

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
UNIDAD DE POSTGRADO**



TESIS DE MAESTRÍA

**PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA
CONFIABILIDAD (RCM) PARA MEJORAR LA
DISPONIBILIDAD MECÁNICA DE LOS BUSES DE
TRANSPORTE “WAYNA BUS”**

Tesis de Postgrado presentada para la obtención del grado de
Magister Scientiarum en Gestión del Mantenimiento

POSTULANTE: Luis Andrés Copa Yujra

TUTOR: M.Sc. Jaime Condori Marza

LA PAZ – BOLIVIA

Diciembre, 2019

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
UNIDAD DE POST GRADO

Tesis de Postgrado:

**PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA
CONFIABILIDAD (RCM) PARA MEJORAR LA
DISPONIBILIDAD MECÁNICA DE LOS BUSES DE
TRANSPORTE “WAYNA BUS”**

Presentada por: Lic. Luis Andrés Copa Yujra

Para optar el grado académico de Magister en Gestión del Mantenimiento

Nota numeral:

Nota literal:

Ha sido:

Tutor: M.Sc. Lic. Jaime Condori Marza

Tribunal: M.Sc. Lic. Dionisio Fernando Aruquipa Nina

Tribunal: M.Sc. Lic. Walter León Calvimontes Delgadillo

Dedicatoria

Agradecer en primer lugar a Dios, por darme la vida y con esta pueda conseguir mis metas.

A mi esposa Jenny Aguilera Mamani, mis hijas Mayda y Noelia, que siempre han estado conmigo apoyándome, en momentos de decaimiento fueron mis motores para seguir adelante.

A mis padres Valentín Copa Velásquez (Q.D.D.G.) y Bernarda Yujra Pacari, ya que gracias a ellos me realicé como persona y siempre les estaré agradecido, a mis hermanos Carlos, Yola y Raúl por su apoyo y aliento.

Finalmente, a mi familia y amigos, especialmente a la Sra. Roxana Sánchez Flores por su apoyo incondicional, ya que con su granito de arena han hecho posible que mis metas fueran logradas.

Agradecimientos

A mi Tutor MSc. Lic. Jaime Condori Marza por sus sugerencias y su experiencia brindada durante el desarrollo del proyecto.

A los miembros del Tribunal examinador: M.Sc. Lic. Dionisio Fernando Aruquipa Nina, M.Sc. Lic. Walter León Calvimontes Delgadillo mis agradecimientos por los consejos y sugerencias.

A mis familiares y amigos que me apoyaron durante mis estudios.

Índice de contenido

Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos	iv
Índice de contenido	v
Índice de figuras.....	xii
Índice de tablas	xiii
Resumen.....	xvi
Abstract.....	xvii
Capítulo 1.....	1
Introducción	1
1.1 Marco Institucional	3
1.2 Planteamiento del problema.....	5
1.3 Objetivos de la Tesis de Postgrado	5
1.3.1 Objetivo General	6
1.3.2 Objetivos Específicos	6
1.4 Preguntas de la Investigación	6
1.5 Justificación de la Tesis de Postgrado	6
1.6 Hipótesis	6
1.7 Metodología	7
1.7.1 Localización	7
1.7.2 Condiciones para el trabajo	7
1.7.3 Diseño de la Investigación.....	7
1.7.3.1 Tipo de Investigación.....	7
1.7.3.2 Métodos y técnicas de Investigación.....	9
1.7.3.2.1 Método.....	9
1.7.3.2.2 Técnica	10
1.7.3.2.3 Variables a evaluar	12
1.7.3.2.4 Población y muestra	16
1.7.3.2.5 Modelo estadístico.....	16
1.7.3.2.6 Instrumentos de recolección de datos.....	16
1.7.3.2.7 Descripción del procedimiento seguido	16

1.7.3.2.7.1	Descripción de actividades	17
1.7.3.2.7.2	Organización de datos	17
1.7.3.2.7.3	Procesamiento de la información	17
Capítulo 2.....		18
Marco Teórico Referencial		18
2.1 Teoría del mantenimiento automotriz.....		18
2.1.1 Principios básicos del mantenimiento automotriz.....		18
2.1.2 Objetivos del mantenimiento automotriz		19
2.1.2.1 Recursos Humanos – Mano de Obra.....		20
2.1.2.2 Recursos materiales – Herramientas, equipos e instalaciones		20
2.1.2.3 Recursos Informáticos – Datos Técnicos.....		20
2.2 Indicadores del mantenimiento.....		21
2.2.1 Disponibilidad		21
2.2.2 Fiabilidad.....		22
2.2.3 Mantenibilidad.....		22
2.3 Tipos de Mantenimiento		22
2.3.1 Mantenimiento correctivo		22
2.3.1.1 Ventajas y desventajas del Mantenimiento Correctivo.....		23
2.3.1.2 Clasificación del Mantenimiento Correctivo		23
2.3.2 Mantenimiento preventivo.....		24
2.3.2.1 Actividades propias del mantenimiento preventivo vehicular.....		24
2.3.2.1.1 Revisión de nivel diario.....		24
2.3.2.1.2 Revisiones de Taller		25
2.3.2.2 Ventajas y desventajas del Mantenimiento Preventivo.....		26
2.3.3 Mantenimiento Predictivo		26
2.3.3.1 Técnicas Predictivas de Mantenimiento.....		27
2.3.3.2 Ventajas y desventajas del Mantenimiento Predictivo.....		28
2.4 Técnicas avanzadas de Mantenimiento.....		28
2.4.1 Mantenimiento Productivo Total (TPM).....		28
2.4.1.1 Estructura Básica del TPM.....		29
2.4.1.2 Las 5 Ss		30
2.4.1.3 Ventajas y desventajas del TPM		31
2.4.2 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).....		31

2.4.2.1	Historia del RCM – Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad	32
2.4.2.2	Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM)	34
2.4.2.3	Metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.....	35
2.4.2.3.1	Funciones y estándares de uso.....	37
2.4.2.3.2	Fallos funcionales (FF).....	37
2.4.2.3.3	Modos de fallo funcional (MF)	38
2.4.2.3.4	Causas del Fallo.....	38
2.4.2.3.4	Efectos del fallo (EF).....	39
2.4.2.3.5	Consecuencias del fallo (CF).....	39
2.4.2.4	Indicadores de mantenimiento	40
2.4.2.4.1	MTBF (Mid Time Between Failure, Tiempo Medio Entre Fallos).....	42
2.4.2.4.2	MTTR (Mid Time To Repair, Tiempo Medio De Reparación)	42
2.4.2.4.3	Disponibilidad	42
2.4.2.4.3.1	Disponibilidad total	43
2.4.2.4.3.2	Disponibilidad por averías.....	43
2.4.2.4.	Tasa de fallos	43
2.4.2.5	Criticidad de los Modos de Fallo (CR)	44
2.4.2.6	Selección del Plan	45
2.4.2.6.1	Tareas proactivas	45
2.4.2.6.2	Proceso de selección de tareas.....	45
2.4.2.6.3	Planificación del Proceso RCM.....	46
2.4.2.7	Principales Tareas del Análisis RCM	46
2.4.2.8	Relación entre el comportamiento de las fallas y las diferentes tareas de Mantenimiento	47
2.4.2.3	Ventajas y desventajas del RCM.....	48
2.5	Mantenimiento basado en la condición	49
2.5.1	El Objetivo de MBC y las Fases del Proceso	50
2.5.1.1	Beneficios de un Programa de Mantenimiento Basado en Condición.....	51
2.5.1.2	Selección de la tecnología adecuada	52
2.6	Antecedentes y generalidades del transporte	54
2.7	Sistemas y subsistemas de una unidad de Transporte Wayna Bus	58
2.7.1	Sistema bastidor y carrocería.....	58
2.7.2	Motor	59

2.7.2.1	Subsistemas del motor.....	59
2.7.2.1.1	Sistema de inyección de combustible.....	59
2.7.2.1.2	Sistemas de Admisión y Escape	60
2.7.2.1.2.1.	Sistema de Admisión.....	60
2.7.2.1.2.2	Sistema de Escape	61
2.7.2.1.3	Sistema de lubricación.....	61
2.7.2.1.3.1	Funcionamiento del sistema de lubricación	61
2.7.3.2.1.4	Sistema de refrigeración	62
2.7.3	Sistema de frenos.....	63
2.7.3.1	Elementos del sistema de frenos	64
2.7.4	Sistema de transmisión	67
2.7.4.1	Elementos del sistema de transmisión.....	68
2.7.5	Sistema de dirección.....	68
2.7.5.1	Elementos de mando	69
2.7.6	Sistema de suspensión	70
2.7.6.1	Elementos del sistema de suspensión.....	70
2.7.7	Ruedas	72
2.7.8	Sistema eléctrico.....	72
2.7.9	Sistema electrónico (sensores y actuadores)	73
2.7.9.1	ECU.....	73
2.7.9.2	Sensores.....	74
2.7.9.2.1	Sensor de presión del múltiple MAP.....	74
2.7.9.2.2.	Sensor de posición del acelerador (TPS).....	74
2.7.9.2.3.	Sensor de velocidad.....	74
2.7.9.2.4.	Sensor de temperatura de aire.....	75
2.7.9.2.5	Sensor de temperatura de agua	75
2.7.9.2.6	Sensor de posición del árbol de levas.....	75
2.7.9.2.7	Sensor de posición del cigüeñal (CKP).....	75
2.7.9.2.8	Sensor de flujo de masa de aire	76
2.7.9.2.9	Sensor de presión barométrica.....	76
2.7.9.2.10	Sonda Lambda.....	76
2.7.9.2.11	Sensor de presión de sobrealimentación.....	76
2.7.9.2.12	Sensor de presión de aceite.....	77

2.7.9.2.13	Sensor de presión de combustible en el riel	77
2.7.9.3	Actuadores.....	77
2.7.9.3.1	Válvula reguladora de presión del riel.....	77
Capítulo 3.....		78
Desarrollo de la Investigación		78
3.1	Descripción	78
3.2	Utilización del método análisis modal de falla – efecto (AMFE)	78
3.3	Consideraciones generales	78
3.3.1	Descripción del método	79
3.3.1.1	Identificar los componentes y codificación.....	79
3.3.1.2	Aclarar las funciones de la parte o componente analizado	79
3.3.1.3	Determinar los modos potenciales de fallo	79
3.3.1.4	Enumerar los efectos potenciales de fallo	80
3.3.1.5	Identificar las causas potenciales de fallo	81
3.3.1.6	Determinar índices de evaluación para cada modo de fallo.....	81
3.3.1.6.1	Índice de Gravedad (G)	81
3.3.1.6.2	Índice de Frecuencia (F).....	82
3.3.1.6.3	Índice de Detección (D).....	83
3.3.1.7	Calcular el Índice de Prioridad de Riesgo (IPR).....	84
3.3.1.8	Proponer acciones de mejora	85
3.3.1.9	Definir responsables.....	85
3.3.1.10	Determinar el nuevo valor del IPR.....	85
3.3.1.11	Acciones implantadas (opcional)	85
3.4	Priorización del sistema y subsistema para aplicación del método AMFE	87
3.4.2	Determinación del sistema	87
3.4.2.1	Diagrama de Pareto	88
3.4.2.1.1	Diagrama de Pareto para seleccionar los sub-sistemas críticos.....	88
3.4.2.1.2	Determinación de causas de fallo.....	90
3.5	Codificación utilizada	91
3.5.1	Codificación del sistema.....	91
3.5.2	Codificación de los sistemas	91
3.5.2.1	Codificación de subsistemas del Motor	91
3.5.3	Codificación de los componentes	92

3.5.4	Codificación de los modos de fallo	92
3.5.4.1	Diagnóstico de Fallos Mecánicos: Diagrama Causa-Efecto	92
3.5.4.1.1	Diagrama de Ishikawa para los distintos tipos de fallo	93
3.5.4.2	Cuadro de Fallos Mecánicos	98
3.6	Aplicación del análisis modal de falla – efecto	99
3.6.1	AMFE (Análisis Modal de Fallos y Efectos)	99
3.6.1.1	Tipos de AMFE.....	99
3.6.2	Identificación de los sistemas, componentes y funciones	103
3.6.2.1	Sistema de Transmisión	103
3.6.2.1.1	Sistema de Transmisión.....	103
3.6.2.1.1.1	Funciones del Sistema de Transmisión	103
3.6.2.1.2	Sistema de Dirección.....	104
3.6.2.1.2.1	Funciones del Sistema de Dirección.....	104
3.6.2.1.3	Sistema de Suspensión	105
3.6.2.1.3.1	Funciones del Sistema de Suspensión	105
3.6.2.1.4	Sistema de Ruedas y Neumáticos.....	106
3.6.2.1.4.1	Funciones del sistema de Ruedas y Neumáticos	106
3.6.2.1.5	Sistema de Bastidor y Carrocería	107
3.6.2.1.5.1	Funciones del sistema de Bastidor y Carrocería.....	107
3.6.2.2	Sistema Eléctrico.....	107
3.6.2.2.1	Sistema Eléctrico	107
3.6.2.2.1.1	Funciones del Sistema Eléctrico.....	107
3.6.2.2.2	Sistema Electrónico	109
3.6.2.2.2.1	Funciones del Sistema Electrónico.....	109
3.6.2.3	Sistema Motor	110
3.6.2.3.1	Sistema Motor	110
3.6.2.3.1.1	Funciones del Sistema Motor	110
3.6.2.3.2	Sistema de Distribución del Motor.....	111
3.6.2.3.2.1	Funciones del sistema de Distribución del Motor	111
3.6.2.3.3	Sistema de Inyección de Combustible.....	112
3.6.2.3.3.1	Funciones del Sistema de Inyección de Combustible	112
3.6.2.3.4	Sistema de Lubricación del Motor	112
3.6.2.3.4.1	Funciones del Sistema de Lubricación del Motor	112

3.6.2.3.5	Sistema de Refrigeración del Motor.....	113
3.6.2.3.5.1	Funciones del Sistema de Refrigeración del Motor	113
3.6.2.4	Sistema de Frenos	114
3.6.2.4.1	Funciones del subsistema de frenado	114
3.7	Distribución de Weibull.....	178
3.8	Distribución de una falla.....	178
3.9	Indicadores de mantenimiento	179
3.10	Graficas de la distribución de Weibull y sus respectivos indicadores de Mantenimiento	180
Capítulo 4.....		193
Resultados.....		193
4.1	Resultados.....	193
Capítulo 5.....		207
Conclusiones y recomendaciones		207
5.1	Conclusiones.....	207
5.2	Recomendaciones	208
Referencias bibliográficas.....		209
Anexos		210

Índice de figuras

Figura 1. Tareas típicas de mantenimiento correctivo	23
Figura 2. Tareas típicas de mantenimiento preventivo	24
Figura 3. Tareas típicas del mantenimiento predictivo.....	27
Figura 4. Estructura Fundamental del TPM.....	29
Figura 5. Cambios en las expectativas del mantenimiento	33
Figura 6. Cambios en las expectativas del mantenimiento.....	33
Figura 7. Resumen de las principales tareas del RCM	47
Figura 8. Representación de algunos factores a tomarse en cuenta en el	47
Figura 9. Medio de transporte.....	54
Figura 10. Transporte por tranvía	54
Figura 11. Transporte por tren	55
Figura 12. Primeros buses de transporte Sindicato “Litoral”	55
Figura 13. Flota de buses “Puma Katari”	56
Figura 14. Prototipo del bus “Sariri”	56
Figura 15. Chasis de Ómnibus Volksbus 18 – 320 EOT	58
Figura 16. Gráfico de situación de AMFE.....	86
Figura 17. Diagrama de Pareto para los Sistemas de los buses	89
Figura 18. Determinación de principales causas de fallas	90
Figura 19. Diagrama de Ishikawa para identificar causas de fallo del Sistema de Transmisión	94
Figura 20. Diagrama de Ishikawa para identificar causas de fallo del Sistema Eléctrico	95
Figura 21. Diagrama de Ishikawa para identificar causas de fallo del Sistema Motor.....	96
Figura 22. Diagrama de Ishikawa para identificar causas de fallo del Sistema de Frenos ...	97
Figura 23. Distribución de Weibull del bus BV-01	182
Figura 24. Distribución de Weibull del bus BV-04	183
Figura 25. Distribución de Weibull del bus BV-11	184
Figura 26. Distribución de Weibull del bus BV-18.....	186
Figura 27. Distribución de Weibull del bus BV-26.....	187
Figura 28. Distribución de Weibull del bus BV-30.....	188
Figura 29. Distribución de Weibull del bus BV-43.....	190
Figura 30. Distribución de Weibull del bus BV-54.....	191

Índice de tablas

Tabla 1. Ventajas y desventajas del uso del mantenimiento correctivo	23
Tabla 2. Revisiones de Taller	25
Tabla 3. Ventajas y Desventajas del Mantenimiento Preventivo	26
Tabla 4. Técnicas predictivas de mantenimiento.....	27
Tabla 5. Ventajas y Desventajas del Mantenimiento Predictivo	28
Tabla 6. Significado de las 5Ss.....	30
Tabla 7. Principales Ventajas y Desventajas del TPM	31
Tabla 8. Siete preguntas básicas del RCM Fuente: (RCM, 1999).....	35
Tabla 9. Hoja de Información RCM	36
Tabla 10. Consecuencias del modo de fallo	40
Tabla 11. Indicadores de mantenimiento.....	42
Tabla 12. Tabla de detectabilidad.....	44
Tabla 13. Probabilidad de fallo y acciones de mantenimiento vehicular	48
Tabla 14. Ventajas y desventajas de la aplicación del RCM.....	49
Tabla 15. Clasificación de la gravedad del modo de falla.....	82
Tabla 16. Clasificación de la probabilidad del modo de falla	83
Tabla 17. Clasificación de la facilidad de detección del modo de falla.....	84
Tabla 18. Valores sobresalientes del IPR	84
Tabla 19. Identificación de los sistemas que más ha causado problemas en los buses en los dos últimos meses	87
Tabla 20. Tabla de Pareto para fallas de los buses	89
Tabla 21. Identificación de las principales causas que ocasionan fallos	90
Tabla 22. Codificación utilizada para modos de fallo	92
Tabla 23. Codificación de los modos de fallo mecánico	98
Tabla 24. Probabilidad de ocurrencia	101
Tabla 25. Gravedad de fallo.....	101
Tabla 26. Probabilidad de no detección.....	102
Tabla 27. Funciones del Subsistema de Transmisión	104
Tabla 28. Funciones del Subsistema de Dirección	105

Tabla 29. Funciones del Sistema de Suspensión	106
Tabla 30. Funciones del Subsistema Ruedas y Neumáticos	106
Tabla 31. Funciones del Subsistema Bastidor y Carrocería	107
Tabla 32. Funciones del Sistema Eléctrico	108
Tabla 33. Funciones del Subsistema Electrónico	109
Tabla 34. Codificación de los modos de fallo mecánico	110
Tabla 35. Funciones de los componentes del Subsistema de Distribución del Motor.....	111
Tabla 36. Funciones del Subsistema de Inyección de Combustible del Motor	112
Tabla 37. Funciones del Subsistema de Lubricación del Motor.....	113
Tabla 38. Funciones de los componentes del Subsistema de Refrigeración del Motor.....	114
Tabla 39. Funciones del Subsistema de frenado.....	114
Tabla 40. AMFE para el Sistema de Transmisión	116
Tabla 41. AMFE para el Sistema de Dirección	122
Tabla 42. AMFE para el Subsistema de Suspensión	125
Tabla 43. AMFE para el Sistema de Ruedas y Neumáticos	127
Tabla 44. AMFE para el Sistema Bastidor y Carrocería	129
Tabla 45. AMFE para el Subsistema Eléctrico.....	131
Tabla 46. AMFE para el Sistema Electrónico	133
Tabla 47. AMFE para el Sistema Motor.....	137
Tabla 48. AMFE para el Subsistema de Distribución del Motor	143
Tabla 49. AMFE para el Subsistema de Inyección de Combustible.....	150
Tabla 50. AMFE para el Sistema de Lubricación del Motor.....	152
Tabla 51. AMFE para el Subsistema de Refrigeración del Motor.....	154
Tabla 52. AMFE para el Subsistema de Frenado.....	157
Tabla 53. Cuadro de Acciones Correctivas para el Subsistema de Transmisión.....	163
Tabla 54. Cuadro de correctivos para el Sistema de Transmisión.....	164
Tabla 55. Cuadro de correctivos para el Sistema de Dirección	164
Tabla 56. Cuadro de correctivos para el Sistema de Suspensión.....	165
Tabla 57. Cuadro de correctivos para el Sistema Ruedas y Neumáticos.....	165
Tabla 58. Cuadro de correctivos para el Sistema Bastidor y Carrocería	166
Tabla 59. Cuadro de correctivos para el Sistema Eléctrico y Electrónico.....	166
Tabla 60. Cuadro de correctivos para el Sistema Motor.....	167
Tabla 61. Cuadro de correctivos para el Sistema de Distribución del Motor	168

Tabla 62. Cuadro de correctivos para el Sistema de Distribución del Motor	169
Tabla 63. Cuadro de correctivos para el Sistema de Inyección de Combustible.....	169
Tabla 64. Cuadro de correctivos para el Sistema de Lubricación del Motor.....	170
Tabla 65. Cuadro de correctivos para el Sistema de Refrigeración del Motor	171
Tabla 66. Cuadro de correctivos para el Sistema de Frenos	172
Tabla 67. Plan de Mantenimiento Propuesto para el Sistema de Transmisión.....	173
Tabla 68. Plan de Mantenimiento Propuesto para el Sistema de Chasis	174
Tabla 69. Plan de Mantenimiento Propuesto para el Sistema Electrico	175
Tabla 70. Plan de Mantenimiento Propuesto para el Sistema Motor.....	176
Tabla 71. Plan de Mantenimiento Propuesto para el Sistema de Frenos	177
Tabla 72. Parámetros que definen la distribución de Weibull de BV-01	183
Tabla 73. Parámetros que definen la distribución de Weibull de BV-04	184
Tabla 74. Parámetros que definen la distribución de Weibull de BV-11	185
Tabla 75. Parámetros que definen la distribución de Weibull de BV-18	186
Tabla 76. Parámetros que definen la distribución de Weibull de BV-26	188
Tabla 77. Parámetros que definen la distribución de Weibull de BV-30	189
Tabla 78. Parámetros que definen la distribución de Weibull de BV-43	190
Tabla 79. Parámetros que definen la distribución de Weibull de BV-54	192
Tabla 80. Causas de fallas de los buses	193
Tabla 81. Cuadro de Mantenimiento recomendado por el fabricante.....	194
Tabla 82. Tabla de aplicación de revisiones basadas en el kilometraje recorrido	195
Tabla 83. Tabla de Mantenimiento Propuesto	197
Tabla 84. Plan de Mantenimiento Propuesto	198
Tabla 85. Servicios de Mantenimiento Preventivo Propuesto	200

Resumen

El presente trabajo de investigación se basa en la propuesta de un Plan de Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM), para los buses de Transporte Masivo “Wayna Bus” del Gobierno Autónomo Municipal de El Alto, 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 buses presenten fallas, se procedió a realizar un análisis de modos y efectos de falla (AMEF).

Para ello, es necesario definir las funciones principales de los buses de transporte masivo, sus modos de falla, los efectos de falla y el origen que generan las fallas en los buses, 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 de los buses. 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 buses seguros que se prestan a ser fiables para los usuarios.

Para corroborar con el proceso de localizar las unidades críticas, se analizó una muestra de los buses bajo ciertos parámetros como: Regla de Sturges, Diagramas de Pareto, que nos permitió realizar un análisis de los sistemas con más fallos. 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 bus de transporte.

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

Abstract

This research paper is based on the proposal of a Reliability-Focused Maintenance Plan (RCM), for the "Wayna Bus" Mass Transport buses of the Municipal Autonomous Government of El Alto, based on a criticality analysis of them for later apply the RCM methodology. Once the critical parts that lead to faults of the buses were determined, a mode and failure effects analysis (AMEF) was performed.

To do this, it is necessary to define the main functions of mass transport buses, their failure modes, the failure effects and the origin that generate the failures in the buses, in order to determine a Maintenance Plan that avoids potential failures generated at the length of the operating time, giving effect the consequent stops of the buses.

This plan is based on maintenance activities, frequencies and the control manager, with the aim of performing proper maintenance based on the criticality of each unit, thus having safe buses that lend themselves to be reliable for users.

To corroborate with the process of locating the critical units, a sample of the buses was analyzed under certain parameters such as: Sturges Rule, Pareto Diagrams, which allowed us to perform an analysis of the systems with more failures. The weibull distribution, with which we analyzed the time of good functioning vs repair times, which raised certain maintenance indicators, including the availability of each transport bus.

After detecting which systems have critically classified failures, solutions were proposed, in order to increase availability and minimize repair costs. Achieving more reliable and undoubted transport buses at the time of carrying out their respective functions for which they were designed, maintaining security and safeguarding users on board buses.

Capítulo 1

Introducción

El transporte urbano se ha incrementado muy rápidamente con una variedad innumerable de vehículos, entre ellos los buses de transporte masivo que prestan un servicio continuo en la ciudad de El Alto, denominados “WAYNA BUS”.

El Wayna Bus en su concepción está orientado hacia la búsqueda de un cambio de paradigma en la movilidad urbana, que conlleve una serie de lineamientos de educación vial y equipamiento, bajo la visión integral que demanda un abordaje moderno de la Movilidad Urbana sostenible, orientado a un nuevo servicio de autotransporte público masivo de pasajeros, que ofrezca confort y un servicio de calidad hacia los usuarios.

El Wayna Bus es el proyecto de transporte masivo encarado por el Gobierno Autónomo Municipal de la ciudad de El Alto, para resolver un serio problema de acceso al transporte de parte de los habitantes de esta ciudad. Wayna en aymara significa Joven.

En la etapa inicial del Wayna Bus, antes Bus Sariri, se esperaba que se desplace sobre vías troncales y segregadas; en procura de consolidar un modo de transporte más rápido que vincule áreas periféricas del sur hacia la periferie norte de la ciudad de El Alto, en ese marco, operaron 60 buses; cada uno con una capacidad de 82 pasajeros, de los cuales 34 viajan sentados y cuenta con un espacio para silla de ruedas, con su correspondiente ascensor hidráulico.

El 15 de septiembre de 2014 llegó el primer prototipo de una flota de 60 buses.

El 22 de diciembre de 2014, se presentó oficialmente la flota de 60 buses a los habitantes de El Alto, con una caravana a lo largo de la ciudad, anunciado su puesta en marcha para los primeros días de enero del 2015.

Desde el 3 de marzo de 2015, después de un periodo de modificaciones en el proyecto original, comienzan las operaciones comerciales del Sariri, con dos rutas: Maya y Paya, uno y dos en aymará.

El lote comprende 60 autobuses de la marca Volkswagen con tecnología alemana y es ensamblado en Brasil con carrocería Mascarello. El Autobús de modelo 2014 Volksbus 18.320 EOT presenta las siguientes características técnicas:

- Chasis de bus mediano con Certificaciones Internacionales de calidad y durabilidad ISO respaldadas de chasis, carrocería y motor.

- Modelo 18.320 EOT equipado con una motorización electrónica de 8.270 cc Cummins ISC (Idle Speed Control), Turbo Intercooler, posee la tecnología de emisión de gases Euro III.

- Sistema de inyección Common Rail, con una velocidad máxima de 120 km/h. Su gran potencia de 320 cv, cataloga a este autobús mediano como uno de los más potentes en su categoría, con un menor consumo de combustible (diesel), en comparación a buses de similar cilindrada.

- La transmisión y la caja de cambios está respaldada por una marca de calidad a nivel mundial como lo es Eaton, es de seis velocidades más una de reversa.

- Los aros de las ruedas son de 8,25” x 22,5. El chasis del 18.320, tiene una distancia reducida entre ejes que llega a los 3.000 mm (acondicionada para ser alargada). Por su parte, el largo total es de 8.517 mm; el peso bruto total admisible asciende a las 18 toneladas.

- La suspensión delantera es neumática con dos bolsas de aire, válvula niveladora de altura, amortiguadores de acción doble, muelles parabólicos y barra estabilizadora. La suspensión trasera es similar, pero tiene amortiguadores hidráulicos, muelles tipo “Z” y barra Panhard. Permitirá que los pasajeros puedan disfrutar del máximo confort y seguridad al momento de viajar gracias a las bolsas de aire en la suspensión.

- Como medida de seguridad, los frenos presentan tambor en ambos ejes. El freno de servicio tiene un accionamiento neumático con doble circuito independiente de tres tanques de aire, tambores en las ruedas delanteras y traseras, Área efectiva de frenado de 5,445 cm². El freno de emergencia y estacionamiento de accionamiento neumático con resorte acumulador.

A no más de cuatro meses de funcionamiento, la flota de buses presentó los siguientes problemas: Daños por choques y pedradas, cambio total de las rutas, tarifa que solo cubre el 50 % del costo del combustible, problemas en los motores causados por diésel de mala calidad y tránsito sobre rutas de tierra, así como desgaste anormal de los diferentes sistemas del bus.

Se trata de elementos de los diferentes sistemas de los buses con tasas de fallos que pueden ser conocidas o estimadas fácilmente, con una larga vida útil, por lo que podemos ver la evolución en el tiempo, que deben satisfacer una demanda variable y que aleatoriamente irán fallando, variando la capacidad de servicio de los buses. Por otro lado, tenemos el Centro de servicio y mantenimiento de los buses de transporte masivo “Wayna Bus” en los que se realizan labores de mantenimiento y reparación de los buses, lo cual conlleva gastos que en el momento oportuno podían evitarse.

Debido a las características de los elementos de cada uno de estos sistemas, en algunos casos su desgaste prematuro es evidente, tomando en cuenta que el servicio de transporte es continuo, por lo que cambio de éstos se los realiza en tiempos que no están previstos en el plan de mantenimiento del bus, teniendo que realizar una parada no programada del bus para realizar la correspondiente intervención.

La presente investigación titulada "Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para mejorar la disponibilidad de los Buses de Transporte Masivo “Wayna Bus” ", pretende mostrar que hoy en día el mantenimiento predictivo de los buses de transporte ha tomado un rol importante en las empresas de transporte masivo, en el cual la programación de mantenimientos debe ser anticipada para que de esta forma no afecte la producción y por ende la disponibilidad de los equipos.

Los operadores de mantenimiento de los buses con los que cuenta el sistema de transporte masivo “Wayna Bus”, deben tener cuidado en las paradas inesperadas que pueda presentar y afectar la disponibilidad de la empresa, por otro lado, el congestionamiento de las rutas por las cuales circula este bus hace que el uso del sistema de frenos sea continuo por ende una de las causas de las paradas imprevistas o de fallas en los buses.

1.1 Marco Institucional

Mediante Ley N° 728 del 6 de marzo de 1985, se crea la Cuarta Sección Municipal de la Provincia Murillo del Departamento de La Paz, con su Capital El Alto de La Paz, la misma que fue elevada a rango de ciudad mediante Ley N° 1014, del 26 de septiembre de 1988, durante la presidencia del Dr. Víctor Paz Estensoro.

