anexo B. 7: Parámetros de la distribución de Weibull de U-5

Pendiente	1,7008
Ordenada	-8,9638
R2	0,9877
β	1,7008
η	194,5112
A	0,8922
B	0,5400
MTBF	173,5463
σ	105,0360

Fuente: (Autor, 2017)

β > 1 Indica falla por desgaste, los programas de inspección son leídos directamente con una probabilidad aceptable de las fallas, por lo tanto, MTTF es menor que η

1 < β < 4 Indica falla por deterioro temprano estas son fallas de modo mecánico

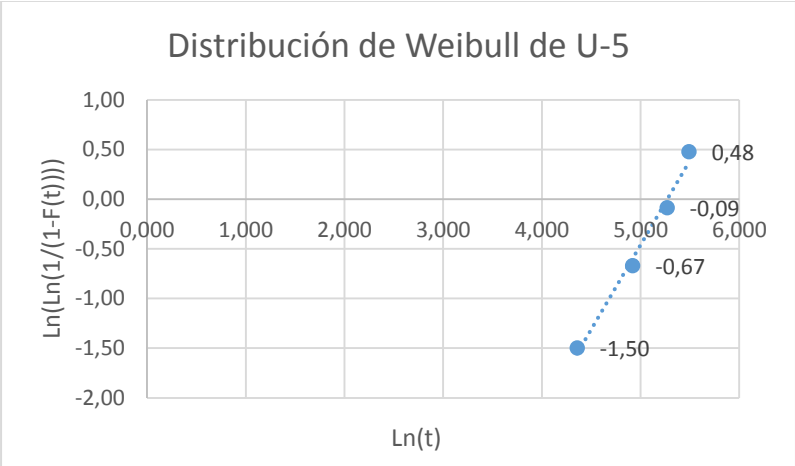


Figura B. 7: Distribución de weibull de U-5 con β= 1.7008, Falla por Desgaste

Indicadores de mantenimiento de U-5

INDICADORES	DÍAS	HORAS
MTBF	173,55	4165,11
MTTR	40,25	966
Disponibilidad	0,81 %	-
Tasa de Fallo	0,025	0,60

Elaborado por: (Autor, 2017)

Anexo B. 8: Parámetros de la distribución de Weibull de U-6

Pendiente	1,80122
Ordenada	-8,86188
R2	0,964824
β	1,801226
η	136,9910
A	0,889257
B	0,510894
MTBF	121,8202
σ	69,98793

Fuente: (Autor, 2017)

β > 1 Indica falla por desgaste, los programas de inspección son leídos directamente con una probabilidad aceptable de las fallas, por lo tanto, MTTF es menor que η

1 < β < 4 Indica falla por deterioro temprano estas son fallas de modo mecánico

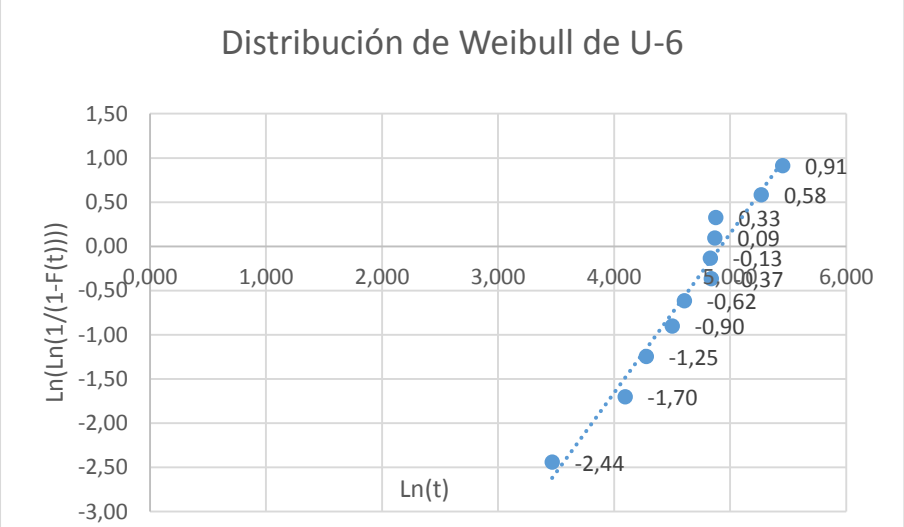


Figura B. 8: Distribución de weibull de U-6 con β= 1.8012, Falla por Desgaste

Indicadores de mantenimiento de U-6

INDICADORES	DÍAS	HORAS
MTBF	121,820	2923,687
MTTR	34,182	820,364
Disponibilidad	0,781 %	-
Tasa de Fallo	0,029	0,702

Elaborado por: (Autor, 2017)

Anexo B. 9: Parámetros de la distribución de Weibull de U-7

Pendiente	0,4803
Ordenada	-2,7772
R2	0,8279
β	0,4803
η	324,4990
A	2,1602
B	5,1143
MTBF	700,9895
σ	1659,5963

Fuente: (Autor, 2017)

$\beta < 1$ Indica mortalidad infantil, las inspecciones programadas son de costo económico no efectivo, por lo tanto, MTTF es mayor que η.

Los equipos electrónicos, eléctricos, mecánicos presentan una alta tasa de fallas cuando la unidad está en operación, otros modos de falla son: Problemas de control de calidad, Problemas de mantenimiento, Inadecuado manejo de las unidades, etc.

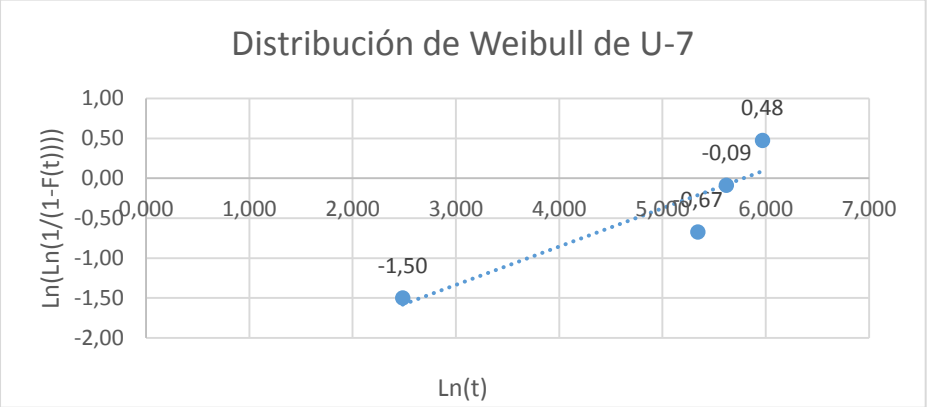


Figura B. 9: Distribución de weibull de U-7 con β= 0,4803, Mortalidad Infantil

Indicadores de mantenimiento de U-7

INDICADORES	DÍAS	HORAS
MTBF	700,9895	16823,74771
MTTR	23,5	564
Disponibilidad	0,97 %	-
Tasa de Fallo	0,043	1,02

Elaborado por: (Autor, 2017)

Anexo B. 10: Parámetros de la distribución de Weibull de M-5

Pendiente	0,905
Ordenada	-4,448
R2	0,902
β	0,905
η	136,431
A	1,049
B	1,161
MTBF	143,141
σ	158,457

Fuente: (Autor, 2017)

$\beta < 1$ Indica mortalidad infantil, las inspecciones programadas son de costo económico no efectivo, por lo tanto, MTTF es mayor que η.

Los equipos electrónicos, eléctricos, mecánicos presentan una alta tasa de fallas cuando la unidad está en operación, otros modos de falla son: Problemas de control de calidad, Problemas de mantenimiento, Inadecuado manejo de las unidades, etc.