Se encuentra la urbe Alteña; ubicado en una meseta de superficie plana y ondulada, al pie de la Cordillera de La Paz (Meseta del Altiplano Norte) y de la Cordillera Oriental, al Noreste

de Bolivia a 16°30' Sur y 68°12' Oeste. A una altura de 4.050 m.s.n.m. Limita al Norte con la Sección Capital de la Provincia Murillo, al Este con el Municipio de La Paz, al Sur con el Cantón Viacha, perteneciente a la Provincia Ingavi, y al Oeste con el Cantón Laja, correspondiente a la Segunda Sección de la Provincia Los Andes.

La extensión territorial del Municipio de El Alto, considerando el Distrito 13, es aproximadamente, de 387.56 Km². (38.756 Has), que representa el 7.58% de la superficie total de la Provincia Murillo.

Se sitúa en el tercer lugar de las secciones geográficas más pobladas de Bolivia, esto sobre la base de la información del Censo Nacional de Población y Vivienda INE 2001, en la cual la proyección poblacional del Municipio de El Alto es de 933.053 habitantes para el año 2019. Esto refleja que se tienen entonces, mayores demandas por terrenos, servicios básicos, transporte, infraestructura educativa y en salud y recursos humanos.

El transporte en la Ciudad de El Alto es uno de los principales problemas a resolver debido a su crecimiento desordenado generando problemas de embotellamiento en ciertos sectores de la ciudad como ser la Ceja.

En esta urbe, debido a la existencia e intersección de importantes rutas nacionales se tiene una demanda de transporte interprovincial, interdepartamental e internacional de pasajeros y carga. Las rutas del transporte interdepartamental provienen desde la ciudad de La Paz, principalmente por la Autopista La Paz-El Alto utilizando la red de la Ceja, para acceder a su terminal, y continúan por la Av. 6 de marzo hacia destinos en el interior y exterior del país, con un volumen promedio diario de buses de más de 500 vehículos/día.

Para la regulación y control del transporte, el Gobierno Autónomo Municipal de El Alto cuenta con la Secretaría Municipal de Movilidad Urbana Sostenible cuyas funciones son formular estrategias e instrumentos de planificación del sistema de transporte, tráfico y vialidad del Municipio, integrados a la planificación territorial; administrando los sistemas viales y de transporte, en el marco del desarrollo territorial sostenible.

Para satisfacer la necesidad de transporte se desarrolló es el Sistema de Transporte Masivo “Wayna Bus”, llamado inicialmente Bus Sariri, un proyecto de transporte masivo encarado por el Gobierno Autónomo Municipal de la ciudad de El Alto, para resolver un serio problema de acceso al transporte de parte de los habitantes de esta ciudad

1.2 Planteamiento del problema

Actualmente, a nivel mundial el sector transporte masivo ha revolucionado manifestando cambios notorios debido al avance tecnológico que cada día va en crecimiento en la globalización.

Todo vehículo, sea nuevo o usado, requiere de ciertas tareas de mantenimiento rutinario periódico que garanticen su buen funcionamiento en cualquier condición. Por efecto del uso normal, hay componentes que se desgastan y dejan de cumplir su función de manera óptima. Los más complejos y costosos suelen tener una duración prolongada, mientras que los más sencillos y económicos deben ser cambiados o revisados en cierto intervalo de kilómetros. De la regularidad y prolijidad con las que estas tareas se realicen dependerá, en gran medida, la tranquilidad de los usuarios de los vehículos, pues la probabilidad de sufrir un desperfecto inesperado que los deje varados en cualquier momento y lugar será mínima.

El mantenimiento siempre fue "un problema" que se originó al pretender prestar servicio continuamente, cuando nos referimos a un vehículo, de ahí que fue considerado como un mal necesario, una función subordinada a la prestación de servicio, cuya finalidad era reparar desperfectos en forma rápida y a menor costo.

El Wayna Bus es un sistema de transporte masivo llevado a cabo por el Gobierno Autónomo Municipal de la ciudad de El Alto que resuelve el problema de transporte de pasajeros.

El Sistema de Transporte Masivo "Wayna Bus" que está a cargo del Gobierno Autónomo Municipal de la Ciudad de El Alto, está buscando solucionar los problemas de mantenimiento de la flota de buses tomando en cuenta diferentes aspectos, tales como conocer las causas y origen, frecuencia de las fallas y en función de ellas realizar un análisis de modificación de sus planes de mantenimiento.

De aquí surge la interrogante: ¿Cómo mejorar la disponibilidad de un vehículo aplicando un plan de mantenimiento adecuado?

1.3 Objetivos de la Tesis de Postgrado

Los objetivos que se persiguen con la presente tesis son:

1.3.1 Objetivo General

Mejorar la disponibilidad mecánica de los Buses de Transporte Masivo “Wayna Bus” aplicando un Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para los Buses, para mejorar la disponibilidad de los mismos reduciendo las paradas imprevistas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar los programas de mantenimiento preventivo ofrecidos por el fabricante.
- Realizar un estudio de criticidad para enfocar las tareas de mantenimiento.
- Utilizar el historial de mantenimiento de los diferentes sistemas de los buses “Wayna Bus” como una herramienta versátil para evidenciar los desgastes existentes.
- Identificar las causas de las fallas de uso y ambientales en condiciones operativas
- Realizar una propuesta de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad.

1.4 Preguntas de la Investigación

Al inicio del presente perfil de tesis se tiene la siguiente pregunta:

¿Cómo mejorar la disponibilidad mecánica de los buses de Transporte Masivo “Wayna Bus” del Gobierno Autónomo Municipal de la ciudad de El Alto?

¿En qué medida la implementación de un Plan de Mantenimiento para los buses de Transporte Masivo “Wayna Bus” permite mejorar la disponibilidad de los buses?

1.5 Justificación de la Tesis de Postgrado

Como la flota de buses “Wayna Bus” es el primer sistema de transporte masivo de la ciudad de El Alto, se tiene que realizar un estudio del desgaste de los diferentes sistemas que componen el bus, para identificar el origen de dichas fallas.

1.6 Hipótesis

La aplicación de un Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad contribuirá al mejoramiento de la disponibilidad mecánica de los buses de Transporte Masivo “Wayna Bus” del Gobierno Autónomo Municipal de la Ciudad de El Alto.

1.7 Metodología

La metodología hace referencia al conjunto de procedimientos racionales utilizados para alcanzar el objetivo o la gama de objetivos que rige una investigación científica, una exposición doctrinal o tareas que requieran habilidades, conocimientos o cuidados específicos. Con frecuencia puede definirse la metodología como el estudio o elección de un método pertinente o adecuadamente aplicable a determinado objeto.

No debe llamarse metodología a cualquier procedimiento, pues se trata de un concepto que en la gran mayoría de los casos resulta demasiado amplio, siendo preferible usar el vocablo método.

1.7.1 Localización

La localización tiene por objetivo, analizar los diferentes lugares donde es posible ubicar el tema de investigación, buscando establecer un lugar que ofrece los máximos beneficios, los mejores costos, es decir en donde se obtenga la máxima ventaja.

Esta tesis de investigación se encuentra localizada en la Ciudad de El Alto, tomando en cuenta que los buses de Transporte Masivo son de propiedad del Gobierno Autónomo Municipal de El Alto.

1.7.2 Condiciones para el trabajo

1.7.3 Diseño de la Investigación

1.7.3.1 Tipo de Investigación

Cuando se va a resolver un problema de forma científica, es muy conveniente tener un conocimiento detallado de los posibles tipos de investigación que se pueden seguir. Este conocimiento hace posible evitar equivocaciones en la elección del método adecuado para un procedimiento específico.

Conviene anotar que los tipos de investigación difícilmente se presentan puros; generalmente se combinan entre sí y obedecen sistemáticamente a la aplicación de la investigación. Tradicionalmente se presentan tres tipos de investigación. Abouhamad1 anota que de éstos

se desprende la totalidad de la gama de estudios investigativos que trajinan los investigadores.

Tipos de investigación:

- Histórica ———> Describe lo que era.
- Descriptiva ———> Explica lo que es.
- Experimental ———> Describe lo que será.

En cualquiera de los tres tipos anteriores conviene anotar que los hechos o fenómenos que estudiamos hacen relación al tiempo en que éstos se producen.

En la histórica, por ejemplo, los hechos se escapan al investigador por estar en tiempo pasado, mientras que en la descriptiva los hechos que el investigador maneja interactúan con él, y en la experimental al no existir los hechos en la realidad, el investigador debe inducirlos y para ello deberá describir qué acontecerá a estos existir.

- **Investigación histórica**

Este tipo de investigación busca reconstruir el pasado de la manera más objetiva y exacta posible, para lo cual de manera sistemática recolecta, evalúa, verifica y sintetiza evidencias que permitan obtener conclusiones válidas, a menudo derivadas de hipótesis¹.

- **Investigación descriptiva**

Se propone este tipo de investigación describir de modo sistemático las características de una población, situación o área de interés.

- **Investigación experimental**

Existen diferentes maneras de investigar experimentalmente, llamadas diseños experimentales, pero aquí sólo caracterizamos la forma general de todos ellos.

La investigación experimental se ha ideado con el propósito de determinar, con la mayor confiabilidad posible, relaciones de causa efecto, para lo cual uno o más grupos, llamados experimentales, se exponen a los estímulos experimentales y los comportamientos resultantes se comparan con los comportamientos de ese u otros grupos, llamados de control, que no reciben el tratamiento o estímulo experimental.

¹ Tamayo Tamayo, Mario, El proceso de la investigación científica (Cuarta Edición)

Entonces el tipo de Investigación realizada es una Investigación Experimental.

1.7.3.2 Métodos y técnicas de Investigación

1.7.3.2.1 Método

De acuerdo con su etimología, la palabra método proviene del griego metá: a lado, odos: camino, o sea, al lado del camino.

El método significa el camino más adecuado para lograr un fin. Desde el punto de vista científico, el método es un proceso lógico a través del cual se obtiene el conocimiento.

El método es un medio para alcanzar un objetivo; el del método científico es la explicación, descripción y predicción de fenómenos, y su esencia es obtener con mayor facilidad el conocimiento científico.

Dentro de los tipos de métodos tenemos:

- **Método inductivo**

Es aquel método científico que alcanza conclusiones generales partiendo de hipótesis o antecedentes en particular. Suelen basarse en la observación y la experimentación de hechos. Por ejemplo: mediante la observación de la productividad de un grupo de trabajadores ante determinados factores de motivación, se obtiene una teoría acerca de la motivación en la industria.

- **Método deductivo**

Es un tipo de razonamiento lógico que hace uso de la deducción por una conclusión sobre una premisa particular.

- **Método sintético**

De razonamiento que busca reconstruir un suceso de forma resumida, valiéndose de los elementos más importantes que tuvieron lugar durante dicho suceso.

- **Método analítico**

Este método implica el análisis (del griego análisis, que significa descomposición), esto es la separación de un todo en sus partes o en sus elementos constitutivos. Se apoya en que para conocer un fenómeno es necesario descomponerlo en sus partes.

- **Método dialéctico**

Constituye el método científico de conocimiento del mundo. Promociona al hombre la posibilidad de comprender los más diversos fenómenos de la realidad. Permite descubrir verdaderas leyes y las fuerzas matrices del desarrollo de la realidad.

Considerando lo expuesto anteriormente para la realización de este trabajo de investigación se ha recurrido a métodos del conocimiento teórico como el Análisis, la Síntesis, la Inducción y la Deducción.

1.7.3.2.2 Técnica

Es el conjunto de instrumentos y medios a través de los cuales se efectúa el método. Si el método es el camino, la técnica proporciona las herramientas para recorrer ese camino.

La técnica propone las normas para ordenar las etapas del proceso de investigación; proporciona instrumentos de recolección, clasificación, medición, correlación y análisis de datos, y aporta a la ciencia todos los medios para aplicar el método. de esta forma, la técnica es la estructura del método.

Los objetivos de la Técnica son:

- Ordenar las etapas de la investigación.
- Aportar instrumentos para manejar la información.
- Llevar un control de los datos.
- Orientar la obtención de conocimientos.

Entre los diferentes tipos de Técnicas de Investigación tenemos:

• **Observación**

Es una técnica que consiste en observar atentamente el fenómeno, hecho o caso, tomar información y registrarla para su posterior análisis.

La observación es un elemento fundamental de todo proceso investigativo; en ella se apoya el investigador para obtener el mayor número de datos.

Los pasos que debe tener la observación son:

- Determinar el objeto, situación, caso, etc. (que se va a observar).
- Determinar los objetivos de la observación (para qué se va a observar).
- Determinar la forma con la que se van a registrar los datos.

- Observar cuidadosa y críticamente.
- Registrar los datos observados.
- Analizar e interpretar los datos.
- Elaborar conclusiones.

- **Entrevista**

Es una técnica para obtener datos que consisten en un diálogo entre dos personas: el entrevistador "investigador" y el entrevistado; se realiza con el fin de obtener información de parte de este, que es, por lo general, una persona entendida en la materia de la investigación.

El empleo de la entrevista puede ser de la siguiente manera:

- a) cuando se considera necesario que exista interacción y diálogo entre el investigador y la persona.
- b) cuando la población o universo es pequeño y manejable.

- **Encuesta**

La encuesta es una técnica de adquisición de información de interés sociológico, mediante un cuestionario previamente elaborado, a través del cual se puede conocer la opinión o valoración del sujeto seleccionado en una muestra sobre un asunto dado.

Riesgos que conlleva la aplicación de cuestionarios

- a) La falta de sinceridad en las respuestas (deseo de causar una buena impresión o de disfrazar la realidad).
- b) La tendencia a decir "si" a todo.
- c) La sospecha de que la información puede revertirse en contra del encuestado, de manera.
- d) La falta de comprensión de las preguntas o de algunas palabras.
- e) La influencia de la simpatía o la antipatía tanto con respecto al investigador como con respecto al asunto que se investiga.

- **Fichaje**

El fichaje es una técnica auxiliar de todas las demás técnicas empleada en investigación científica; consiste en registrar los datos que se van obteniendo en los instrumentos llamados fichas, las cuales, debidamente elaboradas y ordenadas contienen la mayor parte de la

información que se recopila en una investigación por lo cual constituye un valioso auxiliar en esa tarea, al ahorrar mucho tiempo, espacio y dinero.

- **Test**

Es una técnica derivada de la entrevista y la encuesta tiene como objeto lograr información sobre rasgos definidos de la personalidad, la conducta o determinados comportamientos y características individuales o colectivas de la persona (inteligencia, interés, actitudes, aptitudes, rendimiento, memoria, manipulación, etc.). A través de preguntas, actividades, manipulaciones, etc., que son observadas y evaluadas por el investigador.

- **Cuestionario**

El cuestionario es un instrumento básico de la observación en la encuesta y en la entrevista. En el cuestionario se formula una serie de preguntas que permiten medir una o más variables. Posibilita observar los hechos a través de la valoración que hace de los mismos el encuestado o entrevistado, limitándose la investigación a las valoraciones subjetivas de éste.

La técnica utilizada para la realización de este trabajo de investigación será una Revisión Documental cuyo instrumento utilizado es la Planilla Electrónica.

1.7.3.2.3 Variables a evaluar

Las variables en la investigación, representan un concepto de vital importancia dentro de un proyecto. Las variables, son los conceptos que forman enunciados de un tipo particular denominado hipótesis.

Entre éstas tenemos:

- **Variable independiente**

Fenómeno a la que se le va a evaluar su capacidad para influir, incidir o afectar a otras variables.

Su nombre lo explica de mejor modo en el hecho que de no depende de algo para estar allí, también puede ser definida como aquella característica o propiedad que se supone ser la causa del fenómeno estudiado. En investigación experimental se llama así, a la variable que el investigador manipula, es decir que pueden ser manipuladas experimentalmente por un investigador.

- **Variable dependiente**

Es una propiedad o característica que se trata de cambiar mediante la manipulación de la variable independiente.

Los cambios sufridos por los sujetos como consecuencia de la manipulación de la variable independiente por parte del experimentador. En este caso el nombre lo dice de manera explícita, va a depender de algo que la hace variar.

Las variables dependientes son las que se miden.

- **Variable interviniente**

Son aquellas características o propiedades que de una manera u otra afectan el resultado que se espera y están vinculadas con las variables independientes y dependientes.

Las variables pueden ser clasificadas como cuantitativas o cualitativas:

- Los datos cuantitativos o medidos, representa una cantidad o un número.
- Los datos cualitativos proporcionan etiquetas o nombres.

Los datos cualitativos se pueden dividir en:

- a) Variables nominales: Variables sin orden inherente o secuencia, en otros números que se utilizan como nombres (grupo 1, grupo de género ...), 2, etc
- b) Variables ordinales: Las variables con una serie ordenada, por ejemplo, "No les gusta mucho, moderado, indiferente, desagrado."
- c) Intervalo de variables: variables igualmente espaciados, por ejemplo, temperatura. La diferencia entre una temperatura de 36 grados y 37 grados se considera igual a la diferencia entre 37 ° y 38°.
- d) Relación de variables: Variables espaciadas por intervalos iguales con un verdadero punto cero, por ejemplo, edad.

Los datos cuantitativos se pueden dividir en:

- a) Variable discreta: El conjunto de todos los valores posibles que consiste sólo en puntos aislados, por ejemplo, contar variables (1, 2, 3 ...).
- b) Variables continuas: El conjunto de todos los valores que consiste en intervalos, por ejemplo, 0-9, 10-19, 20-29 ... etcétera.

La forma de medir si existe asociación entre variables continuas es usando el coeficiente de correlación, que es una relación entre variables. Pero hay que tener siempre presente que este coeficiente sólo se aplica a variables continuas y sólo mide asociación lineal.

Es costumbre representar la variable dependiente en el eje vertical (ordenadas) y la independiente en el eje horizontal (abscisas). Cuando se estudia la relación entre dos variables, una puede considerarse causa y la otra resultado o efecto de la primera, siendo ésta una decisión teórica. Llamaremos variable exógena, o variable independiente a la que causa el efecto y variable endógena, o variable dependiente a la que lo recibe.

Un caso (A) corresponde a la relación tal que al aumentar los valores de la variable independiente aumenta -en promedio- el valor de la variable dependiente. Cuando esto ocurre se dice que hay una relación lineal positiva.

Un caso (B) representa otra relación de nuevo lineal, pero ahora negativa.

Un caso (C) representa una situación en la que no hay relación entre ambas variables. Decimos entonces que las variables son independientes.

Un caso (D) muestra una relación entre ambas, pero no lineal.

La covarianza es una medida de la asociación lineal entre dos variables que resume la información existente en un gráfico de dispersión. Véase que el plano de una representación gráfica posible puede dividirse en cuatro cuadrantes definidos por los dos ejes.

Se denomina primer cuadrante a la zona del gráfico donde ambas variables toman valores positivos. El segundo cuadrante corresponde a valores negativos de la primera variable y positivos de la segunda. El tercer cuadrante incluye los valores negativos de ambas variables y el cuarto es donde la primera variable toma valores positivos y la segunda valores negativos.

Para construir una medida de la asociación lineal a partir de estas propiedades, no sólo debemos atender la proporción de puntos en cada cuadrante, sino también la distancia en que esos puntos se alejan o no de su origen.

Si tenemos pares de observaciones, llamaremos covarianza entre x e y .

La covarianza será positiva cuando los puntos se encuentran en los cuadrantes impares. Esto significa que ambas variables varían en el mismo sentido.

La covarianza será negativa cuando los puntos estén en los cuadrantes pares. Esto significa que las variables varían en sentido contrario.

Finalmente, la covarianza será próxima a cero cuando no exista relación entre ambas variables o cuando, existiendo, la relación sea marcadamente no lineal.

Existe un coeficiente de correlación La covarianza depende de las unidades de medida de las variables y se modificará si modificamos las unidades de medida de las variables. Esto hace que no sea útil comparar la covarianza de grupos diferentes de observaciones con unidades (o con escalas) de medición diferentes.

Por ejemplo, una covarianza de 1 medida en metros, se transforma en una covarianza de 100 medida en centímetros. Por lo tanto, no tiene sentido decir que, si la covarianza es grande, la relación es fuerte, ya que la covarianza cambiará si modificamos las unidades de medida de la variable.

Una medida de relación entre dos variables que resuma la información del gráfico de dispersión, y que no dependa de las unidades de medida, se puede construir dividiendo la covarianza por las desviaciones estándar de ambas variables.

Se define el coeficiente de correlación lineal r

Una correlación nos proporciona tres datos principales:

- 1) la existencia o no de una relación lineal entre las variables (si da diferente de cero)
- 2) la dirección de esta relación, si es que existe (por su signo positivo o negativo)
- 3) el grado de esta relación (por el valor absoluto del coeficiente).

Estos tres aspectos se dan, simultáneamente, con un solo valor.

La correlación, en última instancia, nos está indicando cómo varía o cambia una característica cuando la otra característica o variable asociada cambia. Indica si dos variables cambian o varían conjuntamente.

El coeficiente de correlación tiene las siguientes propiedades:

- 1) Cuando las variables están linealmente de forma exacta, el coeficiente de correlación r será igual a uno en valor absoluto.
- 2) Cuando las variables no estén relacionadas (o no lo estén linealmente) entre sí, el coeficiente de correlación será cero.
- 3) El coeficiente no depende del orden en que se consideran las variables, es decir, $r(x,y)=r(y,x)$

En el caso de esta tesis de investigación las variables a evaluar son:

1.7.3.2.4 Población y muestra

La población del tema de investigación son los 60 buses, que son de propiedad del Gobierno autónomo Municipal de El Alto, la muestra representativa de esta población corresponde a 8 buses, los cuales son determinados más adelante.

1.7.3.2.5 Modelo estadístico

Todos los análisis se realizarán en base a la Distribución de Weibull y el Análisis de Pareto que servirán para la fundamentación de las actividades durante el transcurso del presente trabajo de investigación.

1.7.3.2.6 Instrumentos de recolección de datos

Para el desarrollo de este trabajo de investigación fueron utilizados instrumentos de recolección de datos como el Cuestionario, Ficha de Observación de Campo y el Historial de los buses de transporte.

1.7.3.2.7 Descripción del procedimiento seguido

Durante la prestación de servicio de los buses de Transporte Masivo “Wayna Bus”, se ha observado que existe una frecuencia de fallas en cada uno de los sistemas de los buses que se traduce en una parada no programada de dichos buses para realizar el mantenimiento respectivo, tomando en cuenta el reporte se procede al mantenimiento correspondiente, realizando previamente un análisis de los datos y la gravedad de la falla.

Considerando los datos se llega a establecer el origen de dichas fallas aplicando el análisis de Weibull, con la cual realizada la observación y análisis correspondiente de los resultados se determinará si la falla se produce por mortalidad infantil o por desgaste de las piezas que pueden tener diferentes tipos de orígenes, lo que hacen que podamos validar la propuesta planteada.

1.7.3.2.7.1 Descripción de actividades

Las actividades desarrolladas para la elaboración de este trabajo de investigación pueden ser descritas de la manera más simple de la siguiente forma:

- Recopilación de datos (Historial).
- Elaboración de las planillas electrónicas.
- Elaboración del Análisis Modal de Fallas.
- Establecer la Criticidad de cada uno de los sistemas del bus.
- Determinación de los Indicadores Mundiales de Mantenimiento.
- Determinación del origen de la falla (desgaste o mortalidad infantil).
- Establecer el Plan de Mantenimiento correspondiente

1.7.3.2.7.2 Organización de datos

La organización de los datos se las ha realizado en base a tablas que contienen la información correspondiente al historial de los buses, las cuales fueron sometidas al Software correspondiente o Planilla Electrónica para su posterior evaluación.

1.7.3.2.7.3 Procesamiento de la información

Toda la información obtenida de los historiales de los buses ha sido sometida a un análisis de Pareto y posteriormente ha realizado un análisis mediante modelo de Regresión de Weibull que han permitido cuantificar datos y obtener los resultados requeridos en el desarrollo de este trabajo de investigación.

Marco Teórico Referencial

El mantenimiento es un campo de la ingeniería que al aplicarse eficazmente fortalece la competitividad de empresas industriales. La importancia del diseño e implementación de un plan de mantenimiento basado en condición o mantenimiento preventivo se evidencia en la condición de los elementos de una máquina, su monitoreo y conservación, además de los datos que se recogen y que son muy valiosos para realizar análisis técnicos. Esta Tesis se enmarca en el estudio de los posibles factores o variables a tomar en cuenta para realizar un mantenimiento basado en condición MBC; así como un plan de mantenimiento organizado de los equipos consignado en una base de datos, la cual permite organizar información, registrar datos técnicos relevantes y programar las actividades fundamentales para llevar un adecuado monitoreo de los diferentes buses.

2.1 Teoría del mantenimiento automotriz

Por definición, el mantenimiento es el conjunto de actividades que permiten garantizar el desempeño eficiente de la maquinaria o equipos, en este caso buses de transporte, obteniendo así su máxima disponibilidad.

Por su parte, el mantenimiento automotriz abarca las operaciones necesarias para asegurar la máxima eficiencia del vehículo, disminuyendo el tiempo requerido para su reparación.

El costo de mantenimiento es un rubro necesario para lograr que tanto máquinas industriales como vehículos, de todo tipo, disminuyan al máximo las fallas y por consiguiente eviten las interrupciones abruptas de los procesos.

2.1.1 Principios básicos del mantenimiento automotriz

- El mantenimiento debe ser planificado, mediante la creación de un programa basado en el coste real de las operaciones vehiculares y en función del kilometraje utilizado para la ejecución de su servicio.

- El mantenimiento vehicular se realiza en concordancia con sus condiciones de servicio, además de su marca y modelo, siempre tomando en cuenta las recomendaciones del fabricante.
- En la actualidad, se ha tornado necesario adoptar un sistema de mantenimiento escalonado, es decir, incluir los tres tipos principales de mantenimiento: Predictivo, Preventivo y Correctivo.
- La mejora de las condiciones funcionales de los vehículos, incide directamente en la disminución de los riesgos laborales y en la optimización de la economía.
- Debe existir un historial completo de los trabajos de reparación realizados a cada unidad, para lo cual se deben manejar hojas de registros, las cuales serán de vital ayuda para los trabajos mecánicos posteriores.
- La gestión del servicio de mantenimiento debe basarse en los índices referenciales y comparativos de los costes del mantenimiento.

2.1.2 Objetivos del mantenimiento automotriz

Los principales objetivos del mantenimiento son:

- Maximizar la eficiencia de los vehículos en operación
- Minimizar el número de vehículos parados por mantenimiento
- Minimizar el tiempo requerido para efectuar mantenimiento
- Disminuir los costos de mantenimiento
- Reducir los costos operacionales

Por su parte, las tareas de mantenimiento pretenden:

- Reducir el cambio de condición para alargar la vida del sistema operativo, mediante: lubricación, calibración, ajuste, limpieza, etc.
- Garantizar la fiabilidad y seguridad requeridas, gracias a la inspección, detección, exámenes y pruebas.
- Optimizar el consumo de: combustible, lubricantes, neumáticos, etc.
- Recuperar la funcionalidad del sistema, mediante actividades de cambio, reparación, etc.

La consecución de estos objetivos, depende en gran parte del aprovechamiento de los recursos humanos, materiales e informáticos disponibles.

2.1.2.1 Recursos Humanos – Mano de Obra

Se refiere al personal necesario para el accionamiento de los medios materiales necesarios. Cada miembro que forma parte del personal de mantenimiento debe poseer una formación técnica específica.

2.1.2.2 Recursos materiales – Herramientas, equipos e instalaciones

Dentro de los recursos materiales se encuentran:

a) Herramientas:

En este grupo se identifican:

- Herramientas para mantenimiento y reglaje.
- Herramientas para recuperación de conjuntos mecánicos.
- Herramientas para reparación y cambio de conjuntos mecánicos.

b) Equipos de prueba y apoyo:

Incluye equipos especiales de vigilancia de la condición, equipos de comprobación, metrología y calibración, bancos de mantenimiento, y equipos auxiliares de servicio necesarios para apoyar a las tareas de mantenimiento asociadas al elemento o sistema, además de:

- Máquinas Operativas
- Equipos de Transporte
- Medios de Transporte
- Servicio de Guinche, entre otros.

c) Instalaciones:

Incluye edificaciones o construcciones, asignadas para cada tarea de mantenimiento.

2.1.2.3 Recursos Informáticos – Datos Técnicos

a) Datos técnicos:

Los ítems que se encuentran dentro de esta clasificación son procedimientos, instrucciones, recomendaciones, información mediante planos e instalaciones, cuyo objeto es facilitar la función de mantenimiento.

b) Medios informáticos:

A este grupo pertenecen los ordenadores con sus accesorios, los mismos que facilitan la tarea de vigilancia de condición y diagnóstico.

2.2 Indicadores del mantenimiento

Los métodos básicos que permiten tener una medida de cuán eficientes son el método y sistema de servicio, son llamados indicadores.

Dentro del mantenimiento automotriz los indicadores más importantes son: disponibilidad, fiabilidad y mantenibilidad.

2.2.1 Disponibilidad

Se define como la probabilidad de que un vehículo esté preparado para brindar su servicio en un período de tiempo especificado.

Una vez producido el fallo, la disponibilidad será mayor mientras menor sea el tiempo de reparación.

La expresión matemática que permite el cálculo de la disponibilidad es la siguiente:

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

Donde:

D = Disponibilidad

MTBF = Tiempo medio entre fallos

MTTR = Tiempo medio de reparación

La disponibilidad depende de cuán frecuentemente se producen los fallos, en determinado tiempo y condiciones (fiabilidad), y de cuánto tiempo se requiere para corregir el fallo (mantenibilidad).

2.2.2 Fiabilidad

Es la confianza de que el vehículo opere satisfactoriamente durante un tiempo estipulado, bajo condiciones de operación totalmente definidas.

La confiabilidad se define también como la probabilidad de que no ocurra una falla de determinado tipo, para una misión definida.

La media de tiempos entre fallos (MTBF) caracteriza la fiabilidad del vehículo, la cual se define matemáticamente con la siguiente ecuación:

$$MTBF = \frac{\text{Horas de operación}}{\text{Número total de fallas detectadas}}$$

2.2.3 Mantenibilidad

Es la expectativa de que se pueda colocar a un vehículo en condiciones de operación, después de ejecutar una determinada actividad de mantenimiento en un tiempo de reparación predeterminado y bajo las condiciones previstas.

También nos indica la accesibilidad para realizar un mantenimiento.

La mantenibilidad está definida por el tiempo medio de reparación, cuyo cálculo obedece a la siguiente expresión:

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de fallos}}{\text{Número total de fallas detectadas}}$$

2.3 Tipos de Mantenimiento

Desde una perspectiva metodológica o de filosofía de planeamiento, se distinguen tres tipos principales de mantenimiento automotriz:

- Mantenimiento Correctivo.
- Mantenimiento Preventivo.
- Mantenimiento Predictivo o Sintomático.

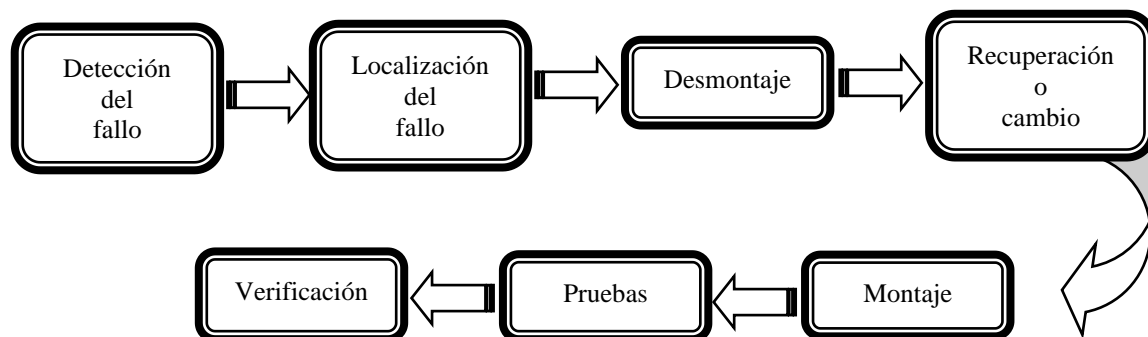
2.3.1 Mantenimiento correctivo

Este tipo de mantenimiento se pone en práctica cuando ya se ha producido la falla, es decir que se mantiene una actitud pasiva, a la espera de la avería.

A pesar de que este mantenimiento interviene luego de presentada la falla, es el que más comúnmente se usa, ya que sólo se emplean recursos cuando se produce el problema.

La figura siguiente muestra las tareas para el mantenimiento correctivo:

Figura 1. Tareas típicas de mantenimiento correctivo



Fuente: www.renovetec.com

2.3.1.1 Ventajas y desventajas del Mantenimiento Correctivo

La adopción del mantenimiento correctivo como estrategia de mantenimiento, trae consigo ciertas ventajas y desventajas.

Tabla 1. Ventajas y desventajas del uso del mantenimiento correctivo

VENTAJAS	DESVENTAJAS
No genera gastos fijos	Supone riesgos económicos, en ocasiones importantes.
No se necesita prever ninguna actividad	Las paradas y fallos se presentan de forma impredecible.
Se gasta dinero solo cuando se necesita	Se acorta la vida útil del vehículo.
A corto plazo ofrece resultados económicos	No investiga las causas que provocan la falla.
Tiene efecto sobre equipos electrónicos	Las averías y el comportamiento anormal del vehículo pone en riesgo a sus ocupantes.

Fuente: www.renovetec.com

2.3.1.2 Clasificación del Mantenimiento Correctivo

A su vez el mantenimiento correctivo puede agruparse en:

- Mantenimiento Programado: Corrección de fallas en el momento en que se cuenta con todos los recursos necesarios.

· **Mantenimiento No Programado:** Implica la corrección inmediata de los fallos, en los sistemas/elementos que así lo requieren.

La aplicación del mantenimiento correctivo programado o del no programado se ajusta a la gravedad de la falla, es decir, si dicha falla implica la detención del vehículo no habrá tiempo de planificar el mantenimiento sino de actuar al instante, con el fin de perder el menor tiempo de operación posible.

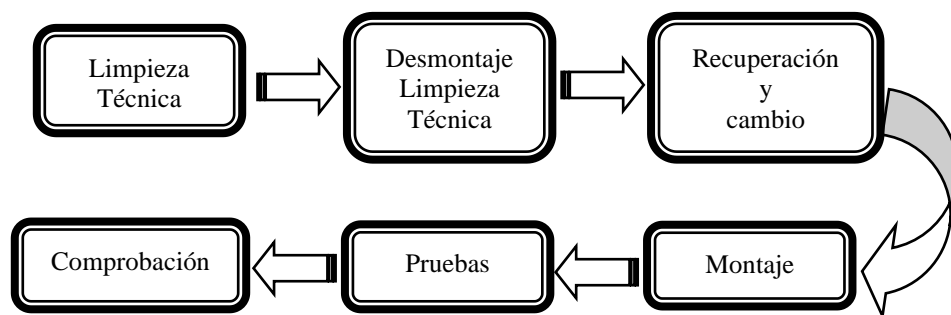
2.3.2 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo abarca al conjunto de operaciones realizadas de forma periódica, las cuales tienen lugar antes de que ocurran fallos o averías.

Para establecer un programa de mantenimiento preventivo vehicular, se deben tomar en cuenta parámetros como: el tiempo de trabajo, el tipo de servicio que presta, las condiciones de trabajo (humedad, lodo, polvo, etc.), el tipo de vehículo, el kilometraje y las recomendaciones especificadas por los fabricantes en los manuales técnicos.

Las tareas típicas de mantenimiento preventivo se muestran en la figura siguiente:

Figura 2. Tareas típicas de mantenimiento preventivo



Fuente: www.renovetec.com

2.3.2.1 Actividades propias del mantenimiento preventivo vehicular

Las actividades para la prevención del fallo en flotas vehiculares incluyen tanto revisiones diarias como revisiones de taller.

2.3.2.1.1 Revisión de nivel diario

Las actividades que incluye la revisión de nivel diario, deben ser realizadas por el conductor, y constan de:

- Revisión de nivel del aceite de motor.
- Revisión de luces exteriores.
- Revisión ocular del estado de los neumáticos.
- Revisión del nivel de refrigerante del motor.
- Revisión ocular de todos los elementos de seguridad martillos puertas de emergencia.
- Revisión de niveles de líquido de dirección.
- Revisión de las mangueras del radiador y la correa del ventilador.

2.3.2.1.2 Revisiones de Taller

Se realizan en función de los kilómetros recorridos por el automotor. Estas tareas deben ser ejecutadas obligatoriamente por personal especializado.

En la siguiente tabla se enumeran algunas de las actividades que se efectúan en un tiempo predeterminado con el fin de disminuir la probabilidad de falla del vehículo.

Tabla 2. Revisiones de Taller

KILOMETRAJE	ACTIVIDADES
10.000 km	Cambio de aceite del motor
	Revisión de neumáticos (presión)
	Revisión del estado de la batería
	Inspección del líquido de la dirección
30.000 km	Cambio de aceite de motor
	Revisión de embrague
	Revisión de transmisión
	Revisión de frenos
	Revisión de dirección
	Revisión de suspensión
	Detección de fugas en el circuito de refrigeración
	Detección de fugas en el circuito de aire comprimido
	Detección de fugas de aceite
	Revisión de correas
	Inspección de soportes del motor
	Revisión de caja de cambios
	Revisión del sistema eléctrico
	Revisión del sistema de inyección
Chequeo de carrocería e interiores	

120.000 km	Inspección de holguras de turbo
	Revisión de desgaste de amortiguadores
	Revisión del sistema hidráulico
	Desmontaje de botella de expansión
	Lectura electrónica de todas las unidades
	Cambio del filtro de secador

Fuente: <http://www.samar.es/flota.php?id=6>

2.3.2.2 Ventajas y desventajas del Mantenimiento Preventivo

Algunas de las ventajas y desventajas, que se obtienen al implementar este tipo de mantenimiento, se evidencian en la siguiente tabla:

Tabla 3. Ventajas y Desventajas del Mantenimiento Preventivo

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Reduce las fallas y tiempos muertos	Representa una inversión inicial en infraestructura y mano de obra
Aumenta la disponibilidad del vehículo	
Incrementa la vida útil del automotor	Se requiere tanto de la experiencia del personal como de las recomendaciones del fabricante
Mejora la utilización de los recursos	
Reduce los niveles del inventario	
Seguridad y confiabilidad en el recorrido	No permite determinar con exactitud el desgaste de las piezas

Fuente: <http://www.slideshare.net/blacksaturn/mantenimiento-preventivo-1819125>

2.3.3 Mantenimiento Predictivo

Se lo conoce también como CBM (Mantenimiento Basado en Condición), el cual se basa en el diagnóstico, seguimiento y monitoreo de condiciones operativas del vehículo. Esto permite predecir si es necesario realizar correcciones o ajustes antes de que ocurra una falla, maximizando así la vida útil de los componentes y minimizando los tiempos muertos.

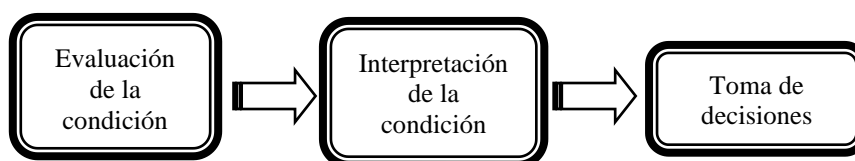
Este procedimiento de mantenimiento reconoce que la razón principal para realizar el mantenimiento es el cambio en la condición y/o en las prestaciones, y que la ejecución de las tareas de mantenimiento preventivo debe estar basada en el estado real del elemento o sistema. De esta forma, mediante la vigilancia de ciertos parámetros sería posible identificar

el momento más conveniente en que se deben realizar las tareas de mantenimiento preventivo.

La metodología de las inspecciones empieza con la determinación de las variables físicas indicativas de la condición del vehículo. Luego se deben seleccionar adecuadamente las técnicas de monitoreo.

Las tareas de mantenimiento predictivo se establecen gracias a la vigilancia de la condición de los elementos del vehículo. Estas tareas incluyen las actividades descritas en la siguiente figura:

Figura 3. Tareas típicas del mantenimiento predictivo



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos17/mantenimiento-predictivo.shtml>

2.3.3.1 Técnicas Predictivas de Mantenimiento

Un programa predictivo global debe incluir técnicas de monitoreo y diagnóstico, dentro de las cuales destacan las descritas en la siguiente tabla:

Tabla 4. Técnicas predictivas de mantenimiento

TÉCNICAS	DESCRIPCIÓN BREVE
1. Análisis de vibraciones	Permite detectar: desequilibrio, falta de alineamiento, excentricidad, falla de rodamientos y cojinetes, problemas de engranajes y correas.
2. Termografía	Esta técnica permite medir temperaturas superficiales con precisión y sin necesidad de contacto. Se recomienda para: Motores eléctricos, generadores; reductores, frenos rodamientos, acoplamientos y embragues mecánicos; líneas eléctricas, etc.
3. Boroscopia	Consiste en introducir una pequeña cámara o lente sencillo en el interior de un gran motor de combustión, por ejemplo, para observar el estado de las camisas, lo que evita su desmontaje.
4. Análisis de aceite	Este análisis permite determinar factores que alteran el funcionamiento del vehículo, entre ellos: elementos de desgaste, partículas extrañas, aditivos y condición del lubricante.
5. Análisis por ultrasonido	Con este análisis se puede detectar: fricción en componentes rotativos, fallas y/o fugas en válvulas, fugas de fluidos, pérdidas de vacío, etc.

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos17/mantenimiento-predictivo.shtml>

2.3.3.2 Ventajas y desventajas del Mantenimiento Predictivo

La principal ventaja del mantenimiento predictivo es que permite establecer el fallo aún con el vehículo en funcionamiento, debido a que hace uso de equipos de diagnóstico con tecnología de punta.

En la tabla siguiente se listan las ventajas y desventajas más sobresalientes asociadas con la implementación del mantenimiento predictivo.

Tabla 5. Ventajas y Desventajas del Mantenimiento Predictivo

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Intervención en el equipo o cambio del elemento.	Los equipos y analizadores tienen un costo elevado.
Obliga a dominar el proceso y manejar datos técnicos.	Se requiere de personal con conocimiento técnico elevado
Compromete a implementar un método científico de trabajo riguroso	Se debe destinar personal para la lectura periódica de los datos.

Fuente: TORRES Manuel; SERAUTO'S SERVICIOS AUTOMOTRICES; Cap. 10

2.4 Técnicas avanzadas de Mantenimiento

Actualmente se han desarrollado técnicas que ayudan a mejorar la gestión del mantenimiento, las cuales se aplican mayormente a las industrias pero que pueden ser adaptadas adecuadamente dentro del mantenimiento automotriz, entre ellas destacan:

- Mantenimiento Productivo Total (TPM).
- Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).

2.4.1 Mantenimiento Productivo Total (TPM)

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) es una filosofía de mantenimiento, proveniente del Japón, destinada a eliminar las pérdidas debidas al estado del automotor, es decir que su objetivo es lograr: cero averías, cero tiempos muertos, cero defectos; y evitar pérdidas de rendimiento.

La palabra “Total” se debe a que este tipo de mantenimiento abarca:

- Búsqueda de la Eficacia TOTAL de los vehículos.

- Plan de Mantenimiento para la vida TOTAL de los vehículos.
- Implicación del TOTAL del personal de las organizaciones en su desarrollo.

Entre las características principales del TPM están:

- Acciones de mantenimiento a lo largo del ciclo de vida del vehículo.
- Participación amplia de todas las personas de la organización.
- Es observado como una estrategia global de empresa.
- Encaminado a la mejora de la Efectividad Global de las operaciones, en lugar de enfocarse únicamente a mantener a los vehículos funcionando.
- Procesos de mantenimiento fundamentados en la utilización profunda del conocimiento que el personal posee sobre las operaciones.
- Se orienta a la mejora de dos tipos de actividades directivas: dirección de operaciones de mantenimiento y dirección de tecnologías de mantenimiento.

2.4.1.1 Estructura Básica del TPM

El TPM se sustenta en la gente y lo conforman ocho pilares fundamentales, tal como se muestra en la figura siguiente:

Figura 4. Estructura Fundamental del TPM



Fuente: <http://www.actiongroup.com.ar/los-pilares-del-mantenimiento-productivo-total-hoy/>

PILAR 1 - Mantenimiento Autónomo (JISHU HOZEN): Pretende que el chofer realice actividades de mantenimiento del vehículo a su cargo.

PILAR 2 - Mejoras Enfocadas (KAIZEN): Aporta metodologías para llegar a la raíz de los fallos, con ello se establecen metas y su tiempo de consecución.

PILAR 3 - Mantenimiento Planificado: Conjunto de labores programadas y realizadas por personal especializado, cuyo objeto es atender los problemas que se presenten en la operación del vehículo.

PILAR 4 - Mantenimiento de la Calidad: Se enfoca en las normas de calidad con el fin de que el vehículo opere en la situación en donde no se generen defectos de calidad.

PILAR 5 - Prevención del Mantenimiento: Actividades de mejora realizadas durante la fase de diseño, construcción y puesta en marcha del equipo.

PILAR 6 - TPM en Áreas Administrativas (funciones de soporte): Pretende llevar políticas de mejoramiento hasta las oficinas.

PILAR 7 - Educación y Entrenamiento: Capacitación de todo el personal en relación a las funciones que desempeña cada uno.

PILAR 8 - Seguridad y Medioambiente: Gestiona un ambiente seguro y confortable para los trabajadores. Además, se espera lograr cero contaminaciones.

2.4.1.2 Las 5 Ss

Es una técnica japonesa de gestión, la cual le debe su nombre a la letra inicial de cada una de las cinco fases que la componen. Su significado y objetivo están detallados en la tabla siguiente:

Tabla 6. Significado de las 5Ss

N°	NOMBRE (JAPONÉS)	SIGNIFICADO (ESPAÑOL)	OBJETIVO
1	Seiri	Clasificar	Retirar lo innecesario del espacio de trabajo.
2	Seiton	Ordenar	Organizar los implementos necesarios en el espacio designado.
3	Seiso	Limpiar	Eliminar la suciedad de instalaciones y equipos.
4	Seiketsu	Estandarizar	Señalizar anomalías.
5	Shitsuke	Entrenamiento y Autodisciplina	Trabajar permanentemente con normas para implementar la mejora continua.

Fuente: es.wikipedia.org/wiki/5S

2.4.1.3 Ventajas y desventajas del TPM

En la tabla siguiente se pueden apreciar las ventajas y desventajas más sobresalientes que trae consigo la aplicación del Mantenimiento Productivo Total (TPM).

Tabla 7. Principales Ventajas y Desventajas del TPM

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Disminuye el costo financiero por recambios.	Proceso de implementación lento y costoso.
Evita todo tipo de pérdidas	
Mejora la fiabilidad y disponibilidad de los equipos.	Cambio de Hábitos Productivos.
Desarrolla el trabajo en equipo.	
Aumenta el nivel de confianza del personal.	Implicación de trabajar juntos todos los escalafones laborales de la empresa
Reduce los accidentes.	
Permite el control de las medidas ecológicas.	

Fuente: <http://www.free-logistics.com>

2.4.2 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) es un proceso analítico y sistemático, basado en el entendimiento de las funciones de los sistemas y en el análisis de los fallos potenciales que se pueden presentar en el vehículo, sus consecuencias y la forma de evitarlos. Esta estrategia de mantenimiento se enfoca en los efectos que producen las fallas y las características técnicas de los mismos, es por ello que hace uso de uno de los instrumentos más importantes para el análisis de fallos, el cual se conoce como método AMFE (Análisis Modal Falla – Efecto).

Son dos los objetivos principales que se pretenden alcanzar mediante la implantación del RCM: el aumento de la disponibilidad de los buses y la disminución de sus costes de mantenimiento.

Por lo tanto, el RCM debe convertirse en una metodología utilizada para determinar sistemáticamente, qué se debe hacer y cómo hacerlo, para asegurar que los automotores funcionen de la mejor manera mientras estén prestando su servicio, tomando en cuenta los siguientes criterios:

- La capacidad y confiabilidad ideales de diseño mecánico, limitan las funciones del automotor.
- El mantenimiento, la confiabilidad de operación y la capacidad del automotor no pueden aumentar más allá de sus parámetros ideales de diseño mecánico.
- El mantenimiento sólo puede lograr el funcionamiento óptimo de un automotor cuando los parámetros de operación esperados se encuentran dentro de los parámetros límites de capacidad y confiabilidad emitidos por el fabricante.

2.4.2.1 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. Antes de explicar que es el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, más conocido como RCM (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.

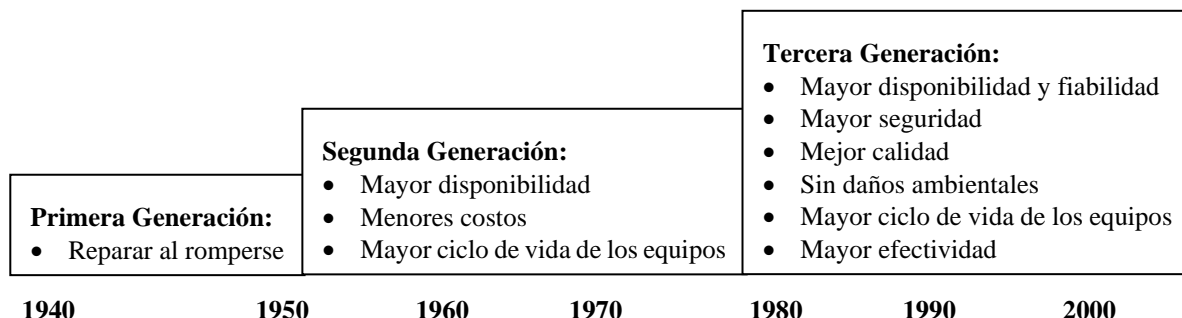
- Segunda generación

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. 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 70², cuando hay enormes cambios en la industria ya que se crean nuevas expectativas, investigaciones y técnicas. La figura 5 muestra los cambios en las expectativas de mantenimiento con respecto a los años.

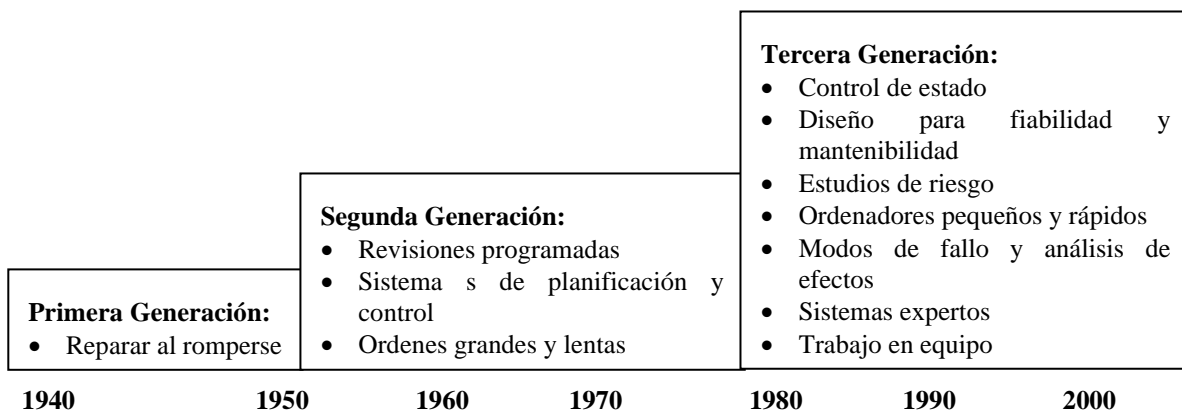
Figura 5. Cambios en las expectativas del mantenimiento



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. En los últimos 20 años ha habido un incremento dramático en el desarrollo de nuevas técnicas de mantenimiento.

Figura 6. Cambios en las expectativas del mantenimiento



Fuente: Macian, 1999

² Macian Martínez Vicente, Fundamentos de ingeniería del Mantenimiento, (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

2.4.2.2 Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM)

Según la norma SAE JA 1011³, 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 industrializados⁴.

En la actualidad, existen normas como la SAE JA 1011 y SAE JA 1012 en las que se escriben 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 operativo⁵.

El objetivo básico de un análisis RCM es establecer un programa de mantenimiento preventivo técnicamente eficaz y económicamente eficiente⁶.

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

³ RCM, 1999.

⁴ SAE, 2002.

⁵ Macián Martínez Vicente, Fundamentos en la Ingeniería del Mantenimiento, (1999)..

⁶ Maintenance, 2013.

- 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 ocurrencia⁷.

2.4.2.3 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 8 en la cual se indican las preguntas y el orden en el que se debe ejecutar.

Tabla 8. 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?

Fuente: RCM, 1999

⁷ Maintenance, 2013.

Para la recolección de información, la metodología RCM en la norma internacional ISO 14224⁸ (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 9 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 9. Hoja de Información RCM

HOJA DE INFORMACIÓN RCM	Autor:								
	Fecha:								
	Vehículo:								
FUNCIONES	FALLOS FUNCIONALES	CIRCUNSTANCIAS	CAUSAS	S	O	D	CR	ACCIONES PROPUESTAS	
1	A	1	1						
			2						
			3						
			4						
	B	1	1	1					
				2					
		2	1	1					
				2					
		3	1	1					
				2					
		4	1	1					
				2					
	C	1	1	1					
				2					
				1					
		2	1	2					
				1					
				2					

Fuente: Parra, 2016

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 A⁹.

⁸ ISO, 2006

⁹ Parra Ramírez Santiago, Determinación de las Estrategias de Mantenimiento, (2006).

2.4.2.3.1 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 diseñado¹⁰.

2.4.2.3.2 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

¹⁰ Macian Martínez Vicente, Fundamentos de Ingeniería del Mantenimiento (1999).

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 sí¹¹.

2.4.2.3.3 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).

2.4.2.3.4 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.

¹¹ Macian Martínez Vicente, Fundamentos de Ingeniería del Mantenimiento (1999).

2.4.2.3.4 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 fallo¹².

2.4.2.3.5 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.

¹² Macian Martínez Vicente, Fundamentos de Ingeniería del Mantenimiento (1999).

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 mantenimiento¹³.

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 10.

Tabla 10. Consecuencias del modo de fallo

CONSECUENCIAS DEL MODO DE FALLO	GRAVEDAD
DESGASTE Y ENVEJECIMIENTO	10
MONTAJE INADECUADO	8
MALA OPERACIÓN DEL CHOFER	7
REPUESTOS DE MALA CALIDAD	6
EXCESO DE VIBRACIONES	5
FALTA DE CONOCIMIENTO	3
FALTA DE INSPECCIÓN RUTINARIA	1

Fuente: Elaboración Propia

2.4.2.4 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

¹³ Macian Martínez Vicente, Fundamentos de Ingeniería del Mantenimiento (1999).

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 auditorías cuantitativas.

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

- Indicadores económicos.
- Indicadores técnicos.
- Indicadores organizacionales.

Para realizar un análisis más completo, ésta 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 datos¹⁴.

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 del Gobierno Autónomo Municipal de El Alto. 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 buses, se analizarán los siguientes indicadores de mantenimiento como muestra la Tabla 11.

¹⁴ García Garrido Santiago, Mantenimiento Predictivo (Renovatec), 2015.

Tabla 11. Indicadores de mantenimiento

INDICADORES	DÍAS	HORAS
MTBF		
MTTR		
Disponibilidad		
Tasa de Fallo		

Fuente: Elaboración Propia

2.4.2.4.1 MTBF (Mid Time Between Failure, Tiempo Medio Entre Fallos)

Nos permite conocer la frecuencia con que suceden las averías:

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Número de horas totales del tiempo analizado}}{\text{Número de averías}}$$

2.4.2.4.2 MTTR (Mid Time To Repair, 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:

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Número de horas de paro por avería}}{\text{Número de averías}}$$

2.4.2.4.3 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:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas parada por mantenimiento}}{\text{Horas totales}}$$

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{MTBF} - \text{MTTR}}{\text{MTBF}}$$

Una vez obtenida la disponibilidad de cada uno de los equipos o sistemas significativos, debe calcularse la media aritmética, para obtener la disponibilidad total.

2.4.2.4.3.1 Disponibilidad total

$$\text{Disponibilidad total} = \frac{\sum \text{Disponibilidad de equipos significativos}}{\text{N}^\circ \text{ de equipos significativos}}$$

2.4.2.4.3.2 Disponibilidad por averías

Intervenciones no programadas:

$$\text{Disponibilidad por avería} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas parada por avería}}{\text{Horas totales}}$$

La disponibilidad por avería no tiene en cuenta, pues, las paradas programadas de los equipos. Igual que en el caso anterior, es conveniente calcular la media aritmética de la disponibilidad por avería, para poder ofrecer un dato único.

2.4.2.4. 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 equipo¹⁵.

$$\lambda = \frac{T_f}{T_p}$$

En donde:

λ : tasa de fallos (fallos/días)

T_f : Número de fallos totales en el periodo de análisis

T_p : Periodo Analizado

¹⁵ Parra Ramírez Santiago, Determinación de las Estrategias de Mantenimiento, (2006).

2.4.2.5 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 siguiente es utilizada en este estudio para realizar el cálculo de criticidad de los buses, se obtiene a partir de la multiplicación de los tres niveles que son: nivel de severidad, nivel de incidencia y nivel de detención. Esta ecuación es muy utilizada, además los niveles utilizados son fáciles de obtener¹⁶.

$$CR = S * O * D$$

Donde:

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 bus se utilice), para el cálculo se basa en la Tabla 12 que indica la detectabilidad. Esta tabla se construye dando valores, para nuestro caso del 1 al 10.

Tabla 12. 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.

¹⁶ Macian Martínez Vicente, Fundamentos de Ingeniería del Mantenimiento (1999).

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.

2.4.2.6 Selección del Plan

2.4.2.6.1 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.

2.4.2.6.2 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.

2.4.2.6.3 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.

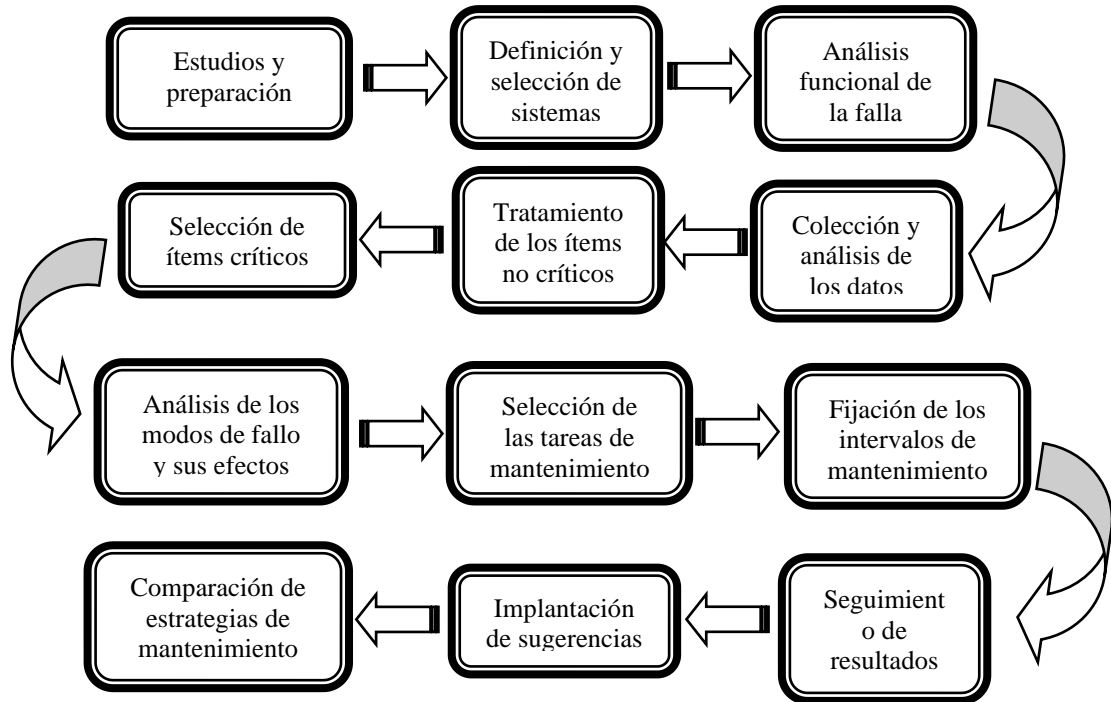
La necesidad de contestar a las siete cuestiones básicas y la imposibilidad, en la mayoría de los casos, de que puedan ser contestadas por una sola persona, hace necesaria la creación de grupos de trabajo denominados grupos de revisión.

Estos grupos de revisión deben incluir, al menos, una persona perteneciente al área de mantenimiento y otra a producción.

2.4.2.7 Principales Tareas del Análisis RCM

Las principales actividades que intervienen en el análisis RCM se resumen en doce pasos, los cuales se detallan en la figura siguiente:

Figura 7. Resumen de las principales tareas del RCM

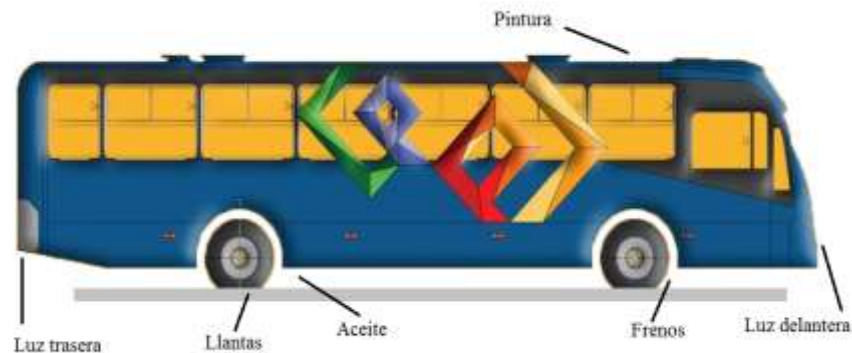


Fuente: http://www.aloj.us.es/notas_tecnicas/Vista_General_del_Mantenimiento_Preventivo.pdf

2.4.2.8 Relación entre el comportamiento de las fallas y las diferentes tareas de Mantenimiento

En las unidades de transporte, los principales elementos que fallan son los que se evidencian en la figura siguiente:

Figura 8. Representación de algunos factores a tomarse en cuenta en el mantenimiento vehicular



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

Uno de los conceptos fundamentales del RCM es que las tareas de mantenimiento deben enfocarse a soportar las “Funciones del Sistema”.