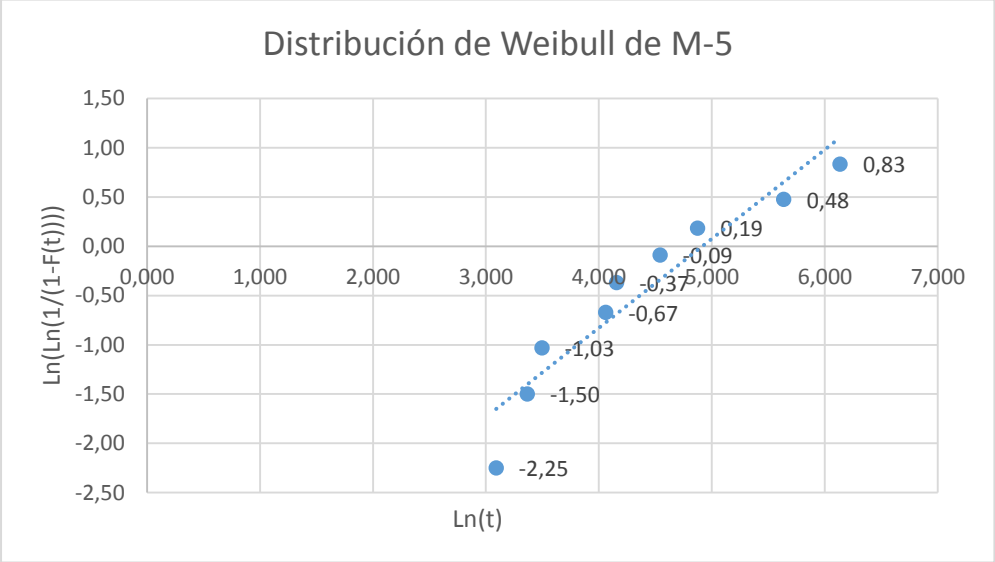


Figura B. 10: Distribución de weibull de U-4 con β= 0,905, Mortalidad Infantil

Indicadores de mantenimiento del M-5

INDICADORES	DÍAS	HORAS
MTBF	143,141	3435,380
MTTR	14,000	336,000
Disponibilidad	0,911 %	-
Tasa de Fallo	0,071	1,714

Elaborado por: (Autor, 2017)

Anexo B. 11: Parámetros de la distribución de Weibull de M-6

Pendiente	1,35256
Ordenada	-6,89186
R2	0,87570
β	1,35256
η	163,27120
A	0,91668
B	0,68513
MTBF	149,66754
σ	111,86159

Fuente: (Autor, 2017)

β > 1 Indica falla por desgaste, los programas de inspección son leídos directamente con una probabilidad aceptable de las fallas, por lo tanto, MTTF es menor que η

1 < β < 4 Indica falla por deterioro temprano estas son fallas de modo mecánico

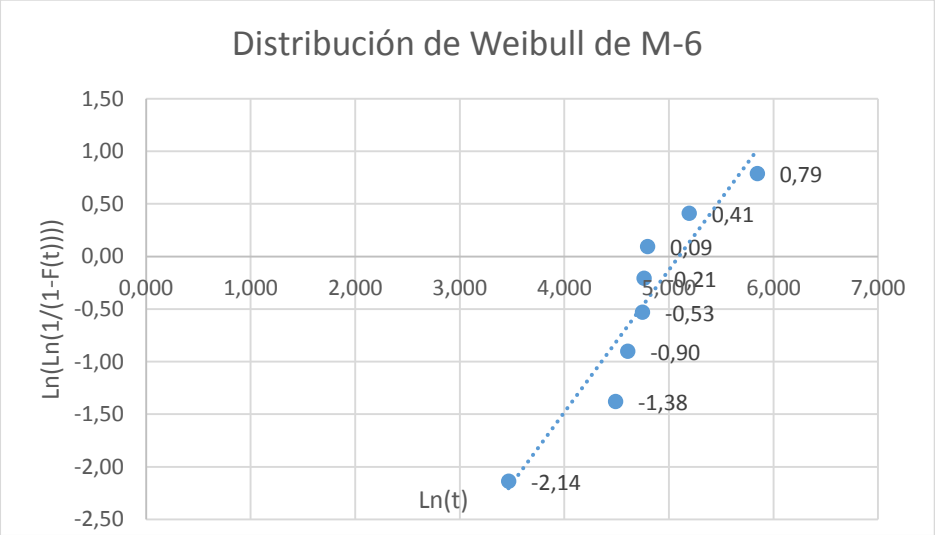


Figura B. 11: Distribución de weibull de M-6 con β= 1,352, Falla por Desgaste

Indicadores de mantenimiento del M-6

INDICADORES	DÍAS	HORAS
MTBF	149,67	3592,02
MTTR	19	456
Disponibilidad	0,89 %	-
Tasa de Fallo	0,053	1,26

Elaborado por: (Autor, 2017)

Anexo B. 12: Parámetros de la distribución de Weibull de T-11

Pendiente	1,082748
Ordenada	-5,202068
R2	0,893617
β	1,082748
η	122,059310
A	0,970061
B	0,896704
MTBF	118,404948
σ	109,451103

Fuente: (Autor, 2017)

β > 1 Indica falla por desgaste, los programas de inspección son leídos directamente con una probabilidad aceptable de las fallas, por lo tanto, MTTF es menor que η

1 < β < 4 Indica falla por deterioro temprano estas son fallas de modo mecánico

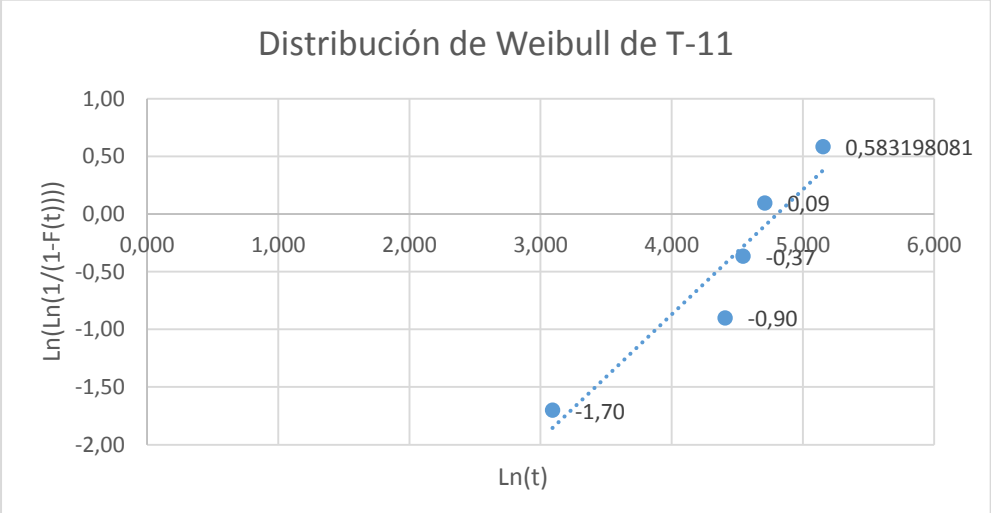


Figura B. 12: Distribución de weibull de T-11 con β= 1.082, Falla por Desgaste

Indicadores de mantenimiento del T-11

INDICADORES	DÍAS	HORAS
MTBF	118,40	2841,72
MTTR	41,2	988,8
Disponibilidad	0,74 %	-
Tasa de Fallo	0,024	0,58

Elaborado por: (Autor, 2017)

Anexo B. 13: Parámetros de la distribución de Weibull de T-22

Pendiente	1,11838
Ordenada	-5,63711
R2	0,95155
β	1,11838
η	154,53903
A	0,95978
B	0,85964
MTBF	148,32295
σ	132,84725

Fuente: (Autor, 2017)

β > 1 Indica falla por desgaste, los programas de inspección son leídos directamente con una probabilidad aceptable de las fallas, por lo tanto, MTTF es menor que η

1 < β < 4 Indica falla por deterioro temprano estas son fallas de modo mecánico

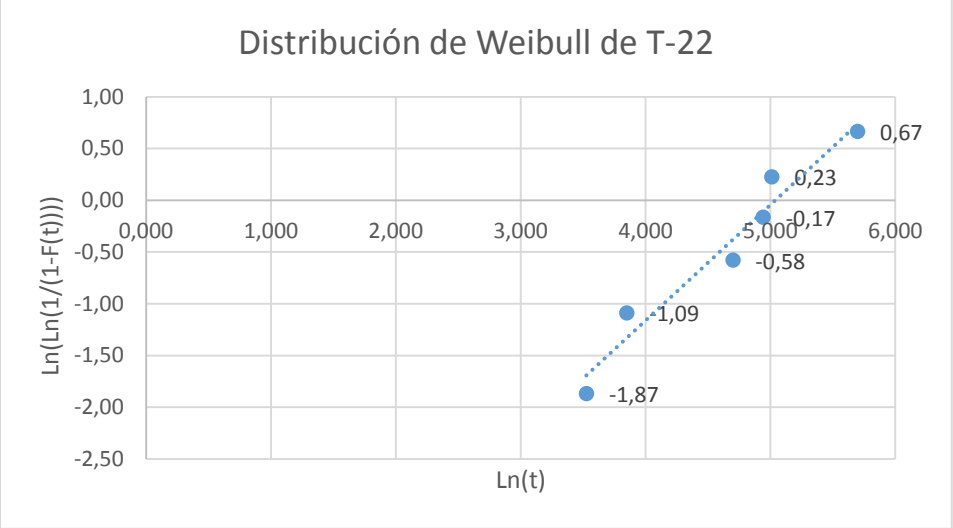


Figura B. 13: Distribución de weibull de T-22 con β= 1,118, Falla por Desgaste

Indicadores de mantenimiento del T-22

INDICADORES	DÍAS	HORAS
MTBF	148,32	3559,75
MTTR	32,50	780,00
Disponibilidad	0,82 %	-
Tasa de Fallo	0,03	0,74

Elaborado por: (Autor, 2017)

Anexo B. 14: Parámetros de la distribución de Weibull de T-33

Pendiente	0,8408
Ordenada	-4,7742
R2	0,6386
β	0,8408
η	292,4407
A	1,0955
B	1,3093
MTBF	320,3641
σ	382,9017

Fuente: (Autor, 2017)

$\beta < 1$ Indica mortalidad infantil, las inspecciones programadas son de costo económico no efectivo, por lo tanto, MTTF es mayor que η.