En la tabla siguiente se muestra la estimación subjetiva de la probabilidad y el tiempo en el que se presenta el fallo en los sistemas del bus, conjuntamente con las tareas de mantenimiento recomendadas.

Tabla 13. Probabilidad de fallo y acciones de mantenimiento vehicular

ELEMENTO	PROBABILIDAD DE FALLO	TIEMPO EN EL QUE SE PRESENTA EL FALLO	TAREAS DE MANTENIMIENTO
Frenos	Muy baja	Largo	- Inspección visual - Cambio de pastillas de freno
Aceite	Baja	Muy Corto	- Inspección visual - Cambio de aceite
Pintura	Media	Muy Largo	- Inspección visual - Lavado y encerado
Llantas	Media	Medio	- Inspección visual - Medición de presión - Alineación y balanceo - Cambio/Reencauche
Luz trasera	Alta	Corto	- Inspección visual - Prueba funcional - Cambio de bombillo
Luz delantera	Muy Alta	Corto	- Inspección visual - Prueba Funcional - Cambio de bombillo

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

2.4.2.3 Ventajas y desventajas del RCM

La implantación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), al igual que las estrategias de mantenimiento anteriormente mencionadas, también presenta una gama de beneficios que contrastan con tan solo algunos perjuicios. Estas ventajas y desventajas están descritas en la tabla siguiente:

Tabla 14. Ventajas y desventajas de la aplicación del RCM

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Identificación de riesgos de falla en equipo crítico	Algunas soluciones no son viables desde el punto de vista económico
Reducción de mantenimiento preventivo de vista económico y correctivo	
Identificación de oportunidades de mejora proactiva	Asignación de personal para la colección y análisis de datos
Mejora en la condición de los activos	
Incremento en la seguridad e impacto ambiental	Proceso de implementación costoso

Fuente: http://www.aloj.us.es/notas_tecnicas/Vista_General_del_Mantenimiento_Preventivo.pdf

El mantenimiento entonces es un campo de la ingeniería que al aplicarse eficazmente fortalece la competitividad de empresas industriales o prestadoras de servicio. La importancia del diseño e implementación de un plan de mantenimiento basado en condición o mantenimiento preventivo se evidencia en la condición de los equipos o elementos que constituyen un equipo, su monitoreo y conservación, además de los datos que se recogen y que son muy valiosos para realizar análisis técnicos. Esta tesis se enmarca en el estudio de los posibles factores o variables a tomar en cuenta para realizar un mantenimiento basado en condición MBC; así como un organizado plan de mantenimiento de los equipos consignado en una base de datos.

2.5 Mantenimiento basado en la condición

La estrategia basada en condición se caracteriza por la utilización de información de los equipos tales como: el resultado de inspecciones, resultados de históricos de pruebas, diagnósticos de fallos, información del comportamiento de los equipos ante eventos del sistema, datos de diseño y funcionamiento nominal. La información debe estar disponible y trazable de tal forma que permita construir reglas de diagnóstico y establecer niveles de alarma cuando se presenten condiciones de pre-falla o deterioro de una variable deseada, de tal forma que en un tiempo prudente se puedan realizar las acciones correctivas.

El Mantenimiento basado en la Condición (CBM) proviene de un supuesto lógico que la reparación o reemplazo preventivo de los componentes de la maquinaria sería oportuno si se realizaran justo antes que aparezca una falla. El objetivo del Mantenimiento basado en la

Condición (CBM) es obtener la máxima vida útil de cada activo físico antes de ponerlo fuera de servicio.

La selección de la maquinaria para ser incluida en estos programas depende de un análisis de su criticidad, su costo, sus requerimientos de seguridad y ambientales, la confiabilidad esperada y el impacto de su falla. En industrias como la generación de energía y petroquímica, el análisis de vibración ha sido históricamente la técnica seleccionada para monitorear la condición de los grandes componentes críticos de equipo rotatorio. Inversamente, las compañías de transporte y maquinaria pesada, han confiado en el análisis de aceite para tomar efectivas decisiones de mantenimiento predictivo. En otras industrias como las de metales primarios, papeleras, manufactura, etc., podríamos encontrar la aplicación o combinación de diferentes técnicas predictivas incluyendo la termografía, análisis de corriente en motores, el ultrasonido y eventualmente pruebas no destructivas.

El diseño adecuado de una estrategia de mantenimiento basado en condición (MBC) permitirá acceder a los beneficios y aprovechar al máximo las inversiones en tecnología y educación que se deben hacer¹⁷.

2.5.1 El Objetivo de MBC y las Fases del Proceso

Un PMBC busca como fin Implementar un Programa de Mantenimiento Proactivo enfocado en maximizar la confiabilidad de los activos industriales, optimizar las labores de mantenimiento y generar mejores prácticas aplicadas a las operaciones y mantenibilidad de la maquinaria, con el objeto de maximizar la eficiencia y efectividad del departamento de mantenimiento y su habilidad para anticiparse a eventos de falla que le permitan programar y planificar oportunamente las labores de intervención favoreciendo así la continuidad operacional del sistema de producción.

La capacidad de las distintas tecnologías predictivas brinda la oportunidad de anticiparnos a situaciones de fallas, esto representa un gran potencial en cuanto a la Planificación y Programación del Mantenimiento. Hoy en día hacer mantenimiento basado en horas de

¹⁷ Trujillo C. Gerardo, Lubricación y Mantenimiento Industrial, (2015).

operación (Preventivo) o mantenimiento cuando se presenten las fallas (Correctivo) resulta muy costoso para la industria.

Las tecnologías predictivas activan el Mantenimiento Basado en la Condición (MBC), que no es más que intervenir la maquinaria industrial solo cuando su salud así lo requiera, esto además nos coloca en una posición favorable en cuanto a la disposición oportuna de los recursos necesarios para el mantenimiento: repuestos, servicios, horas-hombre, herramientas, etc. El MBC se enfoca en soluciones puntuales y no en la intervención general de la maquinaria. Los estudios han demostrado que cuando se realizan actividades de mantenimiento puntuales y programadas, los costos disminuyen hasta en un 50%, costos asociados a recursos y a tiempo de producción.

2.5.1.1 Beneficios de un Programa de Mantenimiento Basado en Condición

Los beneficios de un Programa de Mantenimiento Basado en Condición aplicado de manera sistemática pueden efectivamente proporcionar beneficios que impactan la confiabilidad, seguridad y productividad de un complejo industrial en un corto plazo:

El análisis de una planta industrial según esta metodología aporta una serie de resultados:

- Mejora la comprensión del funcionamiento de los equipos y sistemas
- Analiza todas las posibilidades de fallo de un sistema y desarrolla mecanismos que tratan de evitarlos, ya sean producidos por causas intrínsecas al propio equipo o por actos personales.
- Determina una serie de acciones que permiten garantizar una alta disponibilidad de la planta.

Las acciones de tipo preventivo que evitan fallos y que por tanto incrementan la disponibilidad de la planta son de varios tipos:

- Tareas de mantenimiento, que agrupadas forman el Plan de Mantenimiento de una planta industrial o una instalación.
- Procedimientos operativos, tanto de Producción como de Mantenimiento.
- Modificaciones o mejoras posibles.
- Definición de una serie de acciones formativas realmente útiles y rentables para la empresa
- Determinación del stock de repuesto que es deseable que permanezca en Planta.

El mantenimiento basado en la condición o predictivo se enfoca en el análisis de fallos, tanto aquellos que ya han ocurrido, como los que se están tratando de evitar con determinadas acciones preventivas como por último aquellos que tienen cierta probabilidad de ocurrir y pueden tener consecuencias graves. Durante ese análisis de fallos debemos contestar a seis preguntas claves:

- a. ¿Cuáles son las funciones y los estándares de funcionamiento en cada sistema?
- b. ¿Cómo falla cada equipo?
- c. ¿Cuál es la causa de cada fallo?
- d. ¿Qué consecuencias tiene cada fallo?
- e. ¿Cómo puede evitarse cada fallo?
- f. ¿Qué debe hacerse si no es posible evitar un fallo?¹⁸

2.5.1.2 Selección de la tecnología adecuada

La selección de la tecnología adecuada para cada maquinaria depende de varios factores como son: el tipo de maquinaria, el modo de fallo a diagnosticar y la capacidad de inversión. Una de las mejores maneras de aplicar esta tecnología es mediante el Análisis de Modos de Falla, Efecto y Criticidad. (AMEF). Otras opciones incluyen el desarrollo de metodologías como Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), Análisis de causa raíz, Análisis de Pareto, Análisis de frecuencia de falla (TPEF), etc.

Lo que realmente importa, es que el programa de monitoreo de condición esté dirigido a la causa de falla y que puedan identificarse los indicadores de su deterioro.

Una vez que se ha efectuado el análisis de las causas de falla críticas de la maquinaria, es importante identificar una acción de mantenimiento que permita eliminarla, detectarla y controlarla. De esta manera construimos nuestro plan de mantenimiento. De la misma manera, estamos ahora en condiciones de establecer nuestro programa de monitoreo de condición, seleccionando la tecnología o estrategia que pueda ayudarnos a responder las siguientes preguntas:

1. ¿De dónde proviene?

¹⁸ Trujillo C. Gerardo, Lubricación y Mantenimiento Industrial, (2015).

2. ¿Qué la causa?
3. ¿Qué tan severa es?
4. ¿Se puede controlar?
5. ¿En cuánto tiempo ocurrirá?¹⁹

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

- Fase 0: Codificación y listado de todos los subsistemas, equipos y elementos que componen el sistema que se está estudiando. Recopilación de esquemas, diagramas funcionales, diagramas lógicos, etc.
- Fase 1: Estudio detallado del funcionamiento del sistema. Listado de funciones del sistema en su conjunto. Listado de funciones de cada subsistema y de cada equipo significativo integrado en cada subsistema.
- Fase 2: Determinación de los fallos funcionales y fallos técnicos
- Fase 3: Determinación de los modos de fallo causas de cada uno de los fallos encontrados en la fase anterior
- Fase 4: Estudio de las consecuencias de cada modo de fallo. Clasificación de los fallos en críticos, importantes o tolerables en función de esas consecuencias
- Fase 5: Determinación de medidas preventivas que eviten o atenúen los efectos de los fallos.
- Fase 6: Agrupación de las medidas preventivas en sus diferentes categorías. Elaboración del Plan de Mantenimiento, lista de mejoras, planes de formación y procedimientos de operación y de mantenimiento.
- Fase 7: Puesta en marcha de las medidas preventivas.

¹⁹ Goodfellow, Maintenance Guide, (2000).

2.6 Antecedentes y generalidades del transporte

El transporte se utiliza para describir al acto y consecuencia de trasladar algo de un lugar a otro.

Figura 9. Medio de transporte



Fuente <http://www.tramz.com/bo/lp/lpf.html>

La historia de los sistemas de transporte público en Bolivia se inicia muy temprano en 1909. Se instalan las primeras líneas de tranvía copiando de alguna manera el modelo de transporte europeo.

Figura 10. Transporte por tranvía



Fuente <http://www.tramz.com/bo/lp/lpf.html>

El primer ferrocarril construido en Bolivia fue inaugurado el 15 de mayo de 1892, durante el gobierno del Dr. Aniceto Arce.

Figura 11. Transporte por tren



Fuente <http://www.tramz.com/bo/lp/lpf.html>

Cuatro décadas después los gobernantes de turno desechan este novedoso sistema de transporte debido a que los automotores evidentemente ofrecían una mayor versatilidad.

En 1940 se funda la Sociedad de Propietarios, Choferes y Cobradores de la Línea 1. Se incorporan buses que se distinguían por colores Amarillo rojo y azul.

Figura 12. Primeros buses de transporte Sindicato “Litoral”



Fuente <http://www.libros-de-altura.blogspot.com>

El año 2013 se construye en China el primer prototipo de bus de transporte masivo denominado “Puma Katari” y se lo embarca para viajar dos meses rumbo a La Paz.

Figura 13. Flota de buses “Puma Katari”



Fuente: <http://www.lapazbus.bo/noticia/357/>

El 15 de septiembre de 2014 llegó a la Ciudad de El Alto el primer prototipo de una flota de 60 buses de transporte masivo.

El 22 de diciembre de 2014, se presentó oficialmente la flota de 60 buses a los habitantes de El Alto, con una caravana a lo largo de la ciudad, anunciado su puesta en marcha para los primeros días de Enero del 2015.

Figura 14. Prototipo del bus “Sariri”



Fuente: Fotografía tomada en Mascareello

El Wayna Bus es el proyecto de transporte masivo encarado por el Gobierno Autónomo Municipal de la ciudad de El Alto, para resolver un serio problema de acceso al transporte de parte de los habitantes de esta ciudad. Wayna en aymara significa Joven.

En la etapa inicial del Wayna Bus, antes Bus Sariri, se esperaba que se desplace sobre vías troncales y segregadas; en procura de consolidar un modo de transporte más rápido que vincule áreas periféricas del sur hacia la periferie norte de la ciudad de El Alto, en ese marco, operaron 60 buses; cada uno con una capacidad de 82 pasajeros, de los cuales 34 viajan sentados y cuenta con un espacio para silla de ruedas, con su correspondiente ascensor hidráulico.

El 15 de septiembre de 2014 llegó el primer prototipo de una flota de 60 buses.

El 22 de diciembre de 2014, se presentó oficialmente la flota de 60 buses a los habitantes de El Alto, con una caravana a lo largo de la ciudad, anunciado su puesta en marcha para los primeros días de enero del 2015.

Desde el 3 de marzo de 2015, después de un periodo de modificaciones en el proyecto original, comienzan las operaciones comerciales del Sariri, con dos rutas: Maya y Paya, uno y dos en aymará.

El lote comprende 60 autobuses de la marca Volkswagen con tecnología alemana y es ensamblado en Brasil con carrocería Mascarello. El Autobús de modelo 2014 Volksbus 18.320 EOT presenta las siguientes características técnicas:

- Chasis de bus mediano con Certificaciones Internacionales de calidad y durabilidad ISO respaldadas de chasis, carrocería y motor.
- Modelo 18.320 EOT equipado con una motorización electrónica de 8.270 cc Cummins ISC (Idle Speed Control), Turbo Intercooler, posee la tecnología de emisión de gases Euro III.
- Sistema de inyección Common Rail, con una velocidad máxima de 120 km/h. Su gran potencia de 320 cv, cataloga a este autobús mediano como uno de los más potentes en su categoría, con un menor consumo de combustible (diesel), en comparación a buses de similar cilindrada.
- La transmisión y la caja de cambios está respaldada por una marca de calidad a nivel mundial como lo es Eaton, es de seis velocidades más una de reversa.
- Los aros de las ruedas son de 8,25” x 22,5. El chasis del 18.320, tiene una distancia reducida entre ejes que llega a los 3.000 mm (acondicionada para ser alargada). Por su parte, el largo total es de 8.517 mm; el peso bruto total admisible asciende a las 18 toneladas.

- La suspensión delantera es neumática con dos bolsas de aire, válvula niveladora de altura, amortiguadores de acción doble, muelles parabólicos y barra estabilizadora. La suspensión trasera es similar, pero tiene amortiguadores hidráulicos, muelles tipo “Z” y barra Panhard. Permitirá que los pasajeros puedan disfrutar del máximo confort y seguridad al momento de viajar gracias a las bolsas de aire en la suspensión.

- Como medida de seguridad, los frenos presentan tambor en ambos ejes. El freno de servicio tiene un accionamiento neumático con doble circuito independiente de tres tanques de aire, tambores en las ruedas delanteras y traseras, Área efectiva de frenado de 5,445 cm². El freno de emergencia y estacionamiento de accionamiento neumático con resorte acumulador.

2.7 Sistemas y subsistemas de una unidad de Transporte Wayna Bus

Dentro de las unidades del sistema de Transporte “Wayna Bus” se pueden identificar varios sistemas principales para el funcionamiento de las mismas:

2.7.1 Sistema bastidor y carrocería

Al bastidor lo forman los largueros y travesaños, tal como se observa en la figura 15. La disposición y su forma dependen de la función o trabajo que el vehículo desempeñe. Por lo tanto, su estructura y materiales, así como los puntos de sujeción entre sus componentes, serán revisados periódicamente como medida preventiva a posibles indicios de roturas.

Figura 15. Chasis de Ómnibus Volksbus 18 – 320 EOT



Fuente: [http:// VW_18.320_EIII_EOT_espanhol.pdf](http://VW_18.320_EIII_EOT_espanhol.pdf)

La carrocería está constituida por una estructura resistente a los esfuerzos a los que está sometida. Hay que tomar en cuenta que la carrocería está montada sobre un bastidor, el cual está formado por largueros y travesaños.

2.7.2 Motor

El motor fundamentalmente es un recipiente en el que se introduce una mezcla de aire y combustible. La mezcla se expande con rapidez al quemarse y ejerce una presión hacia afuera. Esta presión puede aprovecharse para mover una parte del motor, transformando así en movimiento la energía liberada por la combustión.

En resumen, un motor es un dispositivo que transforma el calor (energía térmica) en trabajo (energía mecánica) de modo continuo.

Para transmitir la potencia, el motor desarrolla dos tipos de movimientos:

- Movimiento alternativo o de vaivén.
- Movimiento rotatorio o circular, alrededor de un punto

El motor convierte el movimiento alternativo, en movimiento rotatorio.

El conjunto conformado por: cilindro, pistón, biela y cigüeñal.

2.7.2.1 Subsistemas del motor

A continuación, se describen los subsistemas del motor, los cuales son necesarios para su rendimiento óptimo.

2.7.2.1.1 Sistema de inyección de combustible

Este sistema tiene que suministrar el combustible limpio y en la cantidad correcta a la admisión del motor. Este sistema tiene que almacenar el combustible y debe estar dotado de dispositivos que aseguren la alimentación del motor con combustible.

En el sistema de alimentación para diésel, el combustible se inyecta directamente en la cámara de combustión del motor, donde se mezcla con el aire caliente comprimido, inflamándose en ese momento. Por lo tanto, no se necesita ninguna chispa para inflamar la mezcla, como ocurre en los motores de gasolina o gas natural. Estos motores llevan bomba de inyección o inyectores.

Los componentes principales del sistema de alimentación de diésel, son los siguientes:

- Depósito de combustible para almacenarlo.
- Bomba de alimentación, para mandar el combustible a la bomba de inyección.
- Filtros para combustible, para mantenerlo limpio.

- Bomba de inyección, dosifica e inyecta el combustible en el momento preciso.
- Inyectores, pulverizan el combustible dentro del cilindro.

Los sistemas de admisión y de escape llevan la mezcla del aire y combustible hasta el motor y dan salida a los gases quemados.

2.7.2.1.2 Sistemas de Admisión y Escape

2.7.2.1.2.1. Sistema de Admisión

El sistema de admisión y escape llevan la mezcla de aire y combustible hasta el motor y dan salida a los gases quemados.

El sistema de admisión suministra al motor aire limpio en la cantidad y a la temperatura apropiada para una buena combustión.

El sistema de admisión consta de cinco componentes:

- Filtro para el aire
- Turbocompresor (opcional)
- Colector de admisión
- Válvulas de admisión

Durante el funcionamiento del motor, los filtros de aire retienen el polvo y la suciedad al ser atravesados por el aire aspirado por el motor. Se emplean también pre-filtros con el fin de separar las partículas más gruesas, que podrían obstruir el purificador. Con un turbocompresor se puede aumentar la potencia del motor al llenar la cámara de combustión con mayor cantidad de mezcla de aire y combustible, de la que el motor puede aspirar en forma natural. El colector de admisión lleva el aire puro a todos los cilindros del motor.

Las válvulas de admisión dejan que entre el aire en el cilindro correspondiente del motor diésel o la mezcla de aire combustible en el motor de encendido por chispa.

Por regla general, estas válvulas se abren y cierran por un dispositivo mecánico comandado por el árbol de levas.

2.7.2.1.2.2 Sistema de Escape

El sistema de escape recoge los gases quemados y los manda a la atmosfera. En realidad, cumple tres funciones:

- Disipa el calor de los gases
- Amortigua el ruido de las explosiones
- Conduce al exterior los gases quemados y sin quemar

El sistema de escape consta de tres componentes fundamentales:

- Las válvulas de escape: Se abren para dejar salir los gases quemados.
- El colector de escape: Recibe los gases quemados y los lleva al silenciador.
- El silenciador del escape: Amortigua el ruido producido por las explosiones de la mezcla.
- Catalizador de dos vías: Oxida las emisiones de monóxido de carbono a dióxido de carbono e hidrocarburos no quemados o parcialmente quemados a dióxido de carbono y agua.

2.7.2.1.3 Sistema de lubricación

El sistema de lubricación realiza en el motor las siguientes funciones:

- Reduce la fricción entre las piezas en movimiento.
- Absorbe y disipa el calor.
- Hace más hermético el cierre de los segmentos contra la pared del cilindro.
- Lava las piezas en movimiento.
- Hace menos ruidoso el funcionamiento del motor.

2.7.2.1.3.1 Funcionamiento del sistema de lubricación

Una bomba de aceite envía el aceite hacia un filtro, después, se conduce a través de una rampa principal hasta los puntos que requieren lubricación. El aceite que rebosa de las piezas, regresa al cárter por gravedad.

El movimiento giratorio de los elementos ocasiona salpicaduras que favorecen el engrase de diversos puntos donde las canalizaciones de engrase no llegan (engrase por proyección).

Los elementos que son lubricados a presión son:

- El cigüeñal - cabeza de biela.
- El árbol de levas (apoyos).
- El eje de balancines.

Los elementos que son lubricados por proyección son:

- Las camisas.
- Los pistones y sus ejes.
- Las levas y el árbol de levas.
- La distribución (mando).
- Las varillas de los balancines.
- Los taqués.

2.7.3.2.1.4 Sistema de refrigeración

La refrigeración por líquido es el sistema generalizado que utilizan los automotores actuales. En este sistema, los cilindros y el bloque de cilindros constituyen una envoltura en cuyo interior circula el líquido de refrigeración. El líquido refrigerante circula igualmente por el interior de la culata a través de unos huecos (cámaras) previstos para el efecto.

Las cámaras están uniformemente repartidas alrededor de la cámara de combustión y cilindros. Este líquido, que se calienta al contacto con las paredes, después se dirige hacia el radiador, donde cede su calor al aire ambiente, para volver después al bloque de cilindros.

La cámara de agua está formada por las cavidades del bloque motor y la culata, por las cuales circula el líquido refrigerante. Rodean las partes que están en contacto directo con los gases de la combustión (cilindros, cámaras de combustión, asientos de bujías y guías de válvulas).

- Radiador

La misión del radiador es enfriar el agua caliente procedente del motor. Está situado, generalmente, en la parte delantera del vehículo de forma que el aire incida sobre él durante su desplazamiento.

- Bomba de agua

En el proceso de refrigeración, la circulación es activada por una bomba que se intercala en el circuito, entre la parte baja del radiador y el bloque, obligando la circulación del líquido

refrigerante (refrigeración forzada). La bomba de agua más usada es la de paletas de tipo centrífugo.

- Ventilador o electroventilador

El ventilador es el encargado de hacer pasar una corriente de aire suficiente para refrigerar el agua a través del radiador. Además, refrigera algunos órganos externos como generador, bomba de agua, y bomba de combustible. En modelos antiguos el ventilador está montado en el mismo eje que la bomba de agua, y mientras el motor funciona, lo hace el ventilador. Actualmente los automotores van dotados de un electroventilador (E) con un mando termoeléctrico (T), de tal forma que entra en funcionamiento al adquirir el agua del circuito de refrigeración una determinada temperatura, evitando así pérdidas innecesarias de potencia por arrastre en regímenes en los que el empleo del ventilador no es necesario.

- Termostato

Es una válvula de doble efecto que permite que la refrigeración no actúe cuando el motor esté frío, para que se consiga rápidamente la temperatura de óptimo rendimiento (aproximadamente, de 85° a 90°C en el líquido). Este mismo dispositivo ha de permitir la refrigeración completa o parcial del agua, dependiendo de la temperatura del motor. La misión del termostato es mantener la temperatura del motor en la de óptimo rendimiento. Para ello actúa sobre el paso del agua regulando la temperatura de ésta sobre los 85° C. Si la temperatura baja de la indicada, el termostato se vuelve a cerrar, calentando el motor.

2.7.3 Sistema de frenos

La misión del sistema de frenado es crear una fuerza regulada para reducir la velocidad o para detener un vehículo en movimiento, así como para tenerlo estacionado. En vehículos pesados es normal la utilización de frenos de aire, los cuales son un medio seguro y adecuado para detener este tipo de vehículos.

Para su correcto desempeño necesitan tener un uso y mantenimiento adecuados. En realidad, los frenos de aire están compuestos por tres sistemas de frenos: El sistema de frenos de servicio, el sistema de frenos de estacionamiento y el sistema de frenos de emergencia.

- El sistema de frenos de servicio aplica los frenos cuando se usa el pedal de freno durante la conducción normal.

- El sistema de frenos de estacionamiento aplica los frenos de estacionamiento cuando se utiliza el control para este tipo de freno.
- El sistema de frenos de emergencia usa partes de los sistemas de frenos de servicio y de frenos de estacionamiento para detener el vehículo en caso de una falla del sistema de frenos.

2.7.3.1 Elementos del sistema de frenos

- Compresor de aire

El compresor bombea aire a los tanques de almacenamiento y se conecta al motor por medio de engranajes o de una banda en V. El compresor puede ser enfriado por aire o por el sistema de enfriamiento del motor y puede tener su propia provisión de aceite lubricante o estar lubricado con aceite del motor.

- Gobernador del compresor de aire

El gobernador controla el funcionamiento del compresor de aire cuando éste bombea aire a los tanques de almacenamiento. Cuando la presión del tanque de aire se eleva al nivel máximo (alrededor de 125 psi), el gobernador detiene el compresor para que deje de bombear aire. Cuando la presión del tanque cae hasta la presión mínima (100 psi), el gobernador permite que el compresor comience a bombear aire nuevamente.

- Tanques de almacenamiento de aire

Los tanques de almacenamiento de aire almacenan el aire comprimido. El tamaño y la cantidad de los tanques varían según el vehículo. Los tanques contienen aire suficiente para permitir que los frenos se utilicen varias veces, aun si el compresor deja de funcionar.

- Drenajes del tanque de aire

Por lo general, el aire comprimido contiene humedad y aceite del compresor, lo que es perjudicial para el sistema de frenos de aire, ya que el agua se puede congelar en clima frío y provocar una falla de los frenos. El agua y el aceite tienden a acumularse en el fondo del tanque de aire y por eso es importante drenarlo completamente usando la válvula de drenaje que se encuentra en la parte inferior de cada tanque. Hay dos tipos de válvulas:

- Manual: se la gira un cuarto de vuelta o se tira de un cable. Se recomienda drenar manualmente los tanques al finalizar cada día de manejo.

- Automática: el agua y el aceite son expulsados automáticamente. Estos tanques también pueden estar equipados para drenaje manual. Además, también pueden tener un sistema de calentamiento para evitar el congelamiento del agua.

- Evaporador de alcohol

Algunos sistemas de frenos de aire están equipados con un evaporador de alcohol, fluido que ayuda a disminuir el riesgo de que se forme hielo en las válvulas de freno y en otras piezas del sistema en temporada fría.

- Válvula de seguridad

En el primer tanque al que el compresor bombea aire está equipado con una válvula de escape de seguridad, que evita que el tanque y el resto del sistema acumulen demasiada presión. Normalmente, la válvula se abre a los 150 psi.

- Pedal de freno

El freno se acciona al presionar el pedal. Cuando se presiona el pedal de freno, hay dos fuerzas que actúan en contra del pie. La primera fuerza proviene de un resorte, y la segunda, de la presión del aire que va a los frenos. Esto permite sentir cuánta presión de aire está aplicándose a los frenos.

- Frenos de base

Los frenos de base funcionan en cada rueda. El tipo más común en los autobuses es el freno de tambor de excéntrica en "S". A continuación, se describen las partes de este elemento.

- Tambores, zapatas y revestimientos del freno. Los tambores de los frenos están situados en cada uno de los extremos de los ejes del vehículo. Las ruedas están unidas a los tambores mediante pernos. El mecanismo de frenado se encuentra dentro del tambor. Para detener el vehículo, las zapatas son empujadas contra el interior del tambor. Esto provoca fricción, que disminuye la velocidad del vehículo (y genera calor). El calor que puede soportar un tambor sin dañarse depende de la fuerza que se aplique al freno y de cuánto se lo use. Demasiado calor puede hacer que los frenos dejen de funcionar.

- Frenos de excéntrica en "S". Cuando se acciona el pedal de freno, ingresa aire a cada recámara del freno. La presión del aire empuja la varilla hacia fuera, que hace mover el regulador, con lo cual el eje de la excéntrica del freno gira. Esta acción hace girar la excéntrica en "S" (llamada así por su forma de letra "S"), la cual separa las zapatas una de

otra y las presiona contra la cara interior del tambor de freno. Cuando se suelta el pedal de freno, la excéntrica en “S” vuelve a su lugar y un resorte aleja las zapatas del freno lejos del tambor, lo cual permite que las ruedas vuelvan a girar libremente.

- Medidores de suministro de presión

Todos los vehículos equipados con frenos de aire tienen un medidor de presión conectado al tanque de aire. Si cuenta con un sistema dual de frenos de aire, tendrá un medidor para cada mitad del sistema o un único medidor con dos agujas.

- Medidor de la presión aplicada

Este medidor muestra cuánta presión de aire se está ejerciendo sobre los frenos (pero no todos los vehículos lo tienen). Si hay que ejercer mayor presión para mantener la misma velocidad, significa que la capacidad de los frenos está disminuyendo. En ese caso, se debe disminuir la velocidad y usar una marcha más baja.

- Advertencia de baja presión de aire

La señal indicadora de baja presión de aire es obligatoria en los vehículos que cuentan con frenos de aire. Esta señal visual debe encenderse antes de que la presión de aire en los tanques descienda por debajo de las 60 psi. Generalmente, la señal indicadora es una luz roja pero también puede ser sonora. En autobuses grandes es común que los dispositivos de advertencia de baja presión muestren la señal cuando la presión llega a 80 u 85 psi.

- Frenos de resorte

Todos los vehículos pesados deben estar equipados con frenos de emergencia y frenos de estacionamiento, que deben sostenerse mediante fuerza mecánica, ya que el sistema de aire comprimido puede sufrir una fuga. Para ello, por lo general se utilizan frenos de resorte. Durante la conducción, la presión de aire retiene a los resortes. Si la presión desaparece, los resortes accionan los frenos. La potencia de frenado de los frenos de resorte depende de que estén correctamente ajustados. Si no lo están, ni los frenos regulares ni los de emergencia o estacionamiento funcionarán correctamente.

- Frenos de estacionamiento

Un control para el freno de estacionamiento ubicado en la cabina permite que el conductor libere la presión de aire de los frenos de resorte, lo cual hace que los resortes apliquen los

frenos. Una fuga en el sistema de frenos de aire que provoque la salida de todo el aire también hará que los resortes apliquen los frenos.

- Ajustadores automáticos

Un ajustador de frenos automáticos es un componente mecánico del sistema de frenos de aire que ajusta los frenos a medida que es necesario cuando el vehículo está en marcha para compensar el desgaste de las balatas. Cuando un ajustador de frenos automáticos no cumple su función significa que hay un problema importante en el sistema de frenos que necesita ser corregido.