Los equipos electrónicos, eléctricos, mecánicos presentan una alta tasa de fallas cuando la unidad está en operación, otros modos de falla son: Problemas de control de calidad, Problemas de mantenimiento, Inadecuado manejo de las unidades, etc.

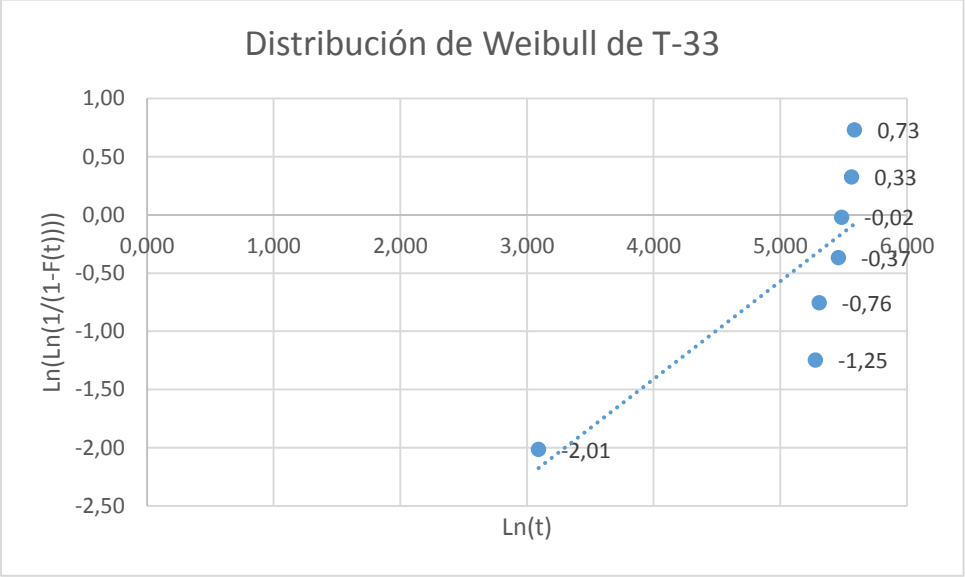


Figura B. 14: Distribución de weibull de T-33 con β= 0,8408, Mortalidad Infantil

Indicadores de mantenimiento del T-33

INDICADORES	DÍAS	HORAS
MTBF	320,364	7688,739
MTTR	25,714	617,143
Disponibilidad	0,926 %	-
Tasa de Fallo	0,039	0,933

Elaborado por: (Autor, 2017)

Anexo B. 15: Parámetros de la distribución de Weibull de T-34

Pendiente	1,18076
Ordenada	-5,78338
R2	0,96464
β	1,18076
η	134,02388
A	0,94468
B	0,80293
MTBF	126,60931
σ	107,61238

Fuente: (Autor, 2017)

β > 1 Indica falla por desgaste, los programas de inspección son leídos directamente con una probabilidad aceptable de las fallas, por lo tanto, MTTF es menor que η

1 < β < 4 Indica falla por deterioro temprano estas son fallas de modo mecánico

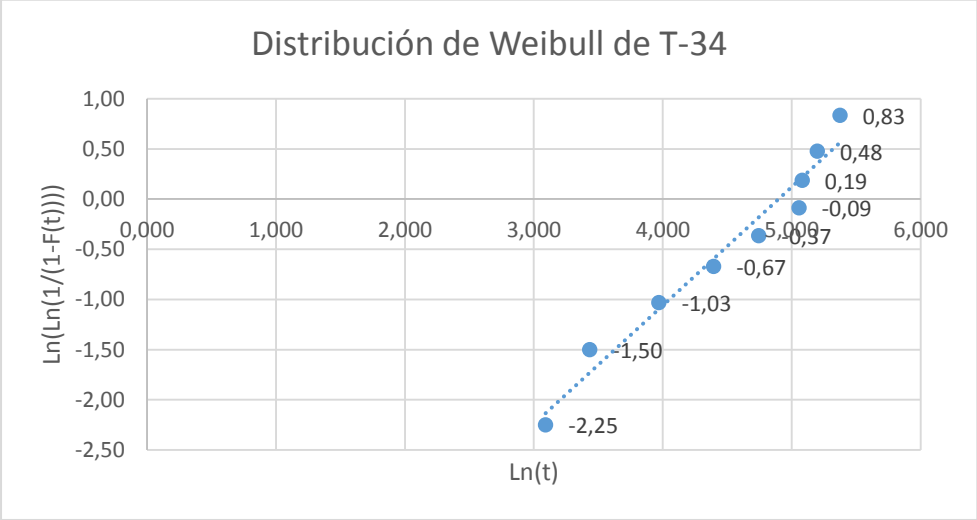


Figura B. 15: Distribución de weibull de T-34 con β= 1.1807, Falla por Desgaste

Indicadores de mantenimiento del T-34

INDICADORES	DÍAS	HORAS
MTBF	126,61	3038,62
MTTR	27,22	653,33
Disponibilidad	0,82 %	-
Tasa de Fallo	0,037	0,88

Elaborado por: (Autor, 2017)

Anexo B. 16: Parámetros de la distribución de Weibull de T-35

Pendiente	0,935
Ordenada	-5,261
R2	0,759
β	0,935
η	276,936
A	1,031
B	1,103
MTBF	285,573
σ	305,498

Fuente: (Autor, 2017)

β < 1 Indica mortalidad infantil, las inspecciones programadas son de costo económico no efectivo, por lo tanto, MTTF es mayor que η.

Los equipos electrónicos, eléctricos, mecánicos presentan una alta tasa de fallas cuando la unidad está en operación, otros modos de falla son: Problemas de control de calidad, Problemas de mantenimiento, Inadecuado manejo de las unidades, etc.

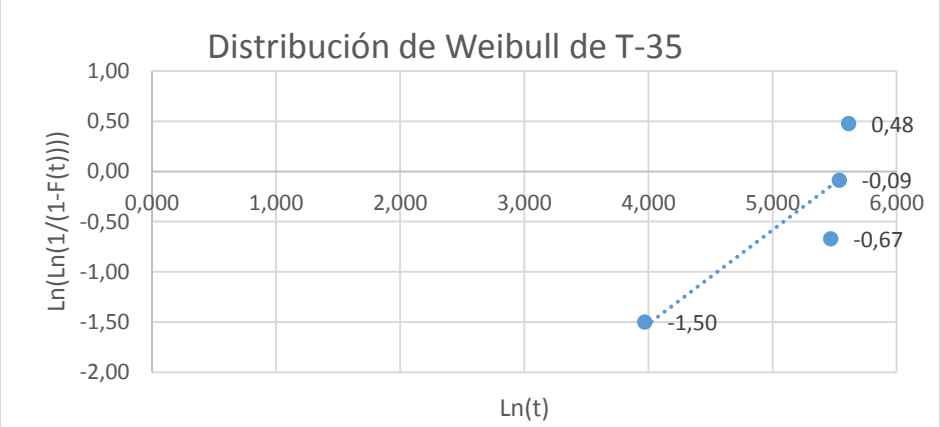


Figura B. 16: Distribución de weibull de T-35 con β= 0,935, Mortalidad Infantil

Indicadores de mantenimiento del T-35

INDICADORES	DÍAS	HORAS
MTBF	285,573	6853,7457
MTTR	30,5	732
Disponibilidad	0,90 %	-
Tasa de Fallo	0,033	0,79

Elaborado por: (Autor, 2017)

Anexo B. 17: Parámetros de la distribución de Weibull de T-36

Pendiente	1,4309
Ordenada	-8,2859
R2	0,6136
β	1,4309
η	327,2608
A	0,9084
B	0,6443
MTBF	297,2917
σ	210,8477