- Sistema de frenos antibloqueo (ABS)

En la actualidad todos los vehículos pesados cuentan con frenos con sistema antibloqueo de serie. Éste es un sistema computarizado que evita que las ruedas se bloqueen cuando se aplica bruscamente el freno. Los vehículos con ABS tienen un indicador luminoso en el tablero que indica fallas de funcionamiento. El sistema ABS es un complemento de los frenos comunes; no aumenta ni disminuye la capacidad de frenado normal del vehículo y se activa cuando las ruedas están próximas a bloquearse.

2.7.4 Sistema de transmisión

Es el conjunto de elementos que tiene la misión de hacer llegar el giro del motor hasta las ruedas motrices. Con este sistema también se consigue variar la relación de transmisión entre el cigüeñal y las ruedas. Esta relación se varía en función de las circunstancias del momento (carga transportada y el trazado de la calzada). Según como intervenga la relación de transmisión, el eje de salida de la caja de velocidades (eje secundario), puede girar a las mismas revoluciones, a más o a menos que el cigüeñal. Cuando el árbol de transmisión gira más despacio que el cigüeñal, se conoce como desmultiplicación o reducción y en caso contrario como multiplicación o sobremarcha.

La disposición de los elementos del sistema de transmisión dependerá de la situación relativa que exista entre el motor y las ruedas motrices, el tipo de transmisión utilizado en la mayoría de autobuses, es motor delantero y tracción trasera donde las ruedas motrices son las traseras, y dispone de árbol de transmisión. Su disposición es algo más compleja, utilizándose en camiones y automóviles de grandes potencias.

2.7.4.1 Elementos del sistema de transmisión

A continuación, se describen los elementos de transmisión:

- Embrague

Tiene como misión acoplar o desacoplar, a voluntad del conductor, el movimiento del motor al resto del sistema de transmisión.

- Caja de velocidades

Es la encargada de aumentar, mantener o disminuir la relación de transmisión entre el cigüeñal y las ruedas, en función de las necesidades, con la finalidad de aprovechar al máximo la potencia del motor.

- Árbol de transmisión:

Transmite el movimiento de la caja de velocidades al conjunto par cónico diferencial.

- Mecanismo par-cónico diferencial

Mantiene constante la suma de las velocidades que llevan las ruedas motrices antes de tomar la curva. Desmultiplica constantemente las vueltas del árbol de transmisión en las ruedas motrices y convierte el giro longitudinal de éste, en giro transversal en las ruedas.

- Juntas de transmisión

Las juntas se utilizan para unir elementos de transmisión y permitir variaciones de longitud y posiciones.

- Semiárboles de transmisión (palieres)

Son los encargados de transmitir el movimiento del grupo cónico-diferencial hasta las ruedas motrices, cuando el sistema carece de árbol de transmisión.

2.7.5 Sistema de dirección

La dirección es el conjunto de mecanismos que tienen la misión de orientar las ruedas directrices y adaptarlas al trazado de la vía por la que circula, así como para realizar las distintas maniobras que su conducción exige.

Cualquier mecanismo de dirección deberá ser preciso y fácil de manejar, y las ruedas delanteras tenderán a volver a su posición central al completar una curva.

Por otra parte, la dirección no debe transmitir al conductor las irregularidades de la carretera. Para conseguir estas características, debe reunir las siguientes cualidades: suave y cómoda, segura, precisa, irreversible, estable, progresiva.

2.7.5.1 Elementos de mando

Todos los elementos del sistema se pueden clasificar en tres grupos:

- Volante y árbol de dirección

El volante es el órgano de mando de la dirección. El diseño del volante varía según el fabricante. El tacto y el grosor deben permitir el uso cómodo y agradable.

El volante generalmente presenta una parte central ancha y unos radios también anchos para distribuir la carga del impacto por todo el pecho del conductor, en caso de accidente. El árbol de dirección está protegido por una caja fijada por el extremo inferior en la caja de engranaje de la dirección, y por el centro o su parte superior, en una brida o soporte que lo sujeta al tablero o a la carrocería del vehículo. Su extremo superior se une al volante.

El conjunto árbol y caja constituyen la columna de dirección.

- Caja de engranes de la dirección

El mando de la caja y engranes de dirección lo ejecuta el conductor con el volante, verdadero órgano de mando. A través de él, comunica a las ruedas directrices sus órdenes. El grado de reducción de esfuerzo por parte del conductor conseguido por efecto desmultiplicador del giro del volante de la dirección depende del peso, tipo y uso del vehículo. Los coches pesados con neumáticos anchos necesitarán una gran reducción y algún dispositivo de asistencia para poder girar a poca velocidad.

El mecanismo de la dirección también transmite al volante la reacción de las ruedas respecto a la superficie de la carretera. Esta reacción avisa inmediatamente al conductor de los cambios en las condiciones del piso. La caja del engranaje de la dirección cumple las funciones de proteger del polvo y la suciedad el conjunto de engranajes, contener el aceite en que se hallan sumergidos éstos y servir de soporte al mecanismo de la dirección, al volante y al brazo.

- Palanca y barras de la dirección

La palanca y barras de dirección tienen la misión de transmitir a las ruedas el movimiento obtenido en la caja de engranaje de la dirección. La disposición del conjunto de palanca depende del diseño utilizado por el fabricante. El sistema de acoplamiento puede ser mediante barras de acoplamiento divididas en dos e incluso en tres secciones.

- Dirección hidráulica

La dirección hidráulica fue el primer tipo de dirección asistida que se utilizó junto con las de vacío. La dirección hidráulica utiliza energía hidráulica para generar la asistencia. Para ello utiliza una bomba hidráulica conectada al motor. Lo habitual es que esté acoplada directamente mediante una correa.

El modelo más general aprovecha la propia cremallera como pistón hidráulico para generar la asistencia. De esta forma, cuando el conductor gira el volante, el sensor hidráulico permite el paso del fluido hacia uno de los lados del pistón, aumentando la presión en ese lado y haciendo que la cremallera se desplace axialmente hacia el lado al que el conductor gira el volante. Una vez que el conductor deja de girar el volante la presión se iguala y la cremallera queda en su posición original.

2.7.6 Sistema de suspensión

La suspensión tiene como misión absorber las irregularidades del terreno evitando que éstas lleguen a la carrocería del vehículo o lo hagan de manera suave. Para ello, entre las ruedas y el bastidor, se coloca un medio elástico de unión, el cual se deforma con el peso del vehículo y con la inercia del mismo al elevarse o bajarse como consecuencia de las irregularidades de la superficie.

Existen otros elementos con misión amortiguadora, como son los neumáticos y los asientos. Los elementos de la suspensión han de ser lo suficientemente resistentes y elásticos para aguantar las cargas a que se ven sometidos sin que se produzcan deformaciones permanentes ni roturas y también para que el vehículo no pierda adherencia con el suelo.

2.7.6.1 Elementos del sistema de suspensión

Los elementos fundamentales en toda suspensión son: muelles, amortiguadores y barras estabilizadoras.

· Muelles

Son elementos colocados entre el bastidor y lo más próximo a las ruedas, que recogen directamente las irregularidades del terreno, absorbiéndolas en forma de deformación.

Los muelles pueden ser: ballestas, muelles helicoidales y barra de torsión.

Las ballestas están compuestas por una serie de láminas de acero resistente y elástico de diferente longitud, superpuestas de menor a mayor, y sujetas por un pasador central llamado "perno-capuchino".

Unas abrazaderas mantienen las láminas alineadas. La hoja más larga se llama "maestra". Termina en sus extremos en dos curvaturas formando un ojo por el cual se articulan en el bastidor, gracias a un silemblock de goma. El silemblock consiste en dos casquillos de acero entre los que se intercala una camisa de goma.

· Amortiguadores

Los amortiguadores transforman la energía mecánica del muelle en energía calorífica, calentando un fluido contenido en el interior del amortiguador al tener que pasar por determinados pasos estrechos. Pueden ser de fricción o hidráulicos, aunque en la actualidad sólo se usan estos últimos. Los hidráulicos, a su vez pueden ser giratorios, de pistón o telescópicos; aunque todos están basados en el mismo fundamento.

· Barras estabilizadoras

Todos los ejes, en todos los autobuses, están dotados de una barra estabilizadora, la cual consiste en un soporte de reacción doblado en forma de U.

La barra estabilizadora está fijada en el eje y en el bastidor del chasis.

Las barras estabilizadoras proporcionan al autobús una mejor estabilidad en curvas, lo cual se traduce en estabilidad de marcha y confort mejorados.

Dependiendo del modelo de autobús, entre la barra estabilizadora y el bastidor hay tirantes con juntas de rótulas en ambos extremos. Las juntas de rótula hacen que se transmita directamente la fuerza de la barra estabilizadora, sin deformación en los elementos de goma intermedios.

2.7.7 Ruedas

La rueda es un elemento del automotor que está en contacto directo con el pavimento. Debe cumplir con las siguientes características para poder realizar sus funciones:

- Resistencia para sostener el peso del vehículo.
- Resistencia para no deslizarse en las frenadas.
- Oponerse a los esfuerzos naturales en las curvas.
- Capacidad para absorber y amortiguar en gran parte (un 10%) las irregularidades del terreno.
- Resistencia al desgaste.
- Facilidad para disipar el calor producido durante la frenada y como consecuencia de su adherencia.
- Ligeras en peso, reduciendo los efectos de inercia y el peso no suspendido.
- Resistencia transversal para los efectos de deriva.
- Estética y facilidad para su montaje y desmontaje de su acoplamiento.

2.7.8 Sistema eléctrico

El sistema eléctrico, por medio de sus correspondientes circuitos, tiene como misión, disponer de energía eléctrica suficiente y en todo momento a través de los circuitos de alumbrado y señalización que correspondan reglamentariamente, y de otros, que, siendo optativos, colaboran en comodidad y seguridad.

El sistema eléctrico lo componen los siguientes elementos: batería, circuito de carga de la batería, circuito de encendido eléctrico del motor, circuito de arranque del motor eléctrico, circuito electrónico para la inyección de gasolina, circuito para las bujías de caldeo para motores diésel y circuito de alumbrado, señalización, control y accesorios.

- **Batería:**

Almacena energía eléctrica que permite el arranque, el encendido del motor, el alumbrado y el accionamiento de los distintos accesorios. La batería recibe energía eléctrica del alternador, la transforma en energía química almacenada, y la suministra de nuevo en forma de energía eléctrica cuando se establece el circuito de cualquier servicio o consumo (receptores).

- Circuito de carga de la batería

El circuito de carga tiene como misión generar la corriente eléctrica suficiente para alimentar a los receptores o consumos que estén funcionando y mantener la batería cargada. El alternador recibe energía mecánica y la transforma en energía eléctrica. Un regulador de tensión regula el voltaje a un valor constante, aunque varíen las revoluciones del motor.

- Circuito de arranque del motor eléctrico

La misión del circuito de arranque del motor eléctrico es la de imprimirle al motor (explosión o combustión), un giro inicial para que pueda comenzar el ciclo de funcionamiento.

- El circuito electrónico para el sistema de inyección diésel.

El circuito electrónico para el sistema de inyección diésel tiene como misión la de inyectar diésel en la parte correspondiente del motor, según el sistema empleado de inyección, directa o indirecta, monopunto o multipunto, y según las condiciones y necesidades de cada momento.

- Circuito de bujías de caldeo para motor diésel

El circuito de bujías de caldeo tiene como misión en los motores diésel, facilitar el arranque del motor en frío, calentando previamente el aire que llega a los cilindros.

- Circuitos de alumbrado, señalización, control y accesorios

Los circuitos de alumbrado, señalización, control y accesorios ponen en funcionamiento el sistema de alumbrado y señalización, de acuerdo con lo estipulado en la normativa. Por otra parte, existen elementos eléctricos que colaboran en la seguridad considerablemente: lava y limpia-parabrisas, luces halógenas y de posición, testigo, aparatos de control y otros accesorios que indican el funcionamiento en cada momento del sistema correspondiente.

2.7.9 Sistema electrónico (sensores y actuadores)

A continuación, se describen los sensores y actuadores más frecuentes en los sistemas de inyección Diesel Common Rail.

2.7.9.1 ECU

El ECU (Electronic Control Unit) o Unidad de Control Electrónico, administra varios aspectos de la operación de un motor de combustión interna. Las unidades de control de

motor más simples sólo controlan la cantidad de combustible que es inyectado en cada cilindro en cada ciclo de motor. Las más avanzadas controlan el tiempo de apertura/cierre de las válvulas, el nivel de impulso mantenido por el turbocompresor, y control de otros periféricos.

Las unidades de control de motor determinan la cantidad de combustible y otros parámetros monitorizándolo a través de sensores. Antes de que las unidades de control de motor fuesen implantadas, la cantidad de combustible por ciclo en un cilindro estaba determinada por un carburador o por una bomba de inyección.

2.7.9.2 Sensores

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas y transformarlas en variables eléctricas. Las magnitudes detectadas pueden ser: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, humedad, etc.

2.7.9.2.1 Sensor de presión del múltiple MAP

El sensor MAP (*Manifold Absolute Pressure*) se encarga de medir la presión absoluta del múltiple de admisión convirtiendo el vacío a una señal de voltaje la cuál interpreta el ECM como presión absoluta en el múltiple.

2.7.9.2.2. Sensor de posición del acelerador (TPS)

En vehículos con acelerador con cable mide el ángulo de apertura de la mariposa de aceleración, manda esta información a la ECU para calcular una correcta inyección de combustible.

Por otro lado, en vehículos con acelerador electrónico, el TPS mide la posición del pedal del acelerador, para de esta manera a través de la computadora dar movimiento a la compuerta en el cuerpo de aceleración, mediante un mecanismo.

2.7.9.2.3. Sensor de velocidad

Algunos sensores de velocidad están hechos con una bobina móvil fuera de un imán estacionario. El principio de operación es el mismo. Un otro tipo de transductor de velocidad consiste en un acelerómetro con un integrador electrónico incluido.

2.7.9.2.4. Sensor de temperatura de aire

El sensor de temperatura del aire conocido como IAT (Intake Air Temperature) tiene como función, medir la temperatura del aire. Se puede ajustar así la mezcla con mayor precisión, si bien este sensor es de los que tiene menor incidencia en la realización de la mezcla igualmente su mal funcionamiento acarreará fallas en el motor.

Posee una resistencia variable que aumenta proporcionalmente al aumento de la temperatura del aire. Está situado en el ducto plástico de la admisión del aire, pudiéndose encontrar dentro o fuera del filtro de aire.

Los problemas de este sensor se traducen en emisiones de monóxido de carbono demasiado elevadas, problemas para arrancar el vehículo en frío y un consumo excesivo de combustible. También se manifiesta una aceleración elevada.

2.7.9.2.5 Sensor de temperatura de agua

El sensor de temperatura de agua (ECT o CTS), es el elemento que modifica su tensión en función de la temperatura del refrigerante. A medida que la temperatura va aumentando, la resistencia y el voltaje en el sensor disminuyen. La computadora toma como referencia los valores del voltaje para activar o desactivar el electroventilador.

El funcionamiento de este sensor es importante, de lo contrario pueden producirse problemas durante el ciclo de comprobación del control de los gases de escape, esto debido a un incremento de los valores de monóxido de carbono y a la falla del sensor de oxígeno.

2.7.9.2.6 Sensor de posición del árbol de levas

Este sensor lee las ranuras hechas en el engrane del eje de levas para que la computadora identifique la posición de los cilindros y sincronice la activación secuencial de los inyectores. La computadora utiliza los datos del CKP y CMP para determinar la sincronización de la chispa y de los inyectores. Este sensor está ubicado al frente del motor, detrás de la tapa de tiempos.

2.7.9.2.7 Sensor de posición del cigüeñal (CKP)

Este sensor reporta el número y secuencias de las ranuras hechas en el plato del convertidor de torsión para que, junto con el dato del sensor del árbol de levas, la computadora ubique la

posición del cilindro número 1, y la generación del pulso de inyección pueda ser sincronizada con el motor. Este sensor está localizado atrás del motor. El sensor CKP es un dispositivo de efecto Hall que registra la velocidad del motor y la posición del cigüeñal.

2.7.9.2.8 Sensor de flujo de masa de aire

El sensor de flujo de masa de aire (MAF) mide el volumen de aire que entra al motor. Su señal es interpretada en gramos por segundo de caudal. Al entrar un mayor flujo de aire al motor se aumentan las RPM.

2.7.9.2.9 Sensor de presión barométrica

El sensor de presión barométrica (MAP) reporta el nivel de voltaje de acuerdo al nivel de vacío del motor, el cual varía dependiendo de la abertura del estrangulador. La computadora usa este dato con el dato de las RPM para calcular el nivel de carga del motor y así poder activar los inyectores en el momento adecuado. Para el cálculo intervienen otros datos tales como el nivel de oxígeno en los gases de escape y la temperatura del motor.

El sensor MAP monitorea la presión dentro del múltiple de admisión y se utiliza para calcular la masa de aire entrante al motor. La computadora utiliza este cálculo para determinar la cantidad de gasolina que se requiere para la combustión completa.

2.7.9.2.10 Sonda Lambda

Actualmente todos los vehículos cuentan con un convertidor catalítico para reducir los gases nocivos en sustancias que no dañan el medio ambiente.

El sensor de oxígeno determina la composición de los gases de escape, enviando una señal a la computadora para que realice los ajustes necesarios y se obtenga la relación óptima de aire combustible.

2.7.9.2.11 Sensor de presión de sobrealimentación

El sensor mide la presión absoluta reinante en el tubo de admisión entre el compresor y el motor respecto a un vacío de referencia y no respecto a la presión ambiente. De este modo es posible determinar la masa de aire con toda exactitud y regular la presión de sobrealimentación con arreglo a la necesidad del motor.

2.7.9.2.12 Sensor de presión de aceite

Los sensores montados en el filtro de aceite miden la presión absoluta de éste a fin de poder averiguar la carga del motor para la indicación de servicio de mantenimiento.

2.7.9.2.13 Sensor de presión de combustible en el riel

Este sensor se encuentra montado en filtro de combustible en la parte de baja presión. Con su señal se controla el grado de ensuciamiento del filtro. Al igual que el sensor de presión de aceite, se puede tener una indicación del mantenimiento.

2.7.9.3 Actuadores

Un actuador es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado. Este recibe la orden de un regulador o controlador y en función a ella genera la nueva orden para activar un elemento final de control como, por ejemplo, una válvula.

Dentro del motor diésel se tienen varios actuadores como la válvula reguladora de presión, circuito para las bujías de caldeo, los inyectores, estos dos últimos tratados en sistemas anteriores.

2.7.9.3.1 Válvula reguladora de presión del riel

La misión de esta válvula corresponde a la de una válvula de sobrepresión. La válvula limitadora de presión limita la presión en el riel dejando libre una abertura de salida en caso de un aumento demasiado grande. La válvula admite en el Rail una presión máxima de 1500 bar brevemente.

Desarrollo de la Investigación

3.1 Descripción

3.2 Utilización del método análisis modal de falla – efecto (AMFE)

El método AMFE es una herramienta que permite identificar, evaluar y prevenir los posibles fallos y efectos que podrían producirse en las unidades de transporte.

Mediante la aplicación del método AMFE se pretende implementar la filosofía de prevención dentro de la flota de buses “Wayna Bus”.

Algunos otros objetivos proyectados son:

- Identificar los modos de fallo que tienen consecuencias importantes respecto a criterios como: disponibilidad, seguridad, etc.
- Señalar para cada modo de fallo los medios y procedimientos de detección.
- Adoptar acciones correctoras y/o preventivas, de forma que se supriman las causas de averías en los buses.

3.3 Consideraciones generales

Una tabla AMFE documenta el conocimiento existente y las acciones sobre riesgos o fallos que deben ser utilizadas para alcanzar la mejora continua.

Las características principales de este método son:

- **Carácter Preventivo:** Permite anticiparse a la ocurrencia del fallo.
- **Sistematización:** El enfoque estructurado que exige la realización de las AMFE, asegura que se consideren todas las posibilidades de fallo.
- **Participación:** Se requiere de la participación de todas las áreas.

Las etapas para la implementación de las AMFE en cualquier empresa, incluida la flota de buses “Wayna Bus”, son las siguientes:

- a) Crear y formar el equipo AMFE

- b) Identificar el servicio
- c) Elaborar diagrama de bloques funcionales
- d) Recoger datos de fallos y clasificarlos
- e) Preparar las AMFE
- f) Implantar las acciones correctivas
- g) Revisar y seguir las AMFE

3.3.1 Descripción del método

A continuación, se indica de manera ordenada y esquemática los pasos necesarios con la correspondiente información a cumplimentar en la hoja de análisis para la aplicación del método AMFE de forma genérica. El esquema obedece a los intereses del Gobierno Municipal de El Alto, por ende, de la flota de buses “Wayna Bus”, en función de las necesidades de sus automotores.

3.3.1.1 Identificar los componentes y codificación

Se debe realizar un listado de todos los subsistemas, equipos y elementos que componen el sistema que se está estudiando.

La codificación de cada elemento es muy importante, ya que ayuda a evitar confusiones a la hora de definir los componentes.

3.3.1.2 Aclarar las funciones de la parte o componente analizado

En este punto se tienen que expresar todas y cada una de las funciones del componente en análisis para poder identificar, posteriormente, los modos potenciales de fallo.

3.3.1.3 Determinar los modos potenciales de fallo

El siguiente paso consiste en anotar los posibles modos de fallo del componente en estudio. Para la identificación de todos los modos de fallo se tienen que utilizar todos los datos que puedan ayudar, tales como:

- AMFE anteriormente realizados para productos/servicios similares.
- Estudios de fiabilidad.

- Datos y análisis sobre reclamaciones de clientes tanto internos como externos.
- Los conocimientos de los expertos mediante la realización de Lluvia de Ideas o Procesos Lógicos de Deducción.

Es importante citar también los modos de fallo que se han presentado como consecuencia del mal manejo de los buses.

Típicamente las fallas pueden ser, pero no están limitadas a:

- Doblado
- Sucio
- Corto circuito
- Daño de manejo
- Desajustado
- Fisurado
- Polveado
- Deformado
- Circuito Abierto

3.3.1.4 Enumerar los efectos potenciales de fallo

A continuación de la columna anterior se anotan los efectos que producen cada uno de los modos de fallo analizados.

Cada modo de fallo puede tener diversos efectos potenciales, por lo que se identificarán todas las posibles consecuencias que éstos pueden acarrear.

Se deben describir los efectos de la falla en los términos de lo que el cliente experimenta. Para el usuario final, los efectos deben ser siempre establecidos en términos de desempeño del sistema, como:

- Ruido
- Desplazado
- Mala operación
- Inoperante
- Inestable
- Operación intermitente
- Apariencia pobre
- Control del vehículo inconstante

Si el cliente es la siguiente operación u operaciones / instalaciones subsecuentes el efecto debe ser establecido en términos de desempeño de producto o sistema, como:

- No acelera
- No tiene forma
- No se conecta
- No monta
- No ensambla
- Daña el equipo
- Arriesga al operador

3.3.1.5 Identificar las causas potenciales de fallo

Al igual que en el caso anterior, las causas potenciales deben ser identificadas para cada modo de fallo, ya sean éstas directas o indirectas.

Para el desarrollo de este paso se recomienda la utilización de alguna herramienta de análisis de relaciones de causalidad.

Causas de falla típicas pueden incluir, por ejemplo:

- Torque inapropiado – Arriba, abajo
- Soldadura inapropiada – Actual, tiempo, presión
- Tratamiento térmico inapropiado – Tiempo, temperatura
- Lubricación inadecuada
- Falta de lubricación
- Sobrecarga
- Operación abusiva del vehículo
- Intervalos de mantenimiento inadecuados
- Falta de inspección, etc.

Sólo deben ser listados errores específicos o malas funciones (por ejemplo, el operador falla al instalar el sello); no deben ser usadas frases ambiguas (por ejemplo, error del operador, mal funcionamiento de la máquina).

3.3.1.6 Determinar índices de evaluación para cada modo de fallo

Los índices de evaluación son tres:

- Índice de Gravedad (G)
- Índice de Frecuencia (F) / Probabilidad de Ocurrencia
- Índice de Detección de la Falla (D)

3.3.1.6.1 Índice de Gravedad (G)

Determina la gravedad o seriedad del efecto o consecuencia de que se produzca un determinado fallo en el sistema analizado.

El índice de gravedad es independiente de la frecuencia y de la detección y su valor crece en función de: la insatisfacción del usuario final, la degradación de las prestaciones y el coste de reparación.

La evaluación se realiza en una escala del 1 al 10, tal como se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15. Clasificación de la gravedad del modo de falla

VALOR	GRAVEDAD	CRITERIO
1	Ninguna	Este fallo de pequeña importancia no originará efectos sobre el rendimiento del sistema.
2	Muy leve	Perturbación menor del funcionamiento del sistema. Posible acción correctiva.
3	Leve	Perturbación menor del funcionamiento de sistema, pero con una acción correctiva un poco más duradera.
4	Entre leve y moderado	Alteración moderada del funcionamiento del sistema. Una parte de la operación necesita ser reelaborada.
5	Moderado	Alteración moderada del funcionamiento del sistema. El 100% de la operación necesita ser reelaborada.
6	Entre moderado y alto	Alteración moderada del funcionamiento del sistema. Una parte de la operación se ha perdido. Retraso moderado en la restauración de la función. El usuario final experimenta inconformidad.
7	Alto	Gran alteración del funcionamiento del sistema. Una parte de la operación se ha perdido. Retraso significativo en la restauración de la función. El usuario final está insatisfecho.
8	Muy alto	Gran alteración del funcionamiento del sistema. Toda la operación se ha perdido. Retraso significativo en la restauración de la función.
9	Riesgoso con advertencia	Potenciales consecuencias para la seguridad, salud y medio ambiente. La falla ocurrirá con advertencia.
10	Riesgoso sin advertencia	Potenciales consecuencias para la seguridad, salud y medio ambiente. La falla ocurrirá sin previo aviso.

Fuente: [www.hq.nasagov/oficina/codej/codejx/Asets/Docs/RCM Guía Mar2000.pdf](http://www.hq.nasagov/oficina/codej/codejx/Asets/Docs/RCM_Guía_Mar2000.pdf)

3.3.1.6.2 Índice de Frecuencia (F)

Es la probabilidad de que se produzca el modo de fallo por cada una de las causas potenciales.

Dicha probabilidad se mide en una escala del 1 al 10, tal como se muestra en la Tabla 16.

Esta es una evaluación de tipo subjetivo, por lo que se recomienda que se tenga en cuenta todos los controles actuales utilizados para prevenir que se produzca la causa potencial del fallo.

La frecuencia de los modos de fallo de un producto final con funciones clave de seguridad, debería ser suministrada al usuario, como punto de partida.

Tabla 16. Clasificación de la probabilidad del modo de falla

VALOR	PROBABILIDAD	CRITERIO
1	1/10000	Probabilidad remota de ocurrencia. No es razonable esperar que se produzca la falla.
2	1/5000	Baja probabilidad de fallo.
3	1/2000	Baja probabilidad de fallo.
4	1/1000	Probabilidad ocasional de fallo.
5	1/500	Probabilidad moderada de fallo.
6	1/200	Riesgo de falla de moderado a alto.
7	1/100	Alto riesgo de falla.
8	1/50	Alto riesgo de falla.
9	1/20	Muy alto riesgo de falla.
10	1/10+	Muy alto riesgo de falla.

Fuente: [www.hq.nasagov/oficina/codej/codejx/Asets/Docs/RCM Guía Mar2000.pdf](http://www.hq.nasagov/oficina/codej/codejx/Asets/Docs/RCM_Guía_Mar2000.pdf)

3.3.1.6.3 Índice de Detección (D)

Evalúa, para cada causa, la probabilidad de detectarla y el modo de fallo resultante antes de llegar al usuario, en una escala del 1 al 10, tal como se puede apreciar en la Tabla 17.

Para determinar el índice D se supondrá que la causa de fallo ha ocurrido.

Tabla 17. Clasificación de la facilidad de detección del modo de falla

VALOR	DETECTABILIDAD	CRITERIO
1	Muy alta	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes.
2	Alta	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control.
3	Moderadamente alta	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a los primeros controles.
4-6	Moderada	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al usuario. Posiblemente se detecte en los últimos estadios de producción.
7	Baja	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.
8	Remota	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos rediseñados.
9-10	Improbable	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final.

Fuente: <http://www.valoryempresa.com/archives/amfefmea.pdf>

3.3.1.7 Calcular el Índice de Prioridad de Riesgo (IPR)

Para obtener el valor del índice de prioridad de riesgo se multiplican los índices de Gravedad (G), de Frecuencia (O) y de Detección (D) correspondientes.

$$IPR = G * F * D$$

El valor resultante podrá oscilar entre 1 y 1.000, correspondiendo a 1.000 el mayor riesgo. Según el valor que arroje este indicador, se adoptaran o no medidas, según lo dicta la Tabla 18.

Tabla 18. Valores sobresalientes del IPR

IPR	ACCIONES
<100	No requiere intervención salvo que la mejora fuera fácil de introducir y contribuyera a mejorar aspectos de calidad del trabajo.
>100	Establecer acciones de mejora para reducir el IPR.

Fuente: <http://www.valoryempresa.com/archives/amfefmea.pdf>

Es de suma importancia determinar cuáles son los puntos críticos del proceso a analizar. Para ello hay que recurrir a la observación directa que se realiza mediante la aplicación de técnicas

generales de análisis desde la lluvia de ideas hasta los diagramas causa-efecto de Ishikawa, entre otros.

3.3.1.8 Proponer acciones de mejora

Cuando se obtengan IPR elevados, deben proponerse y llevarse a cabo acciones de mejora para reducirlos. Con carácter general, se sigue el principio de prevención para eliminar las causas de los fallos en su origen (Acciones Correctoras). En su defecto, se propondrán medidas tendentes a reducir la gravedad del efecto (Acciones Contingentes).

3.3.1.9 Definir responsables

Se debe indicar el nombre del o los responsables asignados para las diferentes acciones propuestas. De ser necesario, también pueden incluirse fechas indicativas del plazo entregado para cumplir con las acciones correctoras.

3.3.1.10 Determinar el nuevo valor del IPR

Como consecuencia de las acciones correctoras implantadas, los valores de la frecuencia (F), la gravedad (G), y/o la probabilidad de no detección (D) habrán disminuido, reduciéndose, por tanto, el Índice de Prioridad de Riesgo (IPR). Si a pesar de la implantación de las acciones correctoras, no se cumplen los objetivos definidos, es necesario investigar y proponer la implantación de nuevas acciones correctoras, hasta conseguir que el IPR sea menor que el definido en los objetivos.

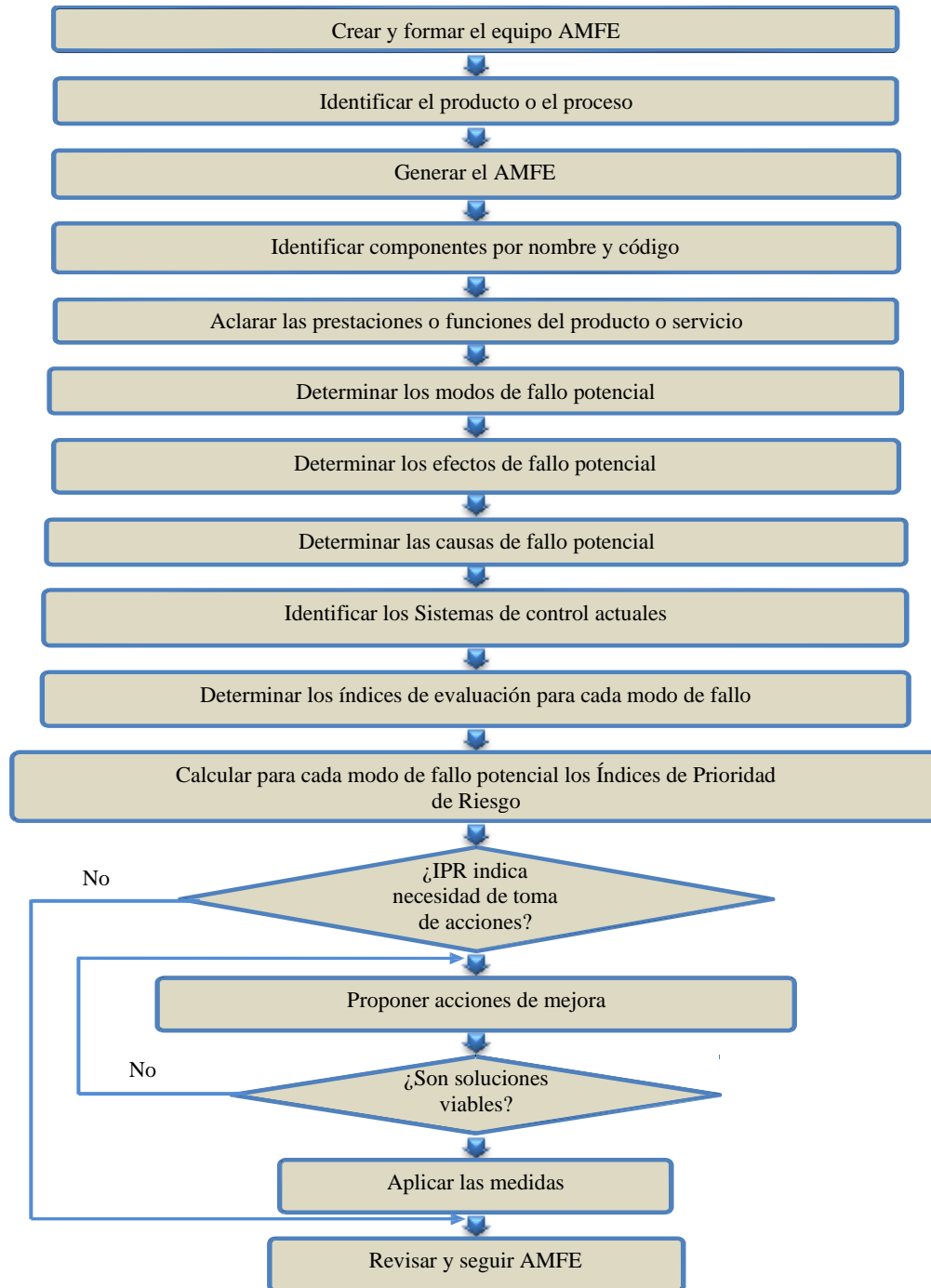
El o las AMFE se dan por concluidas una vez conseguido que los IPR de todos los modos de fallo estén por debajo de 100.

3.3.1.11 Acciones implantadas (opcional)

La tabla AMFE puede o no contener este apartado, pero puede ser de gran utilidad ubicarlo para facilitar el seguimiento y control de las soluciones realmente adoptadas. Únicamente las acciones verdaderamente implantadas serán reflejadas en este ítem y en algunos casos pueden o no coincidir con las recomendaciones iniciales. Para el caso en que las acciones implantadas y las recomendadas no coincidan se deberá calcular nuevamente el IPR para comprobar que está por debajo del nivel de actuación exigido.

En resumen, los pasos a seguir para la elaboración y aplicación exitosa del método AMFE, como parte del plan de mantenimiento para la flota de buses “Wayna Bus”, se muestran en la figura 16.

Figura 16. Gráfico de situación de AMFE



Fuente: <http://www.valoryempresa.com/archives/amfefmea.pdf>

3.4 Priorización del sistema y subsistema para aplicación del método AMFE

En primer lugar, hay que puntualizar que existen 60 unidades operativas, de las cuales se posee el registro histórico de fallas de la gestión 2018, con el cual se procede a determinar el sistema y sub-sistema vehicular tiende a fallar con más frecuencia.

3.4.2 Determinación del sistema

Como se mencionó anteriormente, el tamaño de los buses es de 60, cuyas marcas corresponden a Autobuses modelo 2014 Volksbus 18.320 EOT.

Una vez identificado el tipo de buses, se procede con la determinación de los sistemas que más molestias le ocasionan a la flota de buses de transporte “Wayna Bus”.

Para cumplir con este paso, y bajo el antecedente de contar con un historial completo de fallas de la gestión 2018, se procede con la tabulación de la Tabla 19.

Tabla 19. Identificación de los sistemas que más ha causado problemas en los buses en los dos últimos meses

SISTEMA	Nº FALLAS
ELÉCTRICO	77
MOTOR	52
SUSPENSIÓN	3
DIRECCIÓN	0
FRENOS	36
TRANSMISIÓN	121
OTROS	43
TOTAL	459

Fuente: Elaboración Propia

Con la información proporcionada en la tabla anterior se puede proceder a la priorización del 20% de los sub-sistemas que causan el 80% de las fallas, gracias a la utilización del Diagrama de Pareto.

3.4.2.1 Diagrama de Pareto

El **diagrama de Pareto** es una gráfica para organizar datos de forma que estos queden en orden descendente, de izquierda a derecha y separados por barras, para de esta manera asignar un orden de prioridades, identificando así, gráficamente, los “pocos vitales” y los “muchos triviales”.

El principio de Pareto, expone que “el 80% de los problemas es ocasionado por el 20% de los sistemas”. Ese 20% está constituido por los pocos vitales, sobre los cuales hay que actuar.

El diagrama de Pareto se construye siguiendo los pasos a continuación:

- Preparar los datos.
- Ordenar los elementos o factores incluidos en el análisis y calcular el total de las contribuciones.
- Calcular el porcentaje y porcentaje acumulado para cada elemento de la lista ordenada.
- Trazar y rotular los ejes del diagrama: el eje vertical izquierdo representa la magnitud del efecto estudiado, el eje horizontal contiene a los elementos en estudio y el eje vertical derecho representa la magnitud de los porcentajes acumulados.
- Dibujar un gráfico de barras que representa el efecto de cada uno de los elementos contribuyentes.
- Trazar un gráfico lineal cuyos puntos representan el porcentaje acumulado de la tabla de Pareto.
- Señalar los elementos “pocos vitales” y los “muchos triviales”.
- Finalmente se debe realizar la interpretación pertinente de los resultados obtenidos en la gráfica.

3.4.2.1.1 Diagrama de Pareto para seleccionar los sub-sistemas críticos

Como punto de partida se realiza la tabla de Pareto (Tabla 20), Considerando que los cambios de aceite y filtros y otros son las actividades que se realizan de acuerdo a lo especificado por el fabricante, nos remitiremos a obviar este ítem.

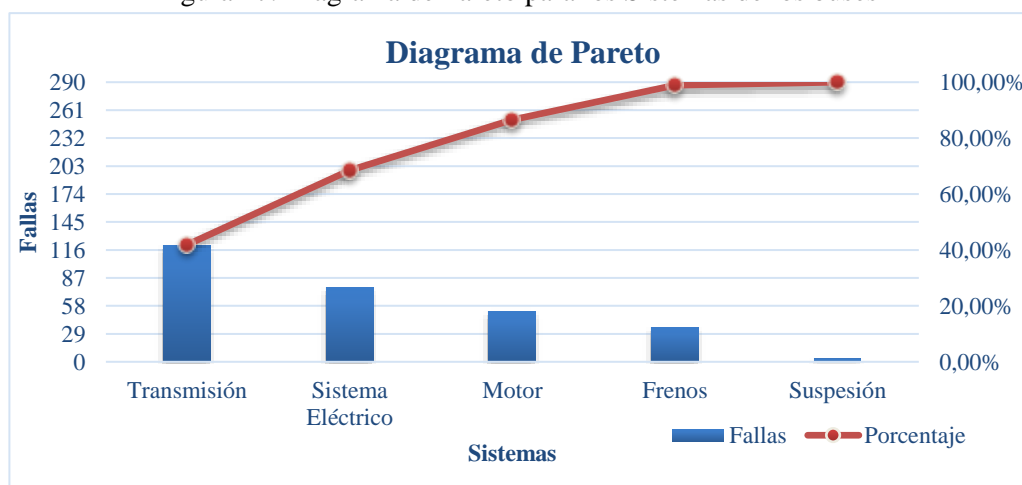
Tabla 20. Tabla de Pareto para fallas de los buses

SISTEMA	N° FALLAS	FALLAS ACUM.	PORCENTAJE	PORCENTAJE ACUMULADO
TRANSMISIÓN	121	121	26,36%	41,87%
ELÉCTRICO	77	198	16,78%	68,51%
MOTOR	52	250	11,33%	86,51%
FRENOS	36	286	7,84%	98,96%
SUSPENSIÓN	3	289	0,65%	100,00%
TOTAL	289	289	100,00%	

Fuente: Elaboración Propia

Una vez obtenida la tabla con los datos de fallas ordenados y sus respectivos porcentajes individuales y acumulados, se procede con el trazo del Diagrama de Pareto, el cual se aprecia en la figura 17.

Figura 17. Diagrama de Pareto para los Sistemas de los buses



Fuente: Elaboración Propia

Gracias a los datos obtenidos en la Tabla 20 y a la información proporcionada por la figura 17, se deduce finalmente que el 20% de los sub-sistemas que requieren de actuación inmediata están constituidos por:

- Transmisión
- Sistema Eléctrico
- Motor

· Frenos

3.4.2.1.2. Determinación de causas de fallo

También se pudo establecer cuáles son las causas más comunes por las que el bus es presa de fallo, las cuales están identificadas en la Tabla 21.

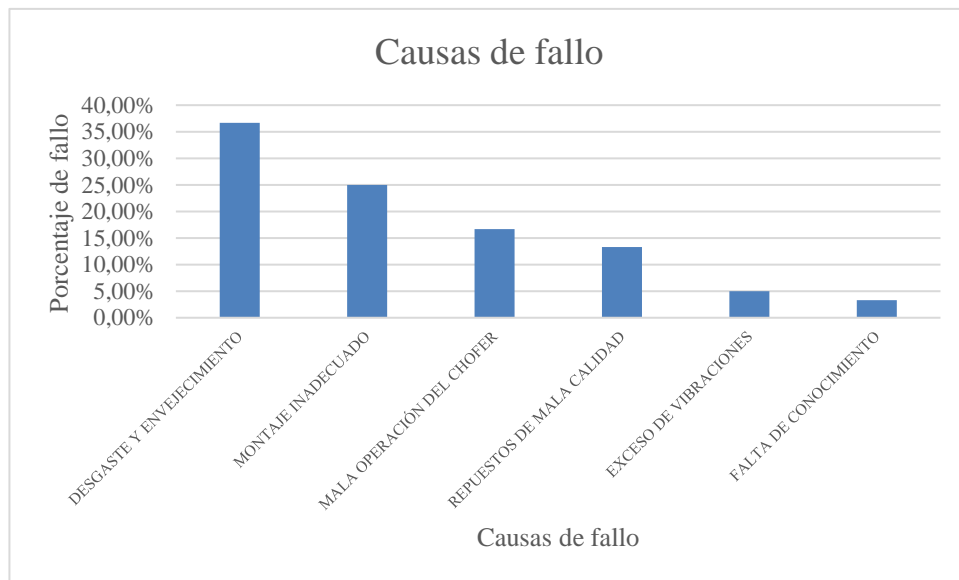
Tabla 21. Identificación de las principales causas que ocasionan fallos

CAUSA DE FALLO	CONTEO	PORCENTAJE
DESGASTE Y ENVEJECIMIENTO	22	36,67%
MONTAJE INADECUADO	15	25,00%
MALA OPERACIÓN DEL CHOFER	10	16,67%
REPUESTOS DE MALA CALIDAD	8	13,33%
EXCESO DE VIBRACIONES	3	5,00%
FALTA DE CONOCIMIENTO	2	3,33%
TOTAL		100,00%

Fuente: Elaboración propia

En la figura 18 se observan gráficamente las principales causas de fallas en función de las causas más probables de fallas en los buses.

Figura 18. Determinación de principales causas de fallas



Fuente: Elaboración propia

Con la información proporcionada en la figura 18 se determina que la principal causa de fallo de los componentes de los buses es el desgaste y envejecimiento.

3.5 Codificación utilizada

La utilización de códigos de identificación tanto de máquinas, sistemas, subsistemas, componentes, como de modos de fallo, permite optimizar el tiempo de ubicación de cada uno de ellos, además de facilitar su manipulación.

3.5.1 Codificación del sistema

El sistema identificado como objeto prioritario de análisis constituye el Autobús de modelo 2014 Volksbus 18.320 EOT para el cual se trata de determinar la mayor cantidad de fallos potenciales, de tal manera que el presente trabajo de investigación sea de óptima aplicación para este tipo de buses, sin importar el MODELO.

La codificación correspondiente al sistema obedece al siguiente formato:

XX: Siglas de las primeras letras del nombre del Sistema.

Por lo tanto, las letras que identifican al sistema serán:

BV: Bus Volksbus

3.5.2 Codificación de los sistemas

Los sistemas identificados dentro del bus se codifican de la manera anotada a continuación:

XX-YY → Siglas del nombre del sistema (letra inicial e intermedia)
└→ Siglas del tipo de bus

Por ejemplo: para el caso del motor el código es: BV-MT

3.5.2.1 Codificación de subsistemas del Motor

Para el caso particular del motor se utiliza una codificación especial para sus subsistemas, la cual se estructura así:

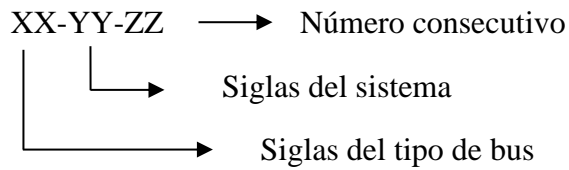
BV-MT£; donde: £ = a la inicial del nombre del subsistema del motor.

De este modo, la codificación para el sub-sistema de refrigeración, por ejemplo, queda de la siguiente forma:

BV-MTR

3.5.3 Codificación de los componentes

En el caso de los componentes, la comunicación se estructura así:



A modo de ejemplo se cita la codificación del block del motor:

BV - MT - 01

Para la situación específica de los componentes del sub-sistema motor, se cuenta con siete caracteres en total. Por ejemplo, la cámara de agua se codifica de la siguiente manera:

BV – MTR – 01

3.5.4 Codificación de los modos de fallo

La codificación de los modos de fallo corresponde a:

Tabla 22. Codificación utilizada para modos de fallo

MODOS DE FALLA	CÓDIGO	ESTRUCTURA DEL CÓDIGO	SIGNIFICADO ##
Falla Mecánica	FM	FM - ##	Consecutivo
Falla Eléctrica	FE	FE - ##	Consecutivo
Falla Electrónica	FN	FN - ##	Consecutivo

Fuente: Elaboración propia

En general los modos de fallo suelen ser repetitivos, dependiendo del componente y de sus condiciones de trabajo.

Para establecer un cuadro con códigos de falla mecánicas, que son las más comunes, se hace indispensable utilizar una herramienta de diagnóstico de fallos.

Dicho diagnóstico se establece mediante el Diagrama Causa-Efecto.

3.5.4.1 Diagnóstico de Fallos Mecánicos: Diagrama Causa-Efecto

El Diagrama Causa-Efecto es llamado usualmente Diagrama de “Ishikawa” porque fue creado por Kaoru Ishikawa. También es conocido como “Diagrama Espina de Pescado” porque su forma es similar al esqueleto de un pez.

Este diagrama ayuda a pensar sobre todas las causas reales y potenciales de un suceso o problema, y no se limita a las más obvias.

Por ser una ordenación de relaciones lógicas, el Diagrama de Causa-Efecto es una herramienta frecuentemente utilizada para: obtener teorías sobre relaciones de causa-efecto en un proceso lógico paso a paso y para obtener una estructuración lógica de muchas ideas "dispersas".

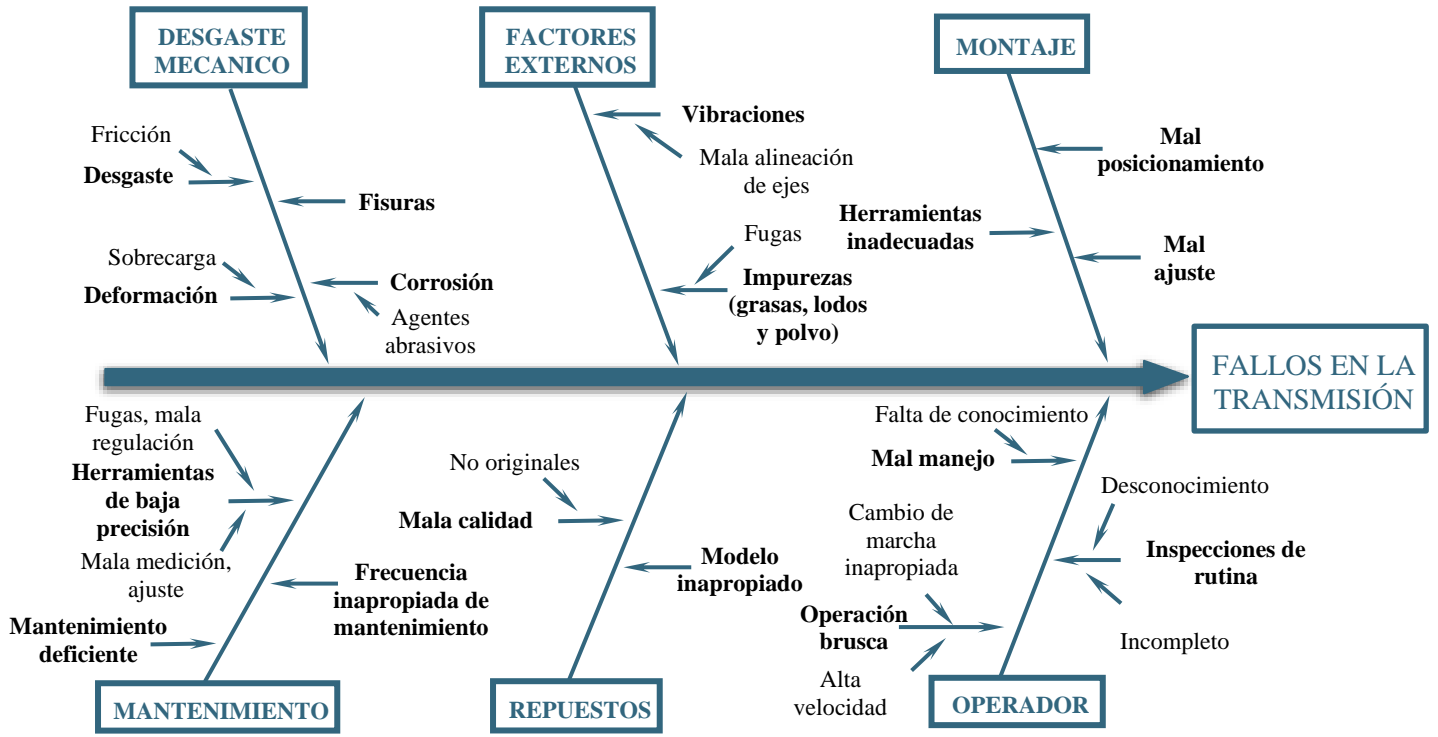
Los pasos a seguir para su construcción son:

- **Identificar el problema:** Se debe definir con exactitud el problema que se quiere analizar. Éste debe plantearse de manera específica y concreta para que el análisis de las causas se oriente correctamente. Una vez delimitado el problema, debe escribirse con una frase corta y sencilla, en el recuadro principal o cabeza del pescado.
- **Identificar las principales categorías dentro de las cuales pueden clasificarse las causas del problema:** Definir los factores o agentes generales que dan origen a la situación o problema que se quiere analizar. Cada categoría que se identifique debe ubicarse independientemente en una de las espinas principales del pescado.
- **Identificar las causas:** Teniendo en cuenta las categorías encontradas, se pueden identificar las causas del problema mediante preguntas sucesivas de ¿Por qué puede ocurrir? Las causas que se identifiquen se deben ubicar en las **espinas**, que confluyen en las espinas principales del pescado.
- **Análisis del Diagrama:** El análisis debe estar dirigido a identificar la(s) causa(s) más probable(s), y a generar sus posibles soluciones.

3.5.4.1.1 Diagrama de Ishikawa para los distintos tipos de fallo

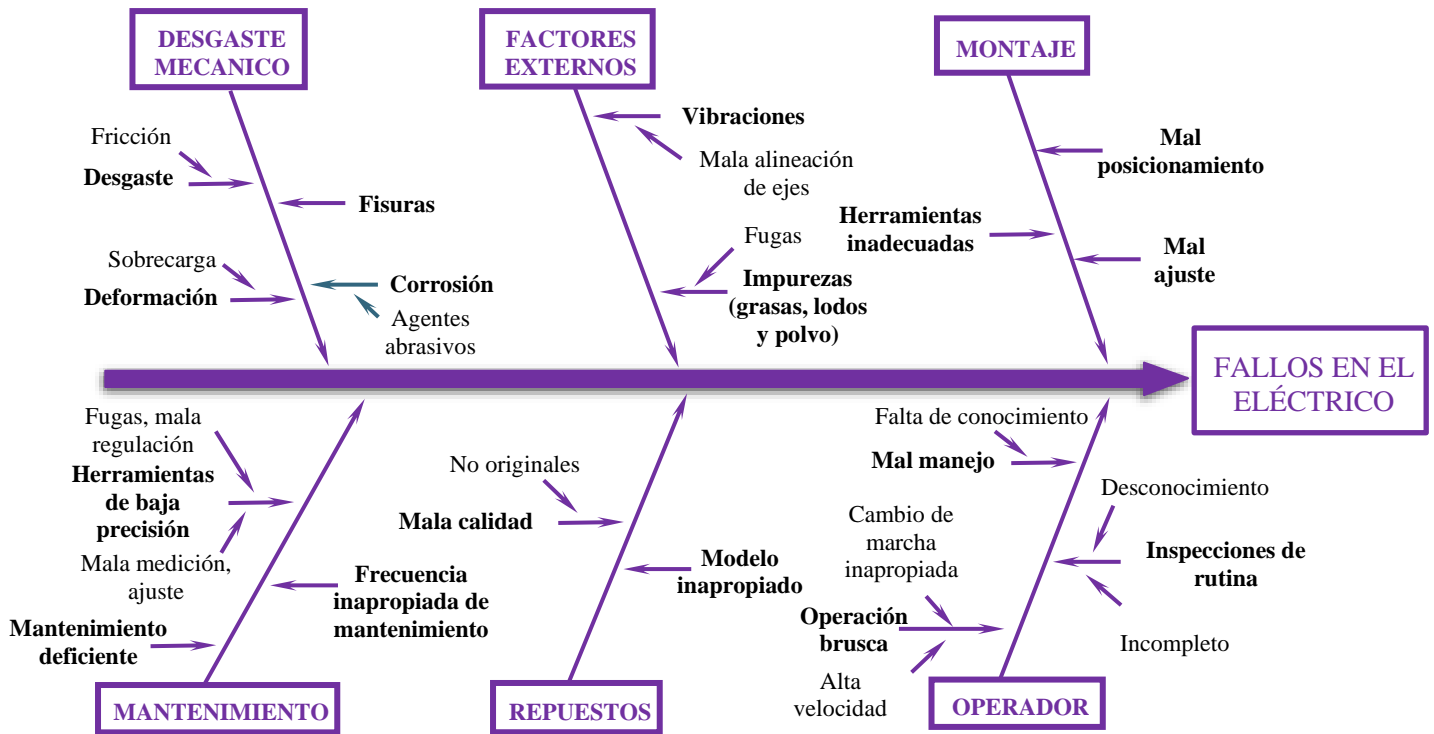
Con el conocimiento previo de los sistemas que más molestias causan, se procede a realizar el análisis, mediante el Diagrama de Ishikawa, para establecer la causa raíz de los fallos. Este análisis se observa en las figuras siguientes:

Figura 19. Diagrama de Ishikawa para identificar causas de fallo del Sistema de Transmisión



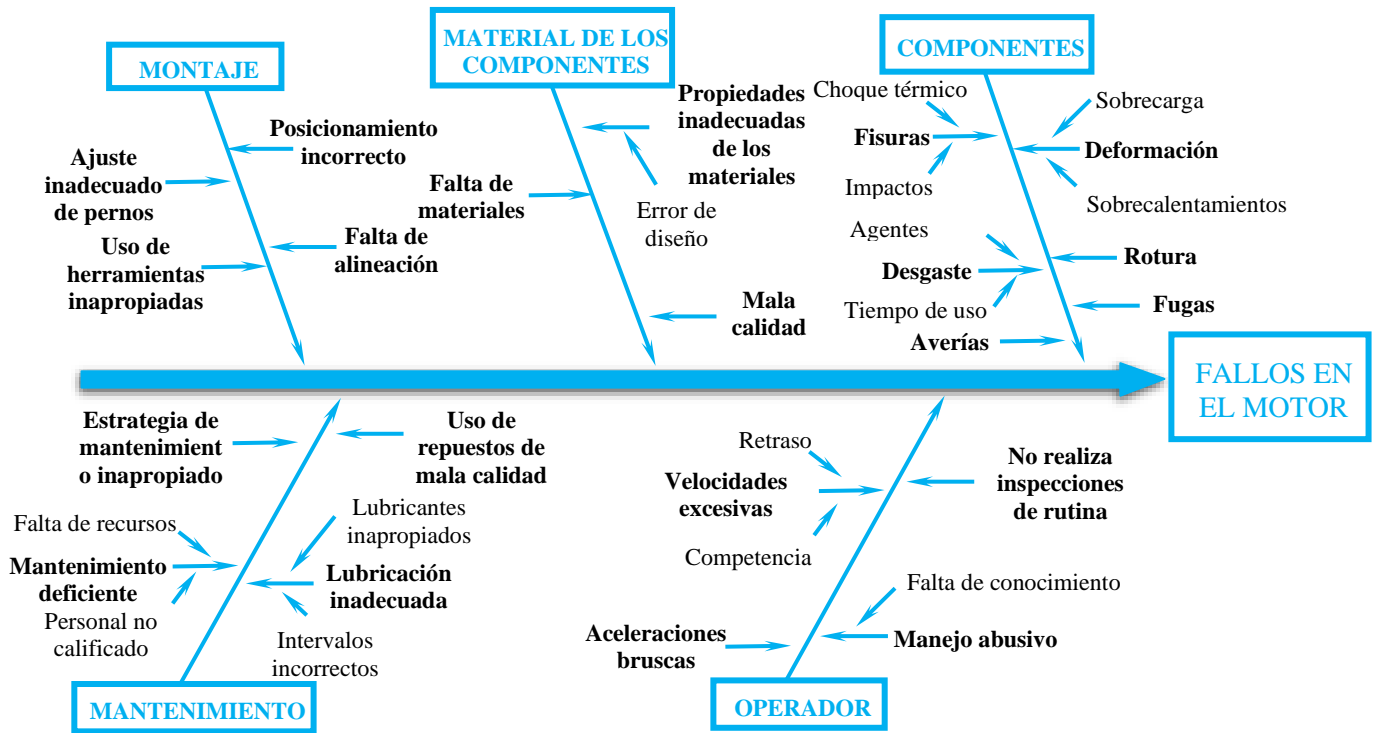
Fuente: Elaboración propia

Figura 20. Diagrama de Ishikawa para identificar causas de fallo del Sistema Eléctrico



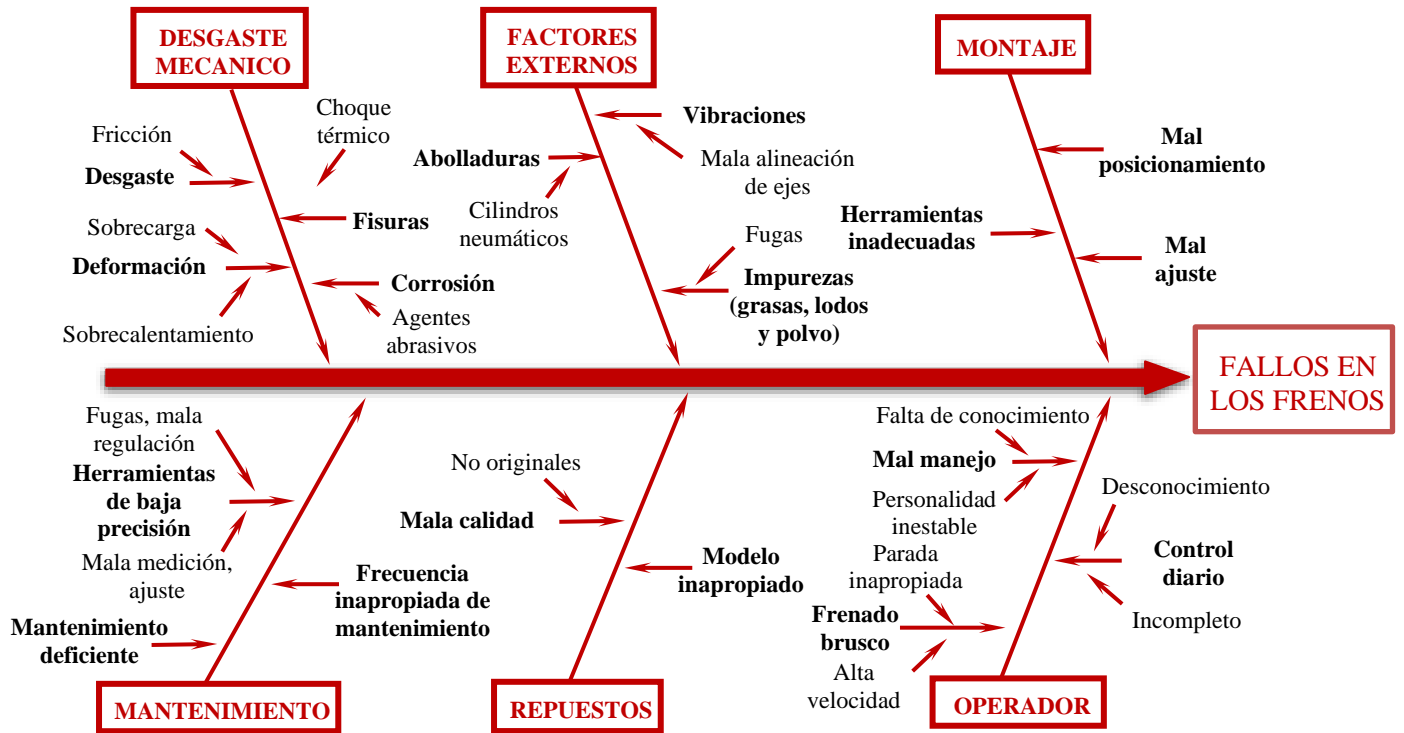
Fuente: Elaboración propia

Figura 21. Diagrama de Ishikawa para identificar causas de fallo del Sistema Motor



Fuente: Elaboración propia

Figura 22. Diagrama de Ishikawa para identificar causas de fallo del Sistema de Frenos



Fuente: Elaboración propia

3.5.4.2 Cuadro de Fallos Mecánicos

A continuación, se codifican los tipos de fallas más comunes.