Fuente: (Autor, 2017)

β > 1 Indica falla por desgaste, los programas de inspección son leídos directamente con una probabilidad aceptable de las fallas, por lo tanto, MTTF es menor que η

1 < β < 4 Indica falla por deterioro temprano estas son fallas de modo mecánico

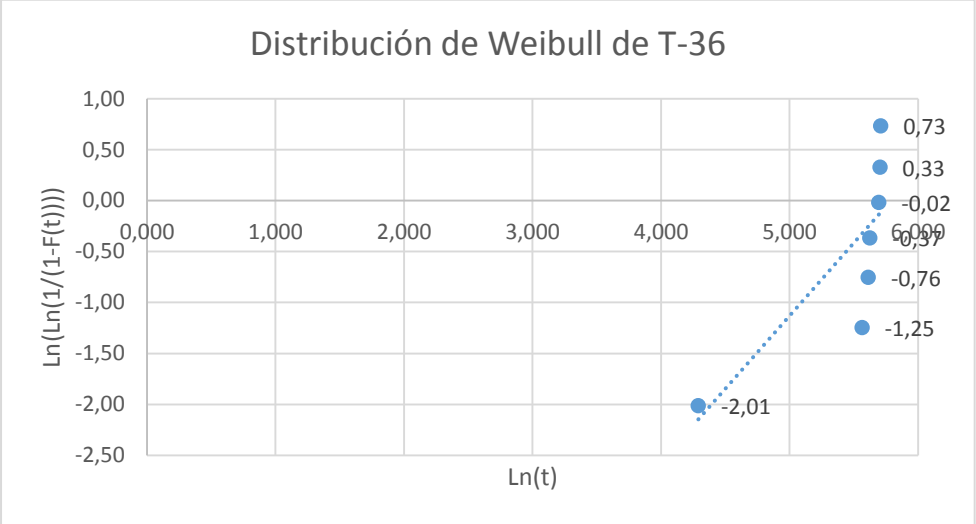


Figura B. 17: Distribución de weibull de T-36 con β= 1,4309, Falla por Desgaste

Indicadores de mantenimiento del T-36

INDICADORES	DÍAS	HORAS
MTBF	297,29	7135,00
MTTR	15,14	363,43
Disponibilidad	0,95 %	-
Tasa de Fallo	0,066	96,00

Elaborado por: (Autor, 2017)

Anexo B. 18: Parámetros de la distribución de Weibull de M-7

Pendiente	56,17
Ordenada	-336,19
R2	1,00
β	56,17
η	397,33
A	0,99
B	0,02
MTBF	393,37
σ	8,87

Fuente: (Autor, 2017)

β > 1 Indica falla por desgaste, los programas de inspección son leídos directamente con una probabilidad aceptable de las fallas, por lo tanto, MTTF es menor que η

β > 4 Indica deterioro rápido por edad de uso, modos de falla con edades muy viejas.

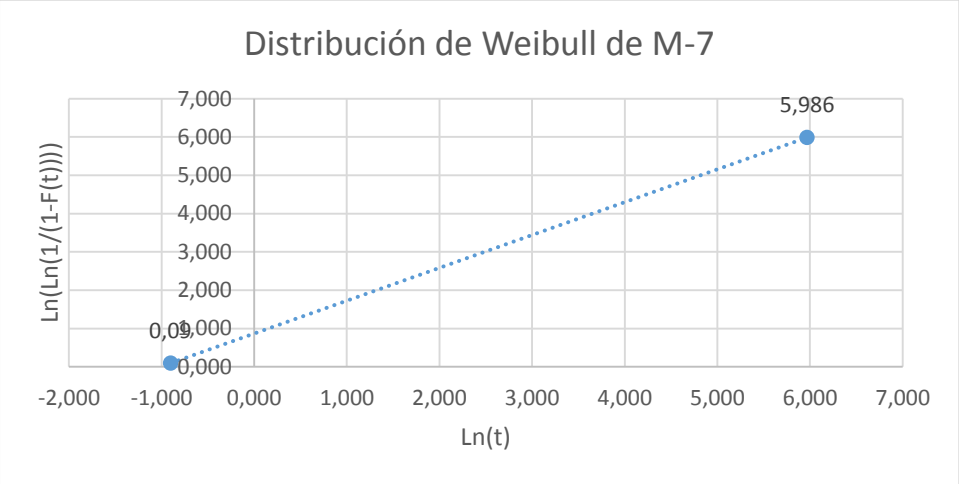


Figura B. 18: Distribución de weibull de M-7 con β= 56,17, Falla por Desgaste

Indicadores de mantenimiento del M-7

INDICADORES	DÍAS	HORAS
MTBF	393,37	9440,97402
MTTR	47,5	1140
Disponibilidad	0,89 %	-
Tasa de Fallo	0,021	0,51

Elaborado por: (Autor, 2017)

Anexo B. 19: Parámetros de la distribución de Weibull de M-8

Pendiente	3,693
Ordenada	-23,195
R2	1,000
β	3,693
η	534,352
A	0,902
B	0,272
MTBF	482,176
σ	145,394

Fuente: (Autor, 2017)

β > 1 Indica falla por desgaste, los programas de inspección son leídos directamente con una probabilidad aceptable de las fallas, por lo tanto, MTTF es menor que η

1 < β < 4 Indica falla por deterioro temprano estas son fallas de modo mecánico

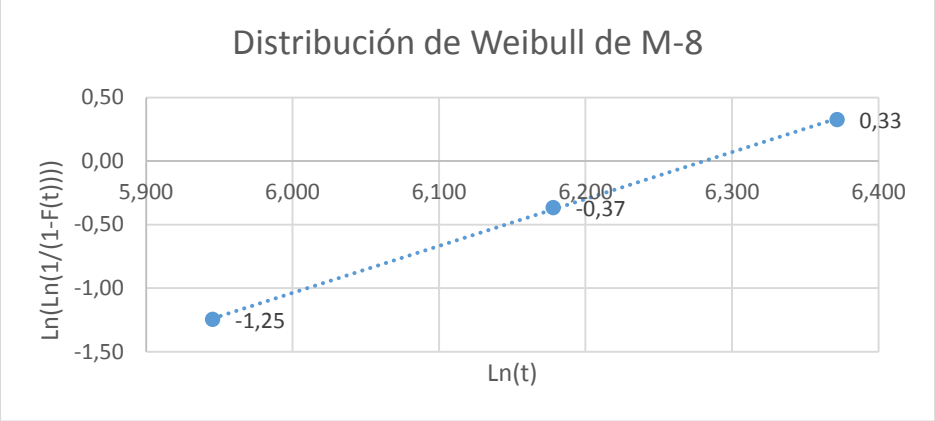


Figura B. 19: Distribución de weibull de M-8 con β= 3,693, Falla por Desgaste

Indicadores de mantenimiento del M-8

INDICADORES	DÍAS	HORAS
MTBF	482,176	11572,2202
MTTR	40,667	976
Disponibilidad	0,92 %	-
Tasa de Fallo	0,025	0,59

Elaborado por: (Autor, 2017)

Anexo B. 20: Parámetros de la distribución de Weibull de M-11

Pendiente	3,172
Ordenada	-19,536
R2	0,741
β	3,172
η	473,234
A	0,895
B	0,310
MTBF	423,672
σ	146,487

Fuente: (Autor, 2017)

β > 1 Indica falla por desgaste, los programas de inspección son leídos directamente con una probabilidad aceptable de las fallas, por lo tanto, MTTF es menor que η

1 < β < 4 Indica falla por deterioro temprano estas son fallas de modo mecánico

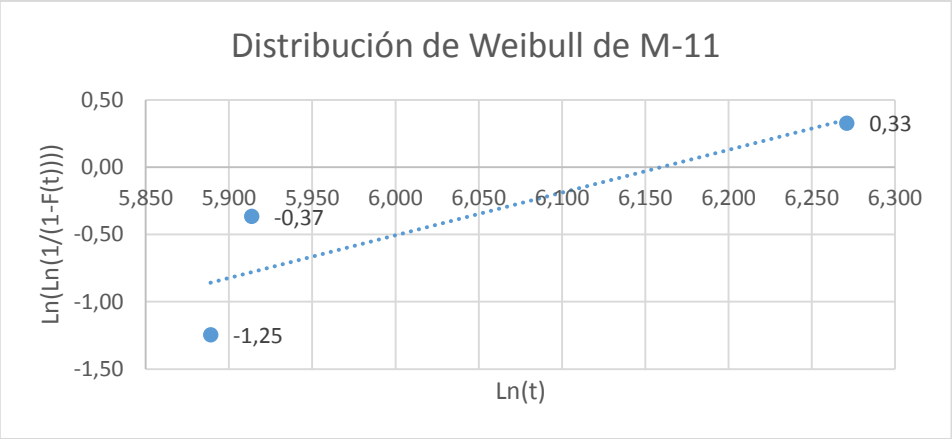


Figura B. 20: Distribución de weibull de M-11 con β= 3,172, Falla por Desgaste

Indicadores de mantenimiento del M-11

INDICADORES	DÍAS	HORAS
MTBF	423,672	10168,12523
MTTR	26	624
Disponibilidad	0,94 %	-
Tasa de Fallo	0,038	0,92

Elaborado por: (Autor, 2017)

Anexo B. 21 Parámetros de la distribución de Weibull de M-34

Pendiente	6,57
Ordenada	-39,66
R2	1,00
β	6,57
η	419,94
A	0,93
B	0,17
MTBF	391,51
σ	69,80

Fuente: (Autor, 2017)

β > 1 Indica falla por desgaste, los programas de inspección son leídos directamente con una probabilidad aceptable de las fallas, por lo tanto, MTTF es menor que η

β > 4 Indica deterioro rápido por edad de uso, modos de falla con edades muy viejas.

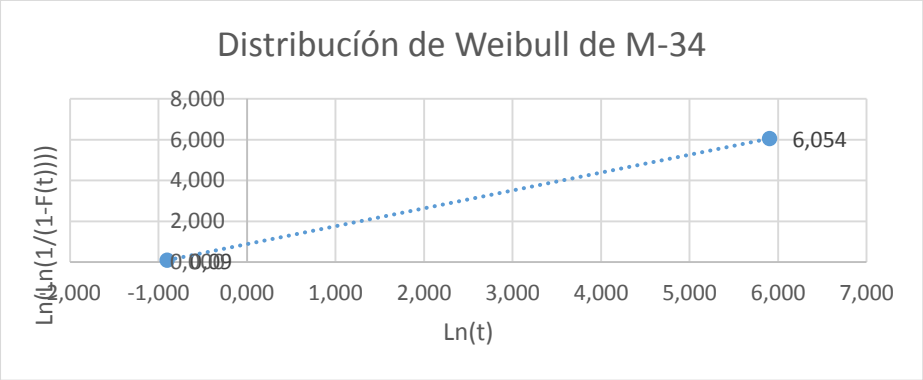


Figura B. 21: Distribución de weibull de M-34 con β= 6,57, Falla por Desgaste

Indicadores de mantenimiento del M-34

INDICADORES	DÍAS	HORAS
MTBF	391,51	9396,13
MTTR	43,5	1044
Disponibilidad	0,90 %	-
Tasa de Fallo	0,023	0,55

Elaborado por: (Autor, 2017)

.

Anexo B. 22: Parámetros de la distribución de Weibull de R-4

Pendiente	7,03
Ordenada	-42,77
R2	1,00
β	7,03
η	438,20
A	0,94
B	0,16
MTBF	410,01
σ	68,60

Fuente: (Autor, 2017)

β > 1 Indica falla por desgaste, los programas de inspección son leídos directamente con una probabilidad aceptable de las fallas, por lo tanto, MTTF es menor que η

β > 4 Indica deterioro rápido por edad de uso, modos de falla con edades muy viejas.

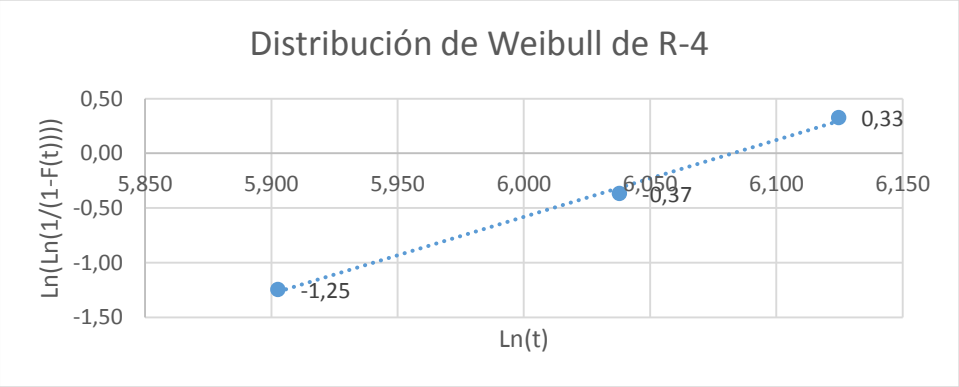


Figura B. 22: Distribución de weibull de R-4 con β= 7,03, Falla por Desgaste

Indicadores de mantenimiento del R-4

INDICADORES	DÍAS	HORAS
MTBF	410,01	9840,17489
MTTR	15,33333333	368
Disponibilidad	0,96 %	-
Tasa de Fallo	0,065	1,57

Elaborado por: (Autor, 2017)

Anexo B. 23: Parámetros de la distribución de Weibull de R-5

Pendiente	27,618
Ordenada	-164,309
R2	0,962
β	27,618
η	383,473
A	0,980
B	0,044
MTBF	375,940
σ	17,024

Fuente: (Autor, 2017)

β > 1 Indica falla por desgaste, los programas de inspección son leídos directamente con una probabilidad aceptable de las fallas, por lo tanto, MTTF es menor que η

β > 4 Indica deterioro rápido por edad de uso, modos de falla con edades muy viejas.

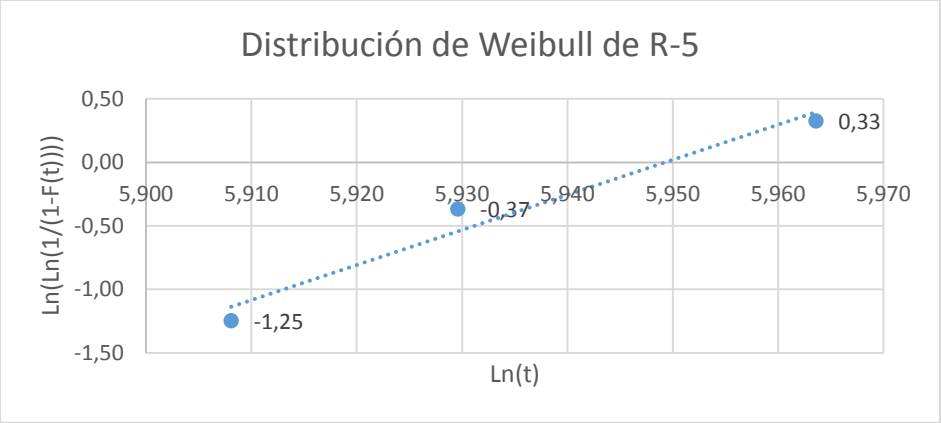


Figura B. 23: Distribución de weibull de R-5 con β= 27,618, Falla por Desgaste

Indicadores de mantenimiento del R-5

INDICADORES	DÍAS	HORAS
MTBF	375,940	9022,55358
MTTR	20,3333333	488
Disponibilidad	0,95 %	-
Tasa de Fallo	0,049	1,18

Elaborado por: (Autor, 2017)

Anexo B. 24: Parámetros de la distribución de Weibull de T-6

Pendiente	9,942
Ordenada	-61,337
R2	0,857
β	9,942
η	477,890
A	0,951
B	0,115
MTBF	454,529
σ	54,984

Fuente: (Autor, 2017)

β > 1 Indica falla por desgaste, los programas de inspección son leídos directamente con una probabilidad aceptable de las fallas, por lo tanto, MTTF es menor que η

β > 4 Indica deterioro rápido por edad de uso, modos de falla con edades muy viejas.