Tabla 23. Codificación de los modos de fallo mecánico

MODO DE FALLO	CÓDIGO DE FALLO
Desgaste del componente o de los elementos del componente	FM1
Fisuras/Grietas	FM2
Deformación	FM3
Rotura del componente /elementos del componente	FM4
Fractura	FM5
Desalineación /Alineación incorrecta	FM6
Fugas (de todo tipo)	FM7
Obstrucción / Taponamiento	FM8
Avería del componente	FM9
Descalibración	FM10
Agarrotamiento del componente/elementos del componente	FM11
Juego excesivo	FM12
Ajuste excesivo	FM13
Atascamiento	FM14
Otros tipos de falla	FM##; donde ##: consecutivo

Fuente: Elaboración propia

3.6 Aplicación del análisis modal de falla – efecto

A continuación, se muestran las tablas AMFE desarrolladas para los distintos sub-sistemas del bus, los cuales fueron identificados como los más críticos.

3.6.1 AMFE (Análisis Modal de Fallos y Efectos)

Es un método de prevención dirigido hacia la consecución del aseguramiento de la calidad, que mediante un análisis sistemático permite evaluar, desde la fase de diseño de un producto, servicio o proceso, la probabilidad de ocurrencia de un fallo, la gravedad del mismo y la posibilidad de su detección.

El método AMFE es uno de los más utilizados para agrupar la experiencia y el conocimiento colectivo, con objeto de asegurar que los procesos de producción se hacen bien, desde el inicio, o al menos mejoran con respecto a la generación anterior.

3.6.1.1 Tipos de AMFE

a) AMFE de Diseño, En el AMFE de diseño el objeto del estudio es el producto y todo lo relacionado con su definición.

Se analiza por tanto la elección de los materiales, su configuración física, las dimensiones, los tipos de tratamientos a aplicar y los posibles problemas de realización.

b) AMFE de Proceso, en el AMFE de proceso se analizan los fallos del producto derivados de los posibles fallos del proceso hasta su entrega al cliente.

Se analizan, por tanto, los posibles fallos que pueden ocurrir en los diferentes elementos del proceso (materiales, equipo, mano de obra, métodos y entorno) y cómo éstos influyen en el producto resultante.

La metodología utilizada se describe en los siguientes puntos:

- 1. Identificación de los componentes**, bien sea desde el punto de vista de diseño del producto o del proceso que se vaya a utilizar para su fabricación, **y de las funciones** que desempeña cada uno de ellos.
- 2. Identificación del modo de fallo**, dado que el estudio es sobre modos potenciales de fallo, se deben indicar todos los fallos susceptibles de producirse.

Para el AMFE de diseño, se reflejan los Modos de Fallo de los componentes (por ejemplo: rotura, desgaste, mal funcionamiento).

Para el AMFE de proceso, se reflejan los Modos de Fallo del proceso en cada etapa del mismo (por ejemplo: Materiales erróneos, fallos de máquina, parámetros incorrectos, operario no especializado).

3. Determinación del efecto del fallo, se determina para cada Modo de Fallo analizado, el o los efectos que el fallo produce en el producto para el usuario (por ejemplo: Ruidos, fugas, mal funcionamiento) y en el proceso (por ejemplo: Parada del proceso, producto defectuoso, menor eficiencia) según se esté realizando un AMFE de diseño o de proceso.

4. Identificación de las causas del fallo, se determina para cada Modo de Fallo analizado, las posibles causas que lo pueden ocasionar.

Este es uno de los elementos críticos del AMFE, ya que su conocimiento permite el establecimiento de Acciones Correctoras a priori para evitar la aparición de los fallos, eliminando las causas que los provocan.

5. Identificación de los controles actuales, se identifican los diferentes controles existentes o previstos, con objeto de evitar que se produzcan los diversos fallos y detectarlos en el caso de que aparezcan.

6. Determinación de la probabilidad de ocurrencia, la probabilidad de ocurrencia es un valor entre 1 (mínima probabilidad) y 10 (máxima probabilidad) que indica la probabilidad de que el fallo ocurra.

Si bien no existen unas reglas normalizadas para la valoración de la probabilidad de ocurrencia, en la tabla se indican unos criterios de valoración que pueden servir de referencia.

Tabla 24. Probabilidad de ocurrencia

CRITERIO	PROBABILIDAD
Casi improbable	1 – 2
Baja probabilidad	3 – 4
Probable	5 – 6
Alta probabilidad	7 – 8
Casi con certeza	9 – 10

Fuente: Elaboración propia

7. Determinación de la gravedad del fallo, la gravedad del fallo es un valor entre 1 y 10, que indica la influencia del fallo en el grado de satisfacción del cliente (en el caso del AMFE de diseño), o la perturbación que el fallo pueda producir en el proceso productivo (para el AMFE de proceso).

Los criterios que se incluyen en la tabla pueden servir de referencia en la valoración de la gravedad:

Tabla 25. Gravedad de fallo

CRITERIO	ÍNDICE
Muy leve	1 – 2
Leve	3 – 4
Gravedad moderada	5 – 6
Gravedad alta	7 – 8
Muy grave	9 – 10

Fuente: Elaboración propia

8. Determinación de la probabilidad de no detección, indica la probabilidad de no detectar el fallo antes de entregar el producto al cliente (para el AMFE de diseño), o durante su fabricación (para el AMFE de proceso). Al igual que en los casos anteriores toma valores comprendidos entre 1 y 10.

La tabla muestra un criterio de clasificación que puede servir de referencia en la valoración de la probabilidad de no detección.

Tabla 26. Probabilidad de no detección

CRITERIO	PROBABILIDAD
Casi improbable que los controles no detecten el fallo	1 – 2
Baja probabilidad de no detección	3 – 4
Probabilidad media	5 – 6
Alta probabilidad de no detección	7 – 8
Probabilidad muy alta de no detectar el fallo	9 – 10

Fuente: Elaboración propia

9. Determinación del Índice de Prioridad de Riesgo (IPR), se calcula el I.P.R.

de acuerdo a la fórmula:

$$\text{IPR} = \text{P} \cdot \text{G} \cdot \text{D}, \text{ para cada uno de los fallos.}$$

Dónde:

P = probabilidad de ocurrencia

G = gravedad del fallo

D = probabilidad de no detección

El IPR permite evaluar los diferentes niveles de riesgo y ordenarlos según sus prioridades. Estas prioridades determinan sobre qué modos de fallo es necesario tomar acciones correctoras, con objeto de reducir el correspondiente IPR.

10. Acciones correctoras, se indican las acciones correctoras propuestas para reducir el IPR de los modos de fallo seleccionados.

11. Responsable, se indican los responsables de las diferentes acciones propuestas y, si se cree preciso, las fechas previstas de implantación de las mismas.

12. Acción implantada, se reflejan las acciones realmente implantadas que pueden, en algunos casos, no coincidir con las propuestas inicialmente.

13. Nuevo Índice de Prioridad de Riesgo, como consecuencia de las acciones correctoras implantadas, los valores de la probabilidad de ocurrencia, la gravedad y/o la probabilidad de no detección habrán disminuido, reduciéndose, por tanto, el Índice de Prioridad de Riesgo.

Si a pesar de la implantación de las acciones correctoras, no se cumplen los objetivos definidos en algunos Modos de Fallo, es necesario investigar, proponer e implantar nuevas acciones correctoras, hasta conseguir que el IPR sea menor que el definido en los objetivos.

Una vez conseguido que los IPR de todos los Modos de Fallo estén por debajo del valor establecido, se da por concluido el AMFE²⁰.

3.6.2 Identificación de los sistemas, componentes y funciones

De acuerdo al análisis realizado son cuatro los sistemas más propensos a fallar por diversas situaciones, para facilitar el análisis se los agrupó de acuerdo a la frecuencia de fallas en:

- Sistema de Transmisión.
- Sistema Eléctrico.
- Sistema Motor.
- Sistema de Frenos.

3.6.2.1 Sistema de Transmisión

El Sistema de Transmisión se lo engloba en los siguientes sistemas:

3.6.2.1.1 Sistema de Transmisión

3.6.2.1.1.1 Funciones del Sistema de Transmisión

- Hacer llegar el giro del motor hasta las ruedas motrices.

²⁰ Domenech Roldán José Manuel, AMFE, (2014)

Tabla 27. Funciones del Subsistema de Transmisión

COMPONENTE	CÓDIGO	FUNCIONES ESPECÍFICAS
Embrague	BV-TM-01	Acopla o desacopla, a voluntad del conductor, el movimiento del motor al resto del sistema de transmisión.
Caja de velocidades	BV-TM-02	Se encarga de aumentar, mantener o disminuir la relación de transmisión entre el cigüeñal y las ruedas
Árbol de transmisión	BV-TM-03	Transmite el movimiento de la caja de velocidades al mecanismo par cónico diferencial.
Par cónico diferencial	BV-TM-04	Mantiene constante la suma de las velocidades que llevan las ruedas motrices antes de tomar la curva.
		Desmultiplica constantemente las vueltas del árbol de transmisión en las ruedas motrices.
Juntas de transmisión	BV-TM-05	Unen elementos de transmisión y permiten variaciones de longitud y posición.
Semi-árboles de transmisión	BV-TM-06	Transmiten el movimiento del grupo cónico diferencial hasta las ruedas motrices, cuando el sistema carece de árbol de transmisión.

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.1.2 Sistema de Dirección

3.6.2.1.2.1 Funciones del Sistema de Dirección

- Orientar las ruedas directrices y adaptarlas al trazado de la vía por la que circulan para realizar las distintas maniobras que su conducción exige.

Tabla 28. Funciones del Subsistema de Dirección

COMPONENTE	CÓDIGO	FUNCIONES ESPECÍFICAS
Volante	BV-DC-01	Controla el movimiento de la dirección.
Árbol de dirección	BV-DC-02	Lleva el movimiento del volante a la caja de la dirección.
Caja de engranajes de la dirección	BV-DC-03	Protegen del polvo y la suciedad al conjunto de engranajes.
		Contiene el aceite en el que se hallan sumergidos los engranajes.
		Sirve de soporte al mecanismo de la dirección, al volante y al brazo.
Palanca y barras de la dirección	BV-DC-04	Transmiten a las ruedas el movimiento obtenido en la caja de engranaje de la dirección.
Cilindro hidráulico	BV-DC-05	Genera una fuerza auxiliar que actúa sobre la biela de mando de la dirección.
Válvula de distribución	BV-DC-06	Regula el paso del aceite al cilindro hidráulico.
Bomba de dirección	BV-DC-07	Proporciona la presión necesaria, al fluido hidráulico, para accionar la dirección.
Depósito	BV-DC-08	Almacena y filtra el fluido hidráulico.
Mangueras	BV-DC-09	Transportan el fluido hidráulico.

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.1.3 Sistema de Suspensión

3.6.2.1.3.1 Funciones del Sistema de Suspensión

- Absorbe las irregularidades del terreno evitando que éstas lleguen a la carrocería del vehículo o que lleguen de manera suave.

Tabla 29. Funciones del Sistema de Suspensión

COMPONENTE	CÓDIGO	FUNCIONES ESPECÍFICAS
Ballestas	BV-SP-01	Recogen directamente las irregularidades del terreno, absorbiéndolas en forma de deformación.
Amortiguadores	BV-SP-02	Transforman la energía mecánica del muelle en energía calorífica
Barras estabilizadoras	BV-SP-03	Proporcionan al autobús una mejor estabilidad en curvas, lo cual se traduce en estabilidad de marcha y confort mejorados

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.1.4 Sistema de Ruedas y Neumáticos

3.6.2.1.4.1 Funciones del sistema de Ruedas y Neumáticos

- Constituyen el lazo de unión entre el suelo y la máquina.

Tabla 30. Funciones del Subsistema Ruedas y Neumáticos

COMPONENTE	CÓDIGO	FUNCIONES ESPECÍFICAS
Parte metálica	BV-RN-01	Soporta al neumático.
		Permite la unión del neumático con el buje del bus, a través del disco.
Parte neumática	BV-RN-02	Soporta la masa del bus.
		Proporciona la adherencia necesaria para asegurar la buena función de la transmisión del vehículo y el frenado correctos.
		Absorbe las irregularidades del terreno.

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.1.5 Sistema de Bastidor y Carrocería

3.6.2.1.5.1 Funciones del sistema de Bastidor y Carrocería

- Soportar los grandes esfuerzos a los que está sometido el vehículo durante su desempeño.

Tabla 31. Funciones del Subsistema Bastidor y Carrocería

COMPONENTE	CÓDIGO	FUNCIONES ESPECÍFICAS
Bastidor	BV-BC-01	Sirve de soporte para los órganos mecánicos.
Carrocería	BV-BC-02	Aloja y protege a los pasajeros del bus.
		Alberga a los elementos y sistemas del bus.

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.2 Sistema Eléctrico

El sistema eléctrico abarca los siguientes sistemas:

3.6.2.2.1 Sistema Eléctrico

3.6.2.2.1.1 Funciones del Sistema Eléctrico

- Disponer de energía eléctrica suficiente y en todo momento a través de los circuitos de alumbrado y señalización que correspondan, y de otros, que, siendo optativos, colaboran en comodidad y seguridad.

Tabla 32. Funciones del Sistema Eléctrico

COMPONENTE	CÓDIGO	FUNCIONES ESPECÍFICAS
Batería	BV-ET-01	Almacena energía eléctrica que permite el arranque, el encendido del motor, el alumbrado y el accionamiento de los distintos accesorios.
Alternador	BV-ET-02	Convierte el torque entregado por el cigüeñal en corriente eléctrica.
Motor de arranque	BV-ET-03	Entrega un torque inicial al motor que ayuda a empezar la combustión.
Circuito de carga de la batería	BV-ET-04	Genera la corriente eléctrica suficiente para alimentar a los receptores o consumos que estén funcionando y mantiene la batería cargada.
Circuito de arranque del motor eléctrico	BV-ET-05	Imprime al motor un giro inicial para que pueda comenzar el ciclo de funcionamiento.
Circuito electrónico para el sistema de inyección diésel	BV-ET-06	Inyecta diésel en la parte correspondiente del motor, según el sistema empleado de inyección, y según las condiciones y necesidades de cada momento.
Circuito de bujías de precalentamiento para motores diésel	BV-ET-07	Facilita el arranque del motor en frío, calentando previamente el aire que llega a los cilindros.
Circuito de alumbrado, señalización, control y accesorios	BV-ET-08	Ponen en funcionamiento el sistema de alumbrado y señalización, de acuerdo con lo estipulado en la normativa.

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.2.2 Sistema Electrónico

3.6.2.2.2.1 Funciones del Sistema Electrónico

- Controlar y lograr el correcto funcionamiento del motor.

Tabla 33. Funciones del Subsistema Electrónico

COMPONENTE	CÓDIGO	FUNCIONES ESPECÍFICAS
ECU	BV-EX-01	Recibe información de los sensores y, en base en programa alojado en la memoria, distribuirla entre los actuadores.
Sensor de presión del múltiple	BV-EX-02	Mide la presión barométrica del aire en el múltiple de admisión
Sensor de flujo de masa de aire	BV-EX-03	Mide la masa de aire que pasa al múltiple de admisión
Sensor de posición del cigüeñal	BV-EX-04	Mide las revoluciones y la posición del cigüeñal
Sensor de posición del árbol	BV-EX-05	Mide las revoluciones y posición del árbol de levas.
Sensor de temperatura de agua	BV-EX-06	Mide la temperatura de agua del refrigerante.
Sensor de temperatura de aire	BV-EX-07	Mide la temperatura de aire que entra al motor.
Sensor de posición de acelerador	BV-EX-08	Mide la posición del acelerador.
Sensor de velocidad del vehículo	BV-EX-09	Mide la velocidad a la que circula el vehículo.
Sonda Lambda	BV-EX-10	Mide la concentración de oxígeno en los gases de escape.
Sensor de presión de sobrealimentación	BV-EX-11	Mide la presión manométrica del turbo.
Sensor de presión del riel de combustible	BV-EX-12	Mide la presión de combustible en el riel.
Sensor de presión de aceite	BV-EX-13	Mide la presión de aceite que circula por el motor.
Válvula reguladora de presión	BV-EX-14	Regula la presión del riel, para asegurar un correcto

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.3 Sistema Motor

El sistema motor puede ser considerado con los siguientes sistemas:

3.6.2.3.1 Sistema Motor

3.6.2.3.1.1 Funciones del Sistema Motor

- Transformar el calor (energía térmica) en trabajo (energía mecánica) de modo continuo.
- Convertir el movimiento alternativo en movimiento rotatorio.

Tabla 34. Codificación de los modos de fallo mecánico

COMPONENTE	CÓDIGO	FUNCIONES ESPECÍFICAS
Block del motor	BV-MT-01	Aloja al cigüeñal y a las camisas de los cilindros.
Block del motor	BV-MT-01	Proporciona espacios estancos al agua y al aceite para el accionamiento y el medio de refrigeración.
Camisas	BV-MT-02	Sirve de guía para el movimiento del pistón.
Pistón	BV-MT-03	Transmitir la fuerza de los gases de combustión a la
		Sostener contra la camisa del cilindro la fuerza normal que aparece al convertirse, en la presión axial del cilindro, en fuerza sobre la biela.
		Ceder al medio refrigerante el calor que recibe.
Anillos del pistón	BV-MT-04	Formar un sello a prueba de gas entre el pistón y el cilindro.
		Ayudar a enfriar el pistón por la transferencia de calor.
Biela	BV-MT-05	Transmite el movimiento del pistón al cigüeñal.
Volante de Inercia	BV-MT-06	Absorbe vibraciones torsionales del motor.
		Reduce el nivel de ruidos del tren motriz.
Cigüeñal	BV-MT-07	Transforma el movimiento alternativo del pistón, en movimiento rotatorio útil.
Cojinetes de muñones	BV-MT-08	Permiten el giro de la biela sobre el cigüeñal y del cigüeñal sobre la bancada del bloque.
Culata	BV-MT-09	Cierra el bloque, o sea, los orificios de los cilindros, por arriba y lleva los órganos de intercambio de gas, así como las válvulas de inyección.

Junta de culata	BV-MT-10	Asegura la estanqueidad entre la culata y el bloque motor.
Cárter	BV-MT-11	Contiene el aceite de lubricación del motor.
		Disipa el calor.
		Cierra el motor por la parte inferior.
Junta del Cárter	BV-MT-12	Evita fugas de aceite de lubricación.

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.3.2 Sistema de Distribución del Motor

3.6.2.3.2.1 Funciones del sistema de Distribución del Motor

- Llevan la mezcla de aire y combustible hasta el motor y dan salida a los gases quemados.
- El sistema de admisión suministra al motor aire limpio en la cantidad y a la temperatura apropiada para una buena combustión.
- El sistema de escape recoge los gases quemados y los manda a la atmosfera. Además, amortigua el ruido de las explosiones y disipa el calor.

Tabla 35. Funciones de los componentes del Subsistema de Distribución del Motor

COMPONENTE	CÓDIGO	FUNCIONES ESPECÍFICAS
Filtro para el aire	BV-MTD-01	Retiene el polvo y la suciedad al ser atravesado por el aire aspirado por el motor.
Turbo-compresor	BV-MTD-02	Aumenta la potencia del motor al llenar la cámara de combustión con mayor cantidad de mezcla de aire y combustible de la que normalmente aspira el
Colector de admisión	BV-MTD-03	Lleva el aire puro a todos los cilindros del motor.
Válvulas de admisión	BV-MTD-04	Dejan que entre el aire en el cilindro correspondiente del motor diésel.
Balancines	BV-MTD-05	Transmiten el movimiento de la leva a la válvula.
Árbol de levas	BV-MTD-06	Acciona el mecanismo de apertura y cierre de las válvulas, siendo comandado por el cigüeñal.
Taqués	BV-MTD-07	Aumentan la superficie de contacto entre la leva y los elementos que ésta acciona.
Elementos de mando	BV-MTD-08	Transmiten el giro del eje cigüeñal al árbol de levas en forma coordinada.

Válvulas de escape	BV-MTD-09	Se abren para dejar salir a los gases quemados.
Colector de escape	BV-MTD-10	Recibe los gases quemados y los lleva al silenciador
Silenciador del	BV-MTD-11	Amortigua el ruido producido por las explosiones de la mezcla.
Catalizador de dos vías	BV-MTD-12	Oxida las emisiones de monóxido de carbono a dióxido de carbono e hidrocarburos no quemados o parcialmente quemados a dióxido de carbono y agua.

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.3.3 Sistema de Inyección de Combustible

3.6.2.3.3.1 Funciones del Sistema de Inyección de Combustible

- Suministrar el combustible limpio y en la cantidad correcta a la admisión.
- Almacenar el combustible y estar dotado de dispositivos que aseguren la alimentación del motor con combustible.

Tabla 36. Funciones del Subsistema de Inyección de Combustible del Motor

COMPONENTE	CÓDIGO	FUNCIONES ESPECÍFICAS
Depósito de Combustible	BV-MTI-01	Almacenar el combustible del vehículo
Bomba de alimentación	BV-MTI-02	Extraer el combustible del depósito y enviarlo a la bomba de inyección.
Filtros para Combustible	BV-MTI-03	Retener las impurezas que pueda contener el combustible
Bomba de inyección	BV-MTI-04	Dosificar e inyectar el combustible en el momento preciso
Inyectores	BV-MTI-05	Pulverizar el combustible dentro del cilindro

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.3.4 Sistema de Lubricación del Motor

3.6.2.3.4.1 Funciones del Sistema de Lubricación del Motor

- Reduce la fricción entre las piezas en movimiento y las lava.
- Absorbe y disipa el calor.
- Hace más hermético el cierre de los anillos contra la pared de los cilindros.
- Hace menos ruidoso el funcionamiento del motor.

Tabla 37. Funciones del Subsistema de Lubricación del Motor

COMPONENTE	CÓDIGO	FUNCIONES ESPECÍFICAS
Cárter	BV-MT-11	Contener el aceite de lubricación del motor.
		Disipar el calor.
		Cerrar el motor por la parte inferior.
Filtros de aceite	BV-MTL-01	Retener las impurezas que puede recoger el aceite a través de su paso por el motor.
Bomba de aceite	BV-MTL-02	Impulsar el aceite proveniente del cárter a través de los canales de lubricación.
Enfriador de aceite	BV-MTL-03	Mantiene la temperatura adecuada del aceite suministrado a las piezas del motor.
Cañerías y mangueras	BV-MTL-04	Transporta el lubricante.

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.3.5 Sistema de Refrigeración del Motor

3.6.2.3.5.1 Funciones del Sistema de Refrigeración del Motor

- Mantener los componentes del sistema motor en un rango de temperatura óptimo para el desarrollo de sus respectivas funciones y para evitar su desgaste y deformación.
- Mantener estanqueidad entre pistón y cilindro.

Tabla 38. Funciones de los componentes del Subsistema de Refrigeración del Motor

COMPONENTE	CÓDIGO	FUNCIONES ESPECÍFICAS
Cámara de agua	BV-MTR-01	Actuar como conducto para el paso de agua de refrigeración
Radiador	BV-MTR-02	Enfriar el agua caliente procedente del motor.
Bomba de agua	BV-MTR-03	Activar la circulación del líquido refrigerante a través
Filtro de agua	BV-MTR-04	Atrapar las impurezas presentes en el líquido refrigerante.
Ventilador	BV-MTR-05	Proporciona un flujo de aire que enfría el líquido refrigerante además de algunos otros componentes externos.
Termostato	BV-MTR-06	Permite la refrigeración completa o parcial del agua, dependiendo de la temperatura del motor.
		Mantiene la temperatura del motor en la de óptimo rendimiento.

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.4 Sistema de Frenos

3.6.2.4.1 Funciones del subsistema de frenado

- Crea una fuerza regulada para reducir la velocidad o para detener un vehículo en movimiento, así como para mantenerlo estacionado.

Tabla 39. Funciones del Subsistema de frenado

COMPONENTE	CÓDIGO	FUNCIONES ESPECÍFICAS
Pedal de freno	BV-FN-01	Aplica presión de aire a los frenos.
Tambores	BV-FN-02	Permiten que, en su interior, se generen las fuerzas necesarias para detener el vehículo.
Zapatas	BV-FN-03	Ejercen presión sobre los discos para poder frenar
Revestimiento del freno	BV-FN-04	Genera una fuerza de fricción en el interior del tambor, lo que provoca que el vehículo se detenga.
Mecanismo de accionamiento de zapatas	BV-FN-05	Mueve las zapatas contra el tambor para generar fuerza de fricción.
Resorte de retorno de las zapatas	BV-FN-06	Vuelve a la posición inicial a las zapatas.

Cámara de freno	BV-FN-07	Accionan los frenos debido a la presión neumática a la que son sometidos dando movimiento a las zapatas.
Resorte de la cámara de freno	BV-FN-08	Vuelve a la posición inicial al diafragma de la cámara de freno.
Sistema de frenos anti-bloqueo ABS	BV-FN-09	Mediante un sistema electrónico, evita que las ruedas se bloqueen cuando se aplica bruscamente el freno.
Medidor de suministro de presión	BV-FN-10	Mide la presión del aire de frenado.
Medidor de la presión aplicada	BV-FN-11	Muestra cuánta presión de aire se está ejerciendo sobre los frenos
Compresor de aire	BV-FN-12	Bombea aire a los tanques de almacenamiento.
Gobernador del compresor	BV-FN-13	Controla el funcionamiento del compresor de aire cuando éste bombea aire a los tanques de almacenamiento.
Tanques de almacenamiento de aire	BV-FN-14	Almacenan el aire comprimido.
Válvula de drenaje	BV-FN-15	Descarga el aire del circuito, después de la acción de frenado.
Evaporador de alcohol	BV-FN-16	Ayuda a disminuir el riesgo de que se forme hielo en las válvulas de freno y en otras piezas del sistema en temporada fría.
Válvula de pedal	BV-FN-17	Envía la presión neumática hacia las cámaras de servicio.
Válvula de seguridad	BV-FN-18	Evita que el tanque y el resto del sistema acumulen demasiada presión.
Tuberías y cañerías	BV-FN-19	Distribuyen el aire comprimido a todo el circuito neumático.