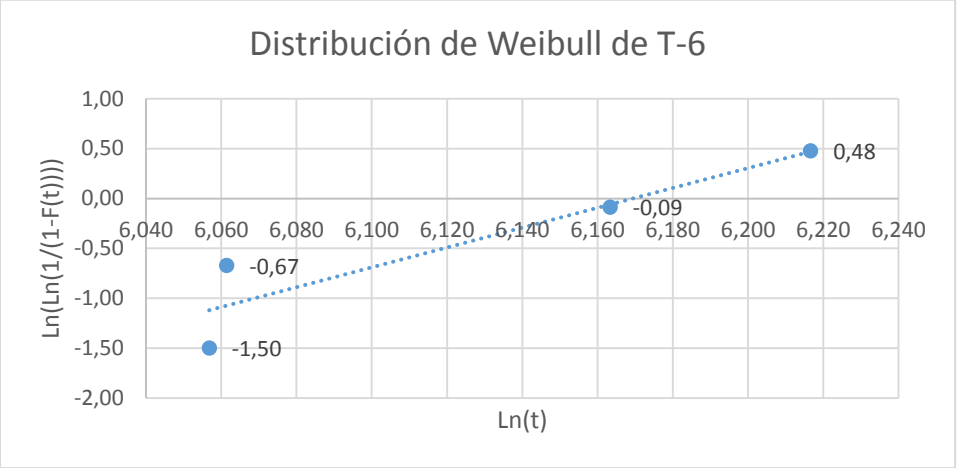


Figura B. 24: Distribución de weibull de T-6 con β=9,942, Falla por Desgaste

Indicadores de mantenimiento del T-6

INDICADORES	DÍAS	HORAS
MTBF	454,529	10908,6899
MTTR	16,5	396
Disponibilidad	0,96 %	-
Tasa de Fallo	0,061	1,45

Elaborado por: (Autor, 2017)

Anexo B. 25: Parámetros de la distribución de Weibull de TG-13

Pendiente	8,587
Ordenada	-53,455
R2	0,879
β	8,587
η	505,350
A	0,945
B	0,131
MTBF	477,516
σ	66,306

Fuente: (Autor, 2017)

β > 1 Indica falla por desgaste, los programas de inspección son leídos directamente con una probabilidad aceptable de las fallas, por lo tanto, MTTF es menor que η

β > 4 Indica deterioro rápido por edad de uso, modos de falla con edades muy viejas.

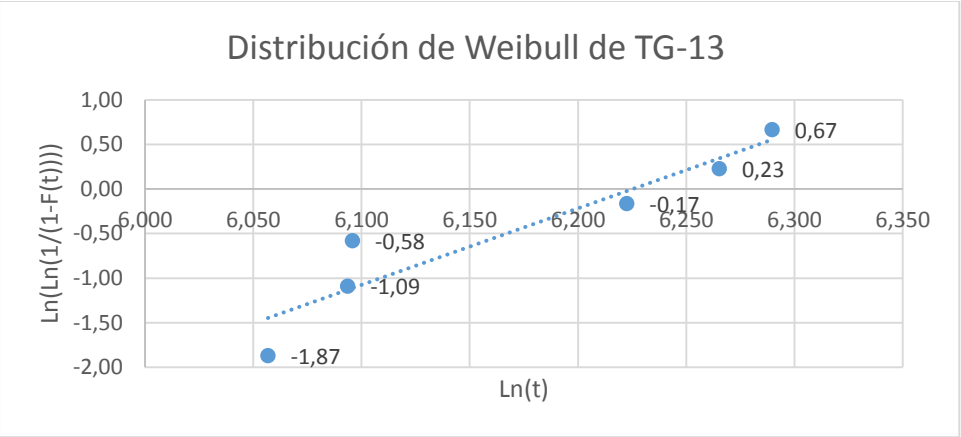


Figura B. 25: Distribución de weibull de TG-13 con β= 8,587, Falla por Desgaste

Indicadores de mantenimiento del TG-13

INDICADORES	DÍAS	HORAS
MTBF	477,516	11460,3792
MTTR	16	384
Disponibilidad	0,97 %	-
Tasa de Fallo	0,063	1,50

Elaborado por: (Autor, 2017)

Anexo B. 26: Parámetros de la distribución de Weibull de TG-31

Pendiente	12,325
Ordenada	-74,521
R2	0,950
β	12,325
η	422,652
A	0,959
B	0,095
MTBF	405,421
σ	40,006

Fuente: (Autor, 2017)

β > 1 Indica falla por desgaste, los programas de inspección son leídos directamente con una probabilidad aceptable de las fallas, por lo tanto, MTTF es menor que η

β > 4 Indica deterioro rápido por edad de uso, modos de falla con edades muy viejas.

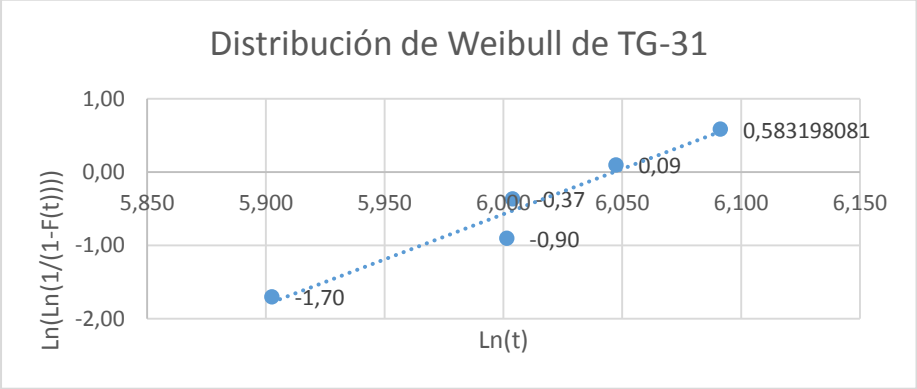


Figura B. 26: Distribución de weibull de TG-31 con β= 12,325 Falla por Desgaste

Indicadores de mantenimiento del TG-31

INDICADORES	DÍAS	HORAS
MTBF	405,421	9730,1096
MTTR	31,4	753,6
Disponibilidad	0,93 %	-
Tasa de Fallo	0,032	0,76

Elaborado por: (Autor, 2017)

Anexo B. 27: Parámetros de la distribución de Weibull de TG-32

Pendiente	4,89
Ordenada	-30,15
R2	0,82
β	4,89
η	476,84
A	0,92
B	0,21
MTBF	437,25
σ	102,24

Fuente: (Autor, 2017)

β > 1 Indica falla por desgaste, los programas de inspección son leídos directamente con una probabilidad aceptable de las fallas, por lo tanto, MTTF es menor que η

β > 4 Indica deterioro rápido por edad de uso, modos de falla con edades muy viejas.

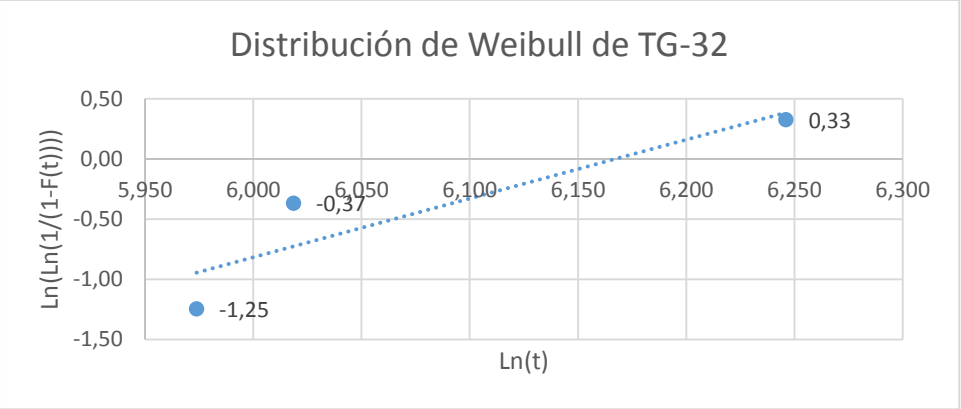


Figura B. 27: Distribución de weibull de TG-32 con β= 4,89, Falla por Desgaste

Indicadores de mantenimiento del TG-32

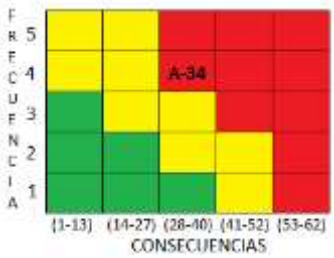
INDICADORES	DÍAS	HORAS
MTBF	437,25	10493,93275
MTTR	18,33333333	440
Disponibilidad	0,96 %	-
Tasa de Fallo	0,055	1,31

Elaborado por: (Autor, 2017)

ANEXO C

1. Criticidad de A-34 - Vehículo de emergencia

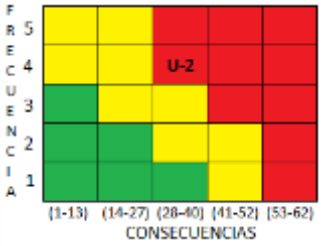
Frecuencia de ocurrencia: 4 (presenta entre 15-20 fallas)
Consecuencia: 8*4 +4+4 = 40
Criticidad total: 4*40 = 160



Anexo C. 1: Matriz de criticidad de A-34, Criticidad alta color rojo

2. Criticidad de U-2 - Vehículo de emergencia

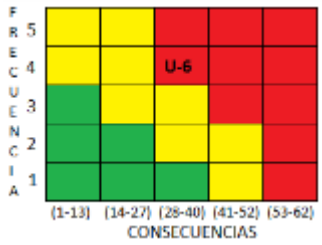
Frecuencia de ocurrencia: 4 (presenta entre 15- 20 fallos)
Consecuencia: 8*3 +3+4 = 31
Criticidad total: 4*31 = 124



Anexo C. 2: Matriz de criticidad de U-2, Criticidad alta color rojo

3. Criticidad de U-6 - Vehículo de emergencia

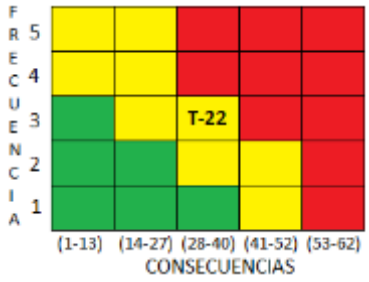
Frecuencia de ocurrencia: 4 (presenta entre 15- 20 fallos)
Consecuencia: 6*4 +2+4 = 30
Criticidad total: 4*30 = 120



Anexo C. 3: Matriz de criticidad de U-6, Criticidad alta color rojo

4. Criticidad de T-22 - Vehículo de emergencia

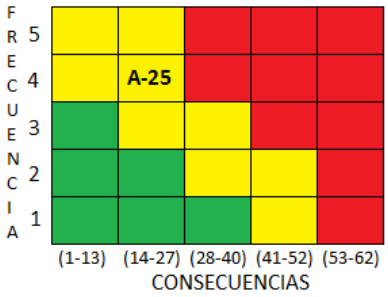
Frecuencia de ocurrencia: 3 (presenta entre 10-14 fallas)
Consecuencia: 6*4 +6+4 = 34
Criticidad total: 3*34 = 102



Anexo C. 4: Matriz de criticidad de T-22, Criticidad media color amarillo

5. Criticidad de A-25 - Vehículo de emergencia

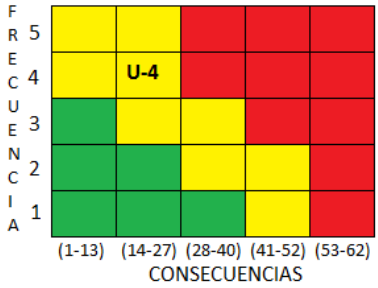
Frecuencia de ocurrencia: 4 (presenta entre 15- 20 fallos)
Consecuencia: 6*3 +4+2 = 24
Criticidad total: 4*24 = 96



Anexo C. 5: Matriz de criticidad de A-25, Criticidad media color amarillo

6. Criticidad de U-4- Vehículo de emergencia

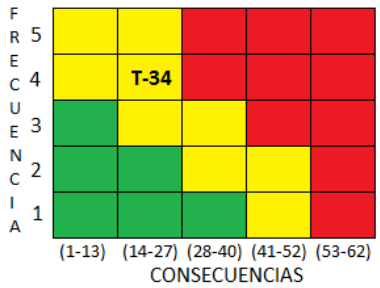
Frecuencia de ocurrencia: 4 (presenta entre 15-20 fallas)
Consecuencia: 6*3 +1+4 = 23
Criticidad total: 4 * 23 = 92



Anexo C. 6: Matriz de criticidad de U-4, Criticidad media color amarillo

7. Criticidad de T-34 - Vehículo de emergencia

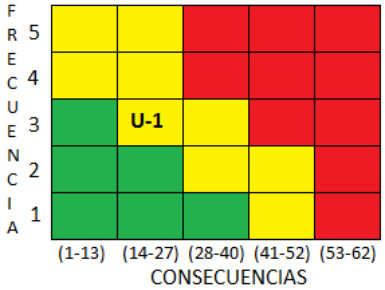
Frecuencia de ocurrencia: 4 (presenta entre 15-20 fallas)
Consecuencia: 3*3 +2+4 = 15
Criticidad total: 4*15 = 60



Anexo C. 7: Matriz de criticidad de T-34, Criticidad media color amarillo

8. Criticidad de U-1 - Vehículo de emergencia

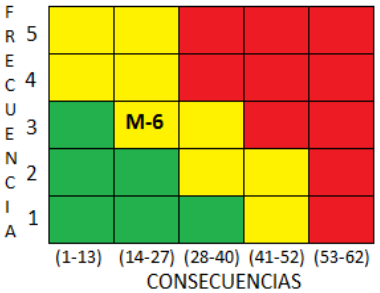
Frecuencia de ocurrencia: 3 (presenta entre 10-14 fallas)
Consecuencia: 6*3 +2+4 = 24
Criticidad total: 3*24 = 72



Anexo C. 8: Matriz de criticidad de U-1, Criticidad media color amarillo

9. Criticidad de M-6 - Vehículo de emergencia

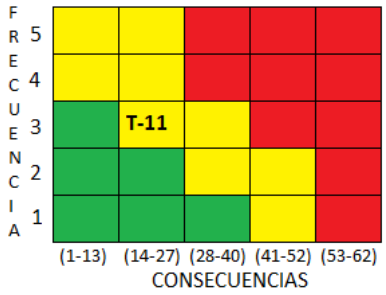
Frecuencia de ocurrencia: 3 (presenta entre 10-14 fallas)
Consecuencia: 3*3 +3+4 = 16
Criticidad total: 3*16 = 48



Anexo C. 9: Matriz de criticidad de M-6, Criticidad media color amarillo

10. Criticidad de T-11 - Vehículo de emergencia

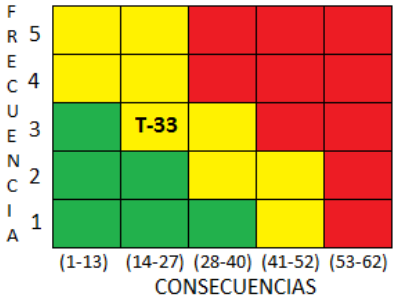
Frecuencia de ocurrencia: 3 (presenta entre 10-14 fallas)
Consecuencia: 3*3 +3+4 = 16
Criticidad total: 3*16 = 48



Anexo C. 10: Matriz de criticidad de T-11, Criticidad media color amarillo

11. Criticidad de T-33 - Vehículo de emergencia

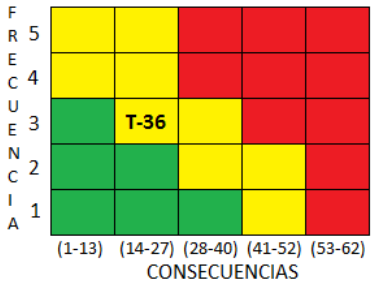
Frecuencia de ocurrencia: 3 (presenta entre 10-14 fallas)
Consecuencia: 3*3 +2+4 = 15
Criticidad total: 3*15 = 45



Anexo C. 11: Matriz de criticidad de T-33, Criticidad media color amarillo

12. Criticidad de T-36 - Vehículo de emergencia

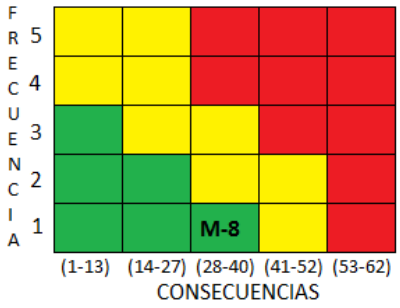
Frecuencia de ocurrencia: 3 (presenta entre 10-14 fallas)
Consecuencia: 3*3 +2+4 = 15
Criticidad total: 3*15 = 45



Anexo C. 12: Matriz de criticidad de T-36, Criticidad media color amarillo

13. Criticidad de M-8 - Vehículo de emergencia

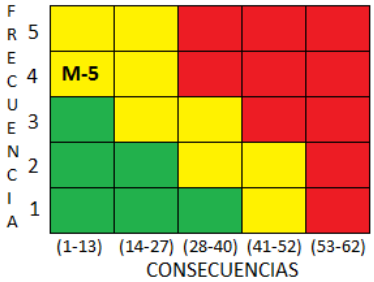
Frecuencia de ocurrencia: 1 (presenta menos de 5 fallas)
Consecuencia: 6*4 +4+4 = 32
Criticidad total: 1*32 = 32



Anexo C. 13: Matriz de criticidad de M-8, Criticidad baja color verde

14. Criticidad de M-5 - Vehículo de emergencia

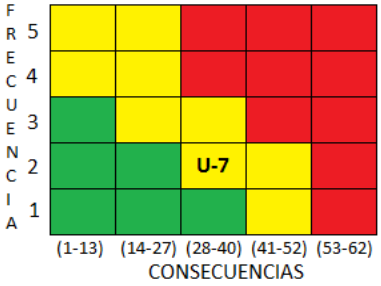
Frecuencia de ocurrencia: 4 (presenta entre 15-20 fallas)
Consecuencia: 1*3 +1+4 = 8
Criticidad total: 4*8 = 32



Anexo C. 14: Matriz de criticidad de M-5, Criticidad media color amarillo

15. Criticidad de U-7 - Vehículo de emergencia

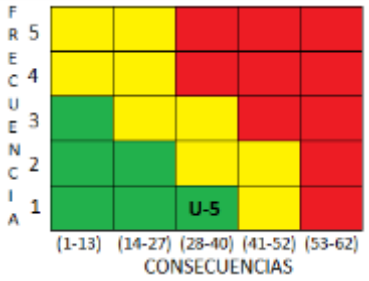
Frecuencia de ocurrencia: 2 (presenta entre 5-9 fallas)
Consecuencia: 3*3 +2+4 = 15
Criticidad total: 2*34 = 30



Anexo C. 15: Matriz de criticidad de U-7, Criticidad media color amarillo

16. Criticidad de U-5 - Vehículo de emergencia

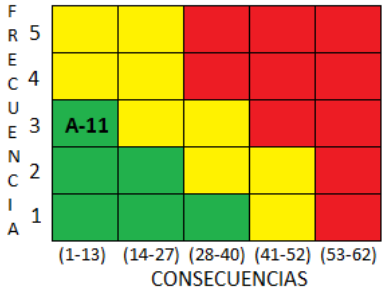
Frecuencia de ocurrencia: 1 (presenta menos de 5 fallas)
Consecuencia: 6*4 +3+4 = 31
Criticidad total: 1*31 = 31



Anexo C. 16: Matriz de criticidad de U-5, Criticidad baja color verde

17. Criticidad de A-11 - Vehículo de emergencia

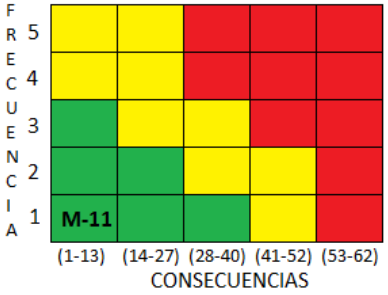
Frecuencia de ocurrencia: 3 (presenta entre 10-14 fallas)
Consecuencia: 3*1+1+4 = 8
Criticidad total: 3*8 = 24



Anexo C. 17: Matriz de criticidad de A-11, Criticidad baja color verde

18. Criticidad de M-11 - Vehículo de emergencia

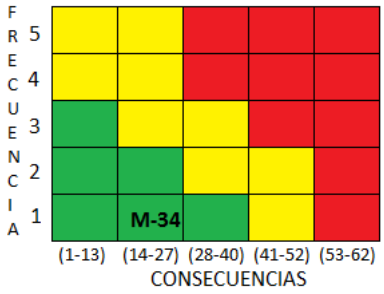
Frecuencia de ocurrencia: 1 (presenta menos de 5 fallas)
Consecuencia: 1*1 +1+4 = 6
Criticidad total: 1*6 = 6



Anexo C. 18: Matriz de criticidad de M-11, Criticidad baja color verde

19. Calculo de la criticidad de M-34 - Vehículo de emergencia

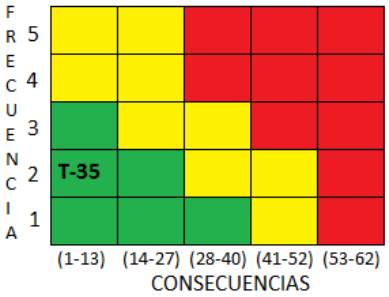
Frecuencia de ocurrencia: 1 (presenta menos de 5 fallas)
Consecuencia: 3*3 +1+4 = 14
Criticidad total: 1*14 = 14



Anexo C. 19: Matriz de criticidad de M-34, Criticidad baja color verde

20. Calculo de la criticidad de T-35 - Vehículo de emergencia

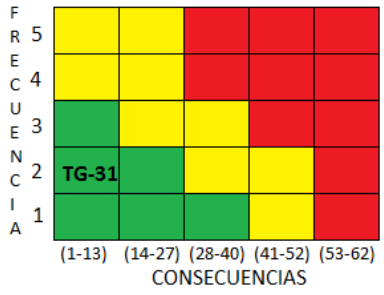
Frecuencia de ocurrencia: 2 (presenta entre 5-9 fallas)
Consecuencia: 1*1 +1+4 = 6
Criticidad total: 2*6 = 12



Anexo C. 20: Matriz de criticidad de T-35, Criticidad baja color verde

21. Calculo de la criticidad de TG-31 - Vehículo de emergencia

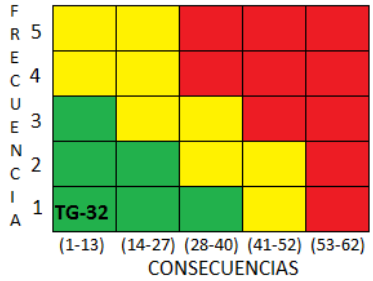
Frecuencia de ocurrencia: 2 (presenta entre 5-9 fallas)
Consecuencia: 1*1 +1+4 = 6
Criticidad total: 2*6 = 12



Anexo C. 21: Matriz de criticidad de TG-31, Criticidad baja color verde

22. Criticidad de TG-32 - Vehículo de emergencia

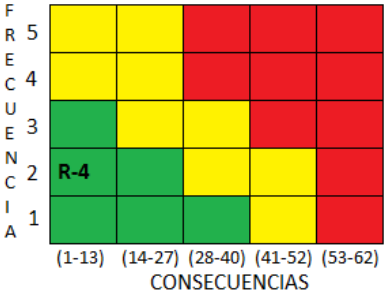
Frecuencia de ocurrencia: 1 (presenta menos de 5 fallas)
Consecuencia: 1*1 +1+4 = 6
Criticidad total: 1*6 = 6



Anexo C. 22: Matriz de criticidad de TG-32, Criticidad baja color verde

23. Criticidad de R-4 - Vehículo de emergencia

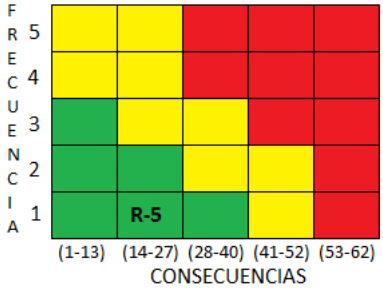
Frecuencia de ocurrencia: 2 (presenta entre 5-9 fallas)
Consecuencia: 1*1 +1+4 = 6
Criticidad total: 2*6 = 12



Anexo C. 23: Matriz de criticidad de R-4, Criticidad baja color verde

24. Criticidad de R-5 - Vehículo de emergencia

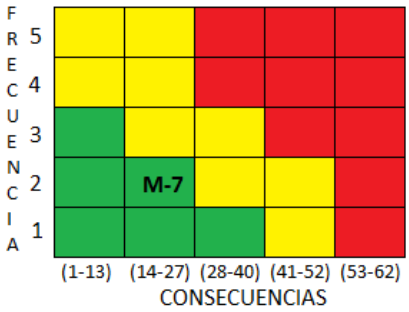
Frecuencia de ocurrencia: 1 (presenta menos de 5 fallas)
Consecuencia: 3*3 +2+4 = 15
Criticidad total: 1*15 = 15



Anexo C. 24: Matriz de criticidad de R-5, Criticidad baja color verde

25. Criticidad de M-7 - Vehículo de emergencia

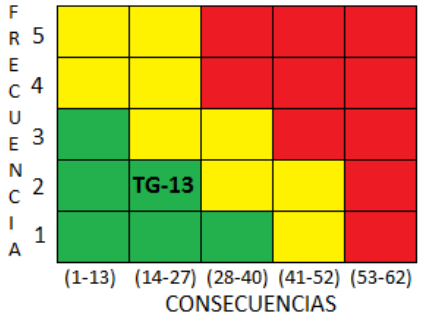
Frecuencia de ocurrencia: 2 (presenta entre 5-9 fallas)
Consecuencia: 3*3 +2+4 = 15
Criticidad total: 2*15 = 30



Anexo C. 25: Matriz de criticidad de M-7, Criticidad baja color verde

26. Criticidad de T-13 - Vehículo de emergencia

Frecuencia de ocurrencia: 2 (presenta entre 5-9 fallas)
Consecuencia: 3*3 +2+4 = 15
Criticidad total: 2*15 = 30



Anexo C. 26: Matriz de criticidad de TG-13, Criticidad baja color verde