COMPONENTE	CÓDIGO	FUNCIONES ESPECÍFICAS
Válvula de estacionamiento	BV-FN-20	Envía presión de aire a la cámara de estacionamiento para accionar los frenos de estacionamiento.
Diafragma de la cámara de estacionamiento	BV-FN-21	Es movido por la acción de la presión de aire, y a su vez da movimiento al mecanismo de frenado
Resorte de la cámara de estacionamiento	BV-FN-22	Devuelve a la posición inicial al diafragma de la cámara de estacionamiento
Diafragma de la cámara de freno	BV-FN-23	Es movido por la acción de la presión de aire, y a su vez da movimiento al mecanismo de frenado
Ajustadores automáticos	BV-FN-24	Ajustan la regulación de las zapatas con respecto al tambor de freno

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40. AMFE para el Sistema de Transmisión

Nombre del Sistema (Título):	BUS VOLKSWAGEN	Código:	BV
Nombre del Sistema:	TRANSMISIÓN	Código:	BV-TM

						ESTADO ACTUAL					
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas	G gravedad	F ocurrencia	D detección	IPR inicial	Estado	
Embrague	BV-TM-01	El embrague patina	FM47	El motor acelera pero el vehículo no avanza	1	Asentamiento irregular del disco al volante	4	3	4	48	Normal
					2	Disco desgastado	5	4	4	80	Normal
					3	Varillaje en mal estado	5	3	5	75	Normal
					4	Juego incorrecto de la horquilla	4	3	7	84	Normal
					5	Soporte del motor dañado	6	4	4	96	Normal

Tabla 40 - 1. AMFE para el Sistema de Transmisión						ESTADO ACTUAL					
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas		G	F	D	IPR inicial	Estado
Embrague	BV-TM-01	El embrague patina	FM47	El motor acelera pero el vehículo no avanza	6	Disco contaminado con grasa o aceite	5	5	3	75	Normal
					7	Uñas de la prensa desgastadas	4	4	5	80	Normal
					8	Rodamiento del embrague a tope	5	4	4	80	Normal
					9	Buje o rodamiento del eje piloto en mal estado.	5	3	5	75	Normal
		Problemas de desacople	FM48	Vibración severa o jaloneo al intentar mover al vehículo	1	Fricción del disco, del volante o de la prensa	6	4	3	72	Normal
					2	Aceite o grasa en la superficie del disco	6	4	3	72	Normal
					3	Fricciones recalentadas	5	4	4	80	Normal
					4	Resortes de la prensa dañados	5	3	5	75	Normal
					5	Varillaje entrampado	7	2	5	70	Normal
		Componentes en mal estado	FM49	Ruidos extraños	1	Desgaste o falta de lubricación en el mecanismo que mueve el	5	4	4	80	Normal
					2	Desgaste excesivo del disco	6	4	3	72	Normal
					3	Resortes de torsión débiles	5	3	5	75	Normal
					4	Daños en el collarín u horquilla	4	3	6	72	Normal
					5	Balero desgastado	6	3	5	90	Normal
		Pulsación en el pedal	FM50	Daño grave del automotor	1	Desalineación de la transmisión y el motor	5	3	5	75	Normal
					2	Volante torcido	7	3	3	63	Normal
					3	Disco torcido	7	3	4	84	Normal
4	Prensa con desajuste en el diafragma				6	3	5	90	Normal		

Tabla 40 - 2 AMFE para el Sistema de Transmisión						ESTADO ACTUAL					
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas		G	F	D	IPR inicial	Estado
Caja de velocidades	BV-TM-02	Suenan las marchas al intentar introducirlas	FM51	Desembrague incompleto al pisar el pedal	1	Mando de embrague desajustado	5	3	5	75	Normal
					2	Desgaste de los conjuntos sincronizadores	6	4	4	96	Normal
					3	Piñón y sinfín del velocímetro dañados	6	3	3	54	Normal
					4	Insuficiente lubricante en la caja	7	3	4	84	Normal
		Dificultad para que entren las velocidades	FM52	Problemas al engranar	1	Mando de embrague desajustado	6	4	4	96	Normal
					2	Varillaje desalineado o falta de lubricación	5	3	5	75	Normal
					3	Engranajes con dientes astillados o rotos	6	3	4	72	Normal
					4	Eje principal con estrías deformadas	5	3	5	75	Normal
	5				Ajuste incorrecto de los	6	3	5	90	Normal	
	6				Manguito del sincronizador se traba	5	3	4	60	Normal	
	7				Anillos freno del sincronizador, gastados o dañados	5	3	5	75	Normal	
	8				Buje piloto en el cigüeñal, dañado	6	3	5	90	Normal	

Tabla 40 - 3. AMFE para el Sistema de Transmisión						ESTADO ACTUAL							
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas		G	F	D	IPR inicial	Estado		
Caja de velocidades	BV-TM-02	Velocidades no desengranan	FM53	Dificultad para conducir el vehículo	1	Eje principal con sus estrías deformadas, melladas o rotas	4	4	5	80	Normal		
					2	Engranaje desplazable trabado en el eje principal.	5	3	4	60	Normal		
					3	Horquillas de cambios gastadas, rotas a torcidas	4	4	6	96	Normal		
					4	Varillas de mando mal ajustadas	4	3		0	Normal		
					5	Desacople del embrague dificultoso	6	4	2	48	Normal		
		Fugas	FM7	Pérdida de lubricante	1	Fisura o defecto de fundición en la carcasa de la caja	3	2	8	48	Normal		
					2	Bulones flojos o sus roscas dañados	5	3	5	75	Normal		
					3	Juntas dañadas, mal instalados a	4	4	6	96	Normal		
					4	Retenes de aceite dañados o incorrectamente instalados	5	3	5	75	Normal		
					5	Retén del cojinete del engranaje de mando roto	5	3	5	75	Normal		
Árbol de transmisión	BV-TM-03	Componentes en mal estado	FM49	Ruido	1	Crucetas universales faltas de lubricación o deterioradas	6	3	4	72	Normal		
					2	Eje propulsor desalineado o desequilibrado	6	3	3	54	Normal		
					3	Rodamiento central de apoyo defectuoso	5	3	6	0	Normal		
				Golpeteo	1	Holgura en el conjunto de la transmisión o en el diferencial.	5	2	7	70	Normal		
					Fractura	FM5	Pérdida de tracción	1	Sobrecarga	5	3	5	75
				2				Impacto externo	10	1	2	20	Normal

Tabla 40 - 4. AMFE para el Sistema de Transmisión						ESTADO ACTUAL					
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas		G	F	D	IPR inicial	Estado
Par cónico diferencial	BV-TM-04	Rodamiento guía de la punta del piñón se desgasta de manera prematura	FM1	Marcha irregular y ruidosa	1	Fatiga en la pista de rodadura	5	3	5	75	Normal
					2	Escasa ventilación	4	3	5	60	Normal
					3	Falta de limpieza de la carcaza	3	4	6	72	Normal
					4	Carga excesiva	3	5	5	75	Normal
					5	Periodo de cambio de aceite muy prolongado	5	4	4	80	Normal
		Planetarios dañados	FM54	Ruidos en curvas	1	Fricción excesiva	6	4	4	96	Normal
					2	Mala calidad del aceite	7	3	4	84	Normal
		Rotura de dientes	FM4	Para del bus	1	Desalineación del piñón - corona	8	3	4	96	Normal
					2	Alta presión del aceite de lubricación	7	3	4	84	Normal
					3	Fatiga estructural del material	5	3	5	75	Normal
		Mecanismo autoajustable bloqueado	FM55	Falta de estabilidad	1	Placas de fricción del mecanismo autoblocante con desgaste o daño	6	3	4	72	Normal
		Fugas de aceite	FM7	Desgaste prematuro del piñón	1	Reten correspondiente al piñón desgastado o roto	5	3	5	75	Normal
Juntas de transmisión	BV-TM-05	Desgaste	FM1	Holgura en las transmisiones al acelerar o retener	1	Tiempo de uso	3	3	6	54	Normal
					2	Grasa de mala calidad	4	4	5	80	Normal
					3	Fuelles defectuosos	5	3	6	90	Normal
					4	Manejo inapropiado	5	3	5	75	Normal
					5	Mal montaje después del	5	3	5	75	Normal
		Fractura	FM5	Holgura en las transmisiones al acelerar o retener	1	Ángulo inadecuado de pivote	5	2	8	80	Normal
					2	Sobrepresión de las bolas contra las paredes	6	3	5	90	Normal

Tabla 40 - 5. AMFE para el Sistema de Transmisión						ESTADO ACTUAL					
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas		G	F	D	IPR inicial	Estado
Semi-árboles de transmisión	BH-TM-06	Desgaste	FM1	Chasquidos al rodar con la dirección girada a tope	1	Tiempo de uso	6	4	3	72	Normal
					2	Lubricación inadecuada	5	4	4	80	Normal
					3	Forzar al bus a arrancar	6	5	3	90	Normal
					4	Guardapolvos roto	6	3	4	72	Normal
					5	Abrazadera floja	5	3	6	90	Normal
		Componentes en mal estado	FM49	Pérdida de tracción	1	Desgaste o rotura de los rodamientos de las crucetas o bolas en las juntas homocinéticas	5	4	4	80	Normal
					2	Tuerca de la mangueta floja	5	3	5	75	Normal
					3	Estrías de la mangueta desgastadas	4	3	7	84	Normal
		Fractura	FM5	Para del bus	1	Sobrecarga	5	3	6	90	Normal
					2	Impactos o choques	10	1	2	20	Normal

Tabla 41. AMFE para el Sistema de Dirección

Nombre del Sistema (Título):	BUS VOLKSWAGEN	Código:	BV
Nombre del Sistema:	DIRECCIÓN	Código:	BV-DC

Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas	ESTADO ACTUAL					
						G	F	D	IPR inicial	Estado	
Caja de engranajes de la dirección	BV-DC-03	Desgaste de los dientes del sector dentado	FM1	Dirección dura	1	Falta de lubricación	6	4	4	96	Normal
					2	Engrane inadecuado de los dientes de los engranajes	6	3	5	90	Normal
					3	Introducción de partículas extrañas	6	4	4	96	Normal
					4	Aceite contaminado o con aditivos inadecuados	6	4	3	72	Normal
					5	Cargas excesivas de operación	6	5	3	90	Normal
		Rodamientos gripados o rotos	FM4	Chirridos en la caja	1	Falta de lubricación	5	3	6	90	Normal
					2	Mal montaje	7	2	6	84	Normal
					3	Fatiga	6	3	5	90	Normal
		Tornillo de sujeción flojo	FM58	Vibración en las ruedas delanteras	1	Mal apriete	5	3	5	75	Normal
					2	Tiempo de uso	4	4	3	48	Normal
Palanca y barras de la dirección	BV-DC-04	Desgaste de rótulas	FM1	Juego en las ruedas	1	Tiempo de uso	6	5	3	90	Normal
					2	Mala calidad del material	7	2	6	84	Normal
		Rotura de botas	FM4	Acumulamiento de suciedad en la rótula	1	Tiempo de vida útil excedida	4	4	6	96	Normal
					2	Desgaste excesivo	5	3	6	90	Normal

Tabla 41 - 1. AMFE para el Sistema de Dirección						ESTADO ACTUAL					
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas		G	F	D	IPR inicial	Estado
Palanca y barras de la dirección	BV-DC-04	Rotura de los fuelles de los brazos	FM4	El bus se inclina hacia un lado	1	Mal montaje	6	2	7	84	Normal
					2	Tiempo de uso	6	4	4	96	Normal
		Holgura en la palanca de mando	FM13	Oscilación en las ruedas	1	Apriete inadecuado de las fijaciones	4	4	5	80	Normal
					2	Mal montaje	6	2	6	72	Normal
					3	Falta de mantenimiento	4	5	3	60	Normal
		Excesivo apriete en las articulaciones de mando	FM14	Dureza en las articulaciones de mando	1	Inadecuado torque de apriete	5	3	6	90	Normal
					2	Mal montaje	4	3	5	60	Normal
					3	Uso de herramientas inadecuadas	2	4	6	48	Normal
		Cilindro hidráulico	BV-DC-05	Fugas	FM7	Rendimiento ineficiente del cilindro	1	Empaques desgastados o rotos	4	5	4
2	Conexiones en mal estado						5	4	4	80	Normal
3	Presión exagerada						6	4	3	72	Normal
Avería del componente	FM9			No genera la fuerza necesaria para accionar la biela de mando	1	Desgaste del cilindro	5	3	6	90	Normal
					2	Deformación del cilindro	7	3	4	84	Normal
					3	Deformación del pistón	7	2	5	70	Normal
Válvula de distribución	BV-DC-06	Ajuste incorrecto	FM14	El vehículo tiende a girar a un lado	1	Error de montaje	5	2	5	50	Normal
					2	Mala calibración	5	4	4	80	Normal
					3	Falta de mantenimiento	4	4	5	80	Normal
		Muelle defectuoso	FM59	Presión inadecuada de fluido hidráulico	1	Desgaste	5	5	3	75	Normal
					2	Rotura	5	3	6	90	Normal
					3	Pérdida de elasticidad	5	3	6	90	Normal

Tabla 41 - 2. AMFE para el Sistema de Dirección						ESTADO ACTUAL					
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas	G	F	D	IPR inicial	Estado	
Bomba de dirección	BV-DC-07	Falta de aceite	FM60	Dirección dura	1	Nivel de aceite bajo	7	3	4	84	Normal
					2	Aire en el circuito	5	3	6	90	Normal
				Chillido en la dirección	3	Obstrucción de las tuberías	6	4	4	96	Normal
					4	Avería en la válvula distribuidora	5	3	6	90	Normal
		Fugas	FM7	Baja presión de la bomba	1	Retenedor desgastado o roto	5	3	5	75	Normal
					2	Anillos de estanqueidad dañados	5	3	6	90	Normal
					3	Tubería rota	6	4	4	96	Normal
		Correas desgastadas o flojas	FM61	Bajo rendimiento de la bomba	1	Tiempo de uso	4	3	5	60	Normal
					2	Falta de mantenimiento	3	4	5	60	Normal
		Bomba sucia	FM62	Vibraciones o ruidos extraños	1	Aceite sucio	6	5	3	90	Normal
2	Aireación del depósito obstruido				6	3	4	72	Normal		
Depósito	BV-DC-08	Obstrucción	FM8	La servodirección no funciona	1	Aceite inadecuado	5	3	4	60	Normal
					2	Viscosidad muy alta del aceite	5	2	5	50	Normal
					3	Filtro en mal estado	6	4	3	72	Normal
		Fugas	FM7	Consumo exagerado de aceite	1	Fisuras	5	3	2	30	Normal
					2	Juntas en mal estado	4	3	3	36	Normal
Mangueras	BV-DC-09	Cuarteadas o quebradas	FM4	Fugas del fluido hidráulico de la dirección	1	Tiempo de uso	5	4	4	80	Normal
					2	Exposición al calor excesivo	5	3	6	90	Normal
					3	Mala calidad	3	3	5	45	Normal
		Desgaste externo	FM1	Incendio de la manguera	1	Abrasión	4	4	6	96	Normal
					2	Contacto con el metal	4	5	4	80	Normal
		Manguera suave y esponjosa	FM63	Desprendimiento y circulación de partículas de tubo	1	Desgaste interno	3	5	6	90	Normal
2	Acumulación de grasa o aceite				3	6	3	54	Normal		

Tabla 42. AMFE para el Subsistema de Suspensión

Nombre del Sistema (Título):	BUS VOLKSWAGEN	Código:	BV
Nombre del Sistema:	SUSPENSIÓN	Código:	BV-SP

						ESTADO ACTUAL					
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas	G	F	D	IPR inicial	Estado	
Ballestas	BV-SP-01	Fractura	FM5	El autobús tira hacia un lado	1	Sobrecarga	6	5	3	90	Normal
					2	Fatiga del material	5	3	6	90	Normal
					3	Golpes o impactos externos	7	3	4	84	Normal
					4	Operación inadecuada del vehículo	6	5	3	90	Normal
		Oxidación de hojas	FM64	Suspensión demasiado dura	1	Factores climáticos	2	7	3	42	Normal
					2	Tiempo de vida útil excedida	4	3	5	60	Normal
					3	Falta de lubricación	4	6	4	96	Normal
		Bujes y pernos muy ajustados	FM13	Suspensión rígida	1	Mal montaje	3	3	6	54	Normal
					2	Torque incorrecto	4	4	6	96	Normal
3	Herramientas de ajuste inadecuadas				4	2	8	64	Normal		
Amortiguadores	BV-SP-02	Eje torcido	FM65	El autobús sufre sacudidas	1	Sobrecarga	6	5	3	90	Normal
					2	Operación inadecuada	5	5	2	50	Normal
					3	Rodaje reiterado por carreteras dañadas	4	6	2	48	Normal
		Fugas de aceite	FM7	Pérdida de presión	1	Vástago rayado	3	2	8	48	Normal
					2	Mal montaje del	5	3	6	90	Normal
					3	Sello de aceite dañado	5	3	6	90	Normal

Tabla 42 - 1. AMFE para el Subsistema de Suspensión						ESTADO ACTUAL					
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas	G	F	D	IPR inicial	Estado	
Amortiguadores	BV-SP-02	Desgaste	FM1	Suspensión demasiado blanda	1	Fatiga del material	2	6	7	84	Normal
					2	Corrosión extendida	2	7	7	98	Normal
		Rotura	FM4	Suspensión ruidosa y con vibraciones	1	Impacto externo	10	1	1	10	Normal
					2	Montaje erróneo	5	2	7	70	Normal
					3	Presión por el líquido congelado	5	2	6	60	Normal
		Barras estabilizadoras	BV-SP-03	Deformación	FM3	El bus se carga hacia un lado	1	Fatiga del material	6	4	4
2	Sobrecarga						2	6	7	84	Normal
3	Ciclo de vida útil sobrepasado						5	4	3	60	Normal
Rotura	FM4			Vibración excesiva del volante de dirección	1	Impacto externo	10	1	1	10	Normal
					2	Sobrecarga	6	5	3	90	Normal
					3	Tiempo de vida útil	5	4	3	60	Normal

Tabla 43. AMFE para el Sistema de Ruedas y Neumáticos

Nombre del Sistema (Título):	BUS VOLKSWAGEN	Código:	BV
Nombre del Sistema:	RUEDAS Y NEUMÁTICOS	Código:	BV-RN

						ESTADO ACTUAL					
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas	G	F	D	IPR inicial	Estado	
Parte metálica	BV-RN-01	Desgaste (corrosión u oxidación)	FM1	Pérdida de rigidez de la rueda	1	Material inadecuado de la llanta	2	6	7	84	Normal
					2	Factores climáticos	4	5	4	80	Normal
					3	Tiempo de uso	4	5	4	80	Normal
		Deformación	FM3	Desencaje del neumático	1	Golpes externos	4	7	3	84	Normal
					2	Sobrecarga	5	6	3	90	Normal
					3	Uso de herramientas inadecuadas para el desmontaje	3	4	4	48	Normal
		Fisuras	FM2	Daño del disco	1	Golpes externos	4	8	2	64	Normal
					2	Técnicas incorrectas de desmontaje	3	5	4	60	Normal
		Parte neumática	BV-RN-02	Desgaste del componente	FM1	Disminuye la adherencia en el pavimento	1	Conducción agresiva	5	6	3
2	Altas velocidades						2	6	7	84	Normal
3	Sobrecarga						2	6	7	84	Normal
4	Factores climáticos						4	5	4	80	Normal
5	Presión incorrecta de inflado						7	4	3	84	Normal
6	Mal reglaje de los frenos						7	5	2	70	Normal
7	Mal estado de la amortiguación						6	4	3	72	Normal
8	Mal estado de la dirección						7	4	2	56	Normal
9	Tiempo de uso						5	9	1	45	Normal

Tabla 43 - 1. AMFE para el Sistema de Ruedas y Neumáticos						ESTADO ACTUAL					
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas		G	F	D	IPR inicial	Estado
Parte neumática	BV-RN-02	Deficiente presión de inflado	FM66	Aumenta el consumo de combustible	1	Falta de inspección	5	4	3	60	Normal
					2	Tiempo de uso	5	7	2	70	Normal
				3	Presencia de pequeñas grietas o fisuras	6	5	3	90	Normal	
				4	Válvula en mal estado	2	6	7	84	Normal	
		Excesiva presión de inflado	FM67	Disminuye la adherencia	1	Desconocimiento de presión de inflado recomendada por el fabricante	7	3	4	84	Normal
					2	Falta de inspección	6	4	4	96	Normal
				La suspensión se deteriora por sobre-esfuerzo							

Tabla 44. AMFE para el Sistema Bastidor y Carrocería

Nombre del Sistema (Título):	BUS VOLKSWAGEN	Código:	BV
Nombre del Sistema:	BASTIDOR Y CARROCERÍA	Código:	BV-BC

Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas	ESTADO ACTUAL					
						G	F	D	IPR inicial	Estado	
Bastidor	BV-BC-01	Desgaste del componente	FM1	Pérdida de la capacidad de carga.	1	Tiempo de uso	5	2	5	50	Normal
					2	Operación inadecuada	6	3	2	36	Normal
					3	Factores climáticos	3	2	6	36	Normal
					4	Falta de mantenimiento	6	3	4	72	Normal
		Fisuras	FM2	Reducción de la rigidez de la estructura.	1	Sobrecarga	7	2	3	42	Normal
					2	Material inadecuado	6	1	6	36	Normal
					3	Juntas soldadas defectuosas	2	6	7	84	Normal
		Deformación	FM3	Pérdida de estabilidad y alineación del bus.	1	Impactos externos	9	2	1	18	Normal
					2	Sobrecarga	8	2	3	48	Normal
					3	Falla del material	6	2	5	60	Normal
					4	Mal estado del camino	7	5	2	70	Normal
		Carrocería	BV-BC-02	Fisuras	FM2	Rotura del material que contiene la fisura	1	Falla del material	5	3	6
2	Esfuerzos alternativos excesivos						5	2	6	60	Normal
3	Juntas mal soldadas						2	6	7	84	Normal

Tabla 44 - 1. AMFE para el Sistema Bastidor y Carrocería						ESTADO ACTUAL					
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas	G	F	D	IPR inicial	Estado	
Carrocería	BV-BC-02	Deterioro del recubrimiento externo	FM68	Corrosión de la superficie externa	1	Factores ambientales	4	6	2	48	Normal
					2	Impactos externos	6	4	1	24	Normal
					3	Mala calidad de pintura	4	2	4	32	Normal
					4	Rayaduras	3	7	1	21	Normal
		Desajuste de pernos de sujeción	FM69	Ruido y vibraciones	1	Falta de mantenimiento	2	6	7	84	Normal
					2	Vías en mal estado	6	5	3	90	Normal
		Deformación	FM3	Pérdida de la estética del vehículo	1	Impactos externos	7	2	5	70	Normal
					2	Tiempo de uso	5	1	7	35	Normal
		Atascamiento de las puertas	FM15	Dificultad para el ingreso y desalojo de la unidad	1	Falta de lubricación de las correderas y bisagras	5	3	2	30	Normal
					2	Disfunción del sistema	5	2	4	40	Normal
					3	Impactos externos	9	2	1	18	Normal
		Rotura de los faros	FM4	Falta de visibilidad del conductor, en condiciones adversas	1	Golpes externos	6	2	2	24	Normal
		Rotura de los cristales (parabrisas,	FM4	Pérdida de visibilidad hacia los exteriores	1	Golpes externos	8	2	2	32	Normal
					2	Impacto del brazo del limpia-parabrisas	6	1	2	12	Normal
		Desencaje del tablero	FM70	Ruido y vibraciones	1	Vías en mal estado	3	5	2	30	Normal
					2	Tiempo de uso	2	3	4	24	Normal

Tabla 45. AMFE para el Subsistema Eléctrico

Nombre del Sistema (Título):	BUS VOLKSWAGEN	Código:	BV
Nombre del Sistema:	ELÉCTRICO	Código:	BV-ET

Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas	ESTADO ACTUAL					
						G	F	D	IPR inicial	Estado	
Batería	BV-ET-01	Descargada	FE1	No se produce encendido del motor	1	Tiempo de uso	5	2	8	80	Normal
					2	Uso de aparatos con el motor apagado	3	3	8	72	Normal
		Batería sulfatada	FE2	Fallas eléctricas	1	Nivel muy alto de electrolito, bornes sulfatados.	3	4	8	96	Normal
					1	Partes metálicas aledañas oxidadas	2	6	7	84	Normal
		Quemada o dañada	FE3	No se produce encendido del motor	1	Nivel bajo de electrolito	5	4	4	80	Normal
					2	Sobrecarga	7	3	4	84	Normal
Alternador	BV-ET-02	Sobrecarga	FE4	Batería dañada o quemada	1	Falta de calibración	5	3	4	60	Normal
					2	Conexión incorrecta	6	2	4	48	Normal
					3	Bobina en dañada	5	2	5	50	Normal
		Carga Insuficiente o no carga	FE5	Funcionamiento de sistemas eléctricos anormal y batería descargada	1	Escobillas desgastadas	5	4	4	80	Normal
					2	Bobina dañada	5	3	5	75	Normal
					3	Estator Averiado	5	2	5	50	Normal
Motor de arranque	BV-ET-03	Avería del componente	FE6	El motor no enciende, o enciende con dificultad	1	Escobillas desgastadas	4	4	5	80	Normal
					2	Bobina dañada	6	3	4	72	Normal
					3	Regulador dañado	6	3	3	54	Normal
					4	Piñón dañado	7	2	5	70	Normal
					5	Escobillas desgastadas	5	3	5	75	Normal
					6	Rotor dañado	6	3	4	72	Normal

Tabla 45 - 1. AMFE para el Subsistema Eléctrico							ESTADO ACTUAL					
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas		G	F	D	IPR inicial	Estado	
Circuito de carga de la batería	BV-ET-04	Sobrecarga o cortocircuito	FE4	Batería dañada o quemada	1	Falta de regulación del alternador	6	2	6	72	Normal	
					2	Alternador Averiado	6	2	5	60	Normal	
		Desconexión o conexión incorrecta	FE7	Batería descargada o quemada	1	Cables cortados	6	3	5	90	Normal	
					Disfunción del circuito	1	Cortocircuito	2	6	7	84	Normal
						2	Cableado cortado	6	2	6	72	Normal
Circuito de arranque del motor eléctrico	BV-ET-05	Sobrecarga o cortocircuito	FE4	Motor de arranque averiado	1	Conexión incorrecta	5	3	4	60	Normal	
					2	Motor de arranque no idóneo	5	4	4	80	Normal	
		Desconexión o conexión	FE7	Motor no arranca	1	Conexión incorrecta	7	3	4	84	Normal	
					2	Batería desconectada	4	2	6	48	Normal	
Circuito electrónico para el sistema de inyección diésel	BV-ET-06	Sobrecarga o cortocircuito	FE4	Motor no enciende	1	Instalación incorrecta	6	2	5	60	Normal	
					2	Elementos desconectados	5	2	5	50	Normal	
		Desconexión o conexión incorrecta	FE7	Funcionamiento anormal del motor	1	Instalación incorrecta	6	2	5	60	Normal	
					2	Elementos desconectados	5	2	5	50	Normal	
					3	Cables cortados	7	2	6	84	Normal	
Circuito de bujías para motores diésel	BV-ET-07	Desconexión o conexión incorrecta	FE7	Motor no enciende	1	Conexión incorrecta	5	3	5	75	Normal	
					2	Bujías desgastadas	4	4	6	96	Normal	
					3	Cables cortados	5	3	6	90	Normal	
Circuito de alumbrado, señalización, control y accesorios	BV-ET-08	Cortocircuito	FE4	Elementos eléctricos quemados	1	Sobrecarga	6	3	5	90	Normal	
					2	Cables mal conectados	6	2	5	60	Normal	
				Mal funcionamiento del sistema eléctrico	1	Cortocircuito	6	2	5	60	Normal	
					2	Cables mal conectados	5	2	5	50	Normal	
		No hay energía en el circuito	FE8	No funcionan los elementos eléctricos	1	Cables cortados	2	6	7	84	Normal	
					2	Batería desconectada	4	3	5	60	Normal	

Tabla 46. AMFE para el Sistema Electrónico

Nombre del Sistema (Título):	BUS VOLKSWAGEN	Código:	BV
Nombre del Sistema:	ELÉCTRÓNICO	Código:	BV-EX

						ESTADO ACTUAL					
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas	G	F	D	IPR inicial	Estado	
ECU	BV-EX-01	Avería	FN1	Motor no se enciende	1	Conexión a tierra mal realizada o inexistente	7	2	5	70	Normal
					2	Tiempo de uso	5	3	5	75	Normal
					3	Cortocircuito	6	2	6	72	Normal
				Funcionamiento del motor anormal	1	Pines dañados o sucios	8	2	5	80	Normal
					2	Insumos de limpieza	5	3	6	90	Normal
					3	Tiempo de uso	5	3	6	90	Normal
					4	Cortocircuito	6	2	5	60	Normal
Sensor de presión del múltiple	BV-EX-02	Avería	FN1	Motor falto de potencia	1	Tiempo de uso	5	3	5	75	Normal
					2	Pines dañados o sucios	7	2	6	84	Normal
				Funcionamiento anormal del motor, no acelera.	1	Tiempo de uso	5	3	6	90	Normal
					2	Pines dañados o sucios	6	2	5	60	Normal
		Señal entrecortada o inexistente	FN2	Motor falto de potencia	1	Mal conectado	6	2	6	72	Normal
					2	Mal conectado	5	2	5	50	Normal

Tabla 46 - 1. AMFE para el Sistema Electrónico							ESTADO ACTUAL					
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas		G	F	D	IPR inicial	Estado	
Sensor de flujo de masa de aire	BV-EX-03	Avería	FN1	Motor no enciende	1	Tiempo de uso	5	3	6	90	Normal	
					2	Conexión a tierra mal realizada o inexistente	6	3	5	90	Normal	
					3	Cortocircuito	7	2	5	70	Normal	
		Señal entrecortada o inexistente	FN2	Motor no enciende	1	Mal conectado	6	2	5	60	Normal	
					Motor falto de potencia	1	Tiempo de uso	5	3	6	90	Normal
						2	Pines dañados o sucios	6	2	5	60	Normal
Sensor de posición del cigüeñal	BV-EX-04	Avería	FN1	Motor no enciende	1	Tiempo de uso	5	2	6	60	Normal	
					2	Cortocircuito	6	2	5	60	Normal	
					3	Pines dañados o sucios	6	2	5	60	Normal	
Señal inexistente o entrecortada	FN2	Motor no enciende	1	Mal conectado	6	2	5	60	Normal			
			Sensor de posición del árbol de levas	BV-EX-05	Avería	FN1	Motor no enciende	1	Tiempo de uso	5	3	6
2	Pines dañados o sucios	6						2	5	60	Normal	
3	Sobrecarga	6						2	5	60	Normal	
Señal inexistente o entrecortada	FN2	Motor no enciende	1	Mal conectado	6	2	6	72	Normal			
			Sensor de temperatura de agua	BV-EX-06	Avería	FN1	Motor produce mayores emisiones, ventilador encendido en todo momento	1	Tiempo de uso	5	3	6
2	Cortocircuito	6						2	5	60	Normal	
3	Pines dañados o sucios	6						2	5	60	Normal	
Señal entrecortada o inexistente	FN2	Motor genera mayores emisiones, ventilador encendido en todo	1	Mal conectado	6	2	5	60	Normal			

Tabla 46 - 2. AMFE para el Sistema Electrónico							ESTADO ACTUAL				
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas		G	F	D	IPR inicial	Estado
Sensor de temperatura de aire	BV-EX-07	Avería	FN1	Motor produce mayores emisiones, mayor consumo de combustible	1	Tiempo de uso	5	2	5	50	Normal
					2	Incorrecta instalación o elemento inadecuado	6	2	6	72	Normal
					3	Pines dañados o sucios	6	2	5	60	Normal
		Señal entrecortada o inexistente	FN2	Motor produce mayores emisiones, mayor consumo de combustible	1	Mal conectado	6	2	6	72	Normal
Sensor de posición de acelerador	BV-EX-08	Avería	FN1	Motor no acelera o le falta potencia	1	Tiempo de uso	5	3	6	90	Normal
					2	Cortocircuito	6	2	5	60	Normal
					3	Pines dañados o sucios	6	2	5	60	Normal
		Señal entrecortada o inexistente	FN2	Motor no acelera o le falta potencia	1	Mal conectado	5	2	6	60	Normal
					2	Mecanismo Averiado	6	2	5	60	Normal
Sensor de velocidad del vehículo	BV-EX-09	Avería	FN1	No funciona el odómetro, consumo de combustible elevado.	1	Tiempo de uso	4	4	5	80	Normal
					2	Cortocircuito	5	3	5	75	Normal
					3	Engrane del mecanismo dañado	5	3	6	90	Normal
					4	Pines dañados o sucios	5	3	5	75	Normal
		Señal entrecortada o inexistente	FN2	No funciona el odómetro, consumo de combustible elevado.	1	Mal conectado	4	2	6	48	Normal
Sonda Lambda	BV-EX-10	Avería	FN1	Comportamiento anormal del motor,	1	Tiempo de uso	5	2	5	50	Normal
					2	Combustible de mala	6	2	6	72	Normal
				Motor produce mayores emisiones	1	Tiempo de uso	5	3	6	90	Normal
					2	Combustible de mala	5	3	6	90	Normal

Tabla 46 - 3. AMFE para el Sistema Electrónico							ESTADO ACTUAL				
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas		G	F	D	IPR inicial	Estado
Sonda Lambda	BV-EX-10	Señal entrecortada o inexistente	FN2	Motor produce mayores emisiones	1	Mal conectado	5	3	5	75	Normal
					2	Contaminación por partículas	5	3	6	90	Normal
Sensor de presión de sobrealimentación	BV-EX-11	Avería	FN1	Comportamiento anormal del motor	1	Tiempo de uso	5	2	5	50	Normal
					2	Cortocircuito	6	2	4	48	Normal
					3	Pines dañados o sucios	6	3	4	72	Normal
		Señal entrecortada o inexistente	FN2	Comportamiento anormal del motor	1	Mal conectado	5	2	3	30	Normal
Sensor de presión del riel de combustible	BV-EX-12	Avería	FN1	Motor falta de potencia	1	Tiempo de uso	5	2	3	30	Normal
					2	Pines dañados o sucios	6	2	4	48	Normal
		Señal entrecortada o inexistente	FN2	Presión excesiva en el riel	1	Conexión a tierra mal realizada o inexistente	6	2	4	48	Normal
				Presión baja en el riel	1	Conexión de alimentación o señal mal realizada o inexistente.	5	2	4	40	Normal
Sensor de presión de aceite	BV-EX-13	Avería	FN1	Sobrecalentamiento	1	Tiempo de uso	6	2	4	48	Normal
					2	Pines dañados o sucios	6	2	4	48	Normal
		Señal entrecortada o inexistente	FN2	Sobrecalentamiento	1	Mal conectado	6	2	3	36	Normal
Válvula reguladora de presión del riel	BV-EX-14	Avería	FN1	Sobrepresión en el riel	1	Tiempo de uso	5	2	3	30	Normal
					2	Pines dañados o sucios	4	3	3	36	Normal
		Señal entrecortada o inexistente	FN2	Sobrepresión en el riel	1	Mal conectado	5	2	3	30	Normal

Tabla 47. AMFE para el Sistema Motor

Nombre del Sistema (Título):	BUS VOLKSWAGEN	Código:	BV
Nombre del Subsistema:	MOTOR	Código:	BV-MT

Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas	ESTADO ACTUAL					
						G	F	D	IPR inicial	Estado	
Block del motor	BV-MT-01	Deformación	FM3	Desalineación de los elementos móviles del motor.	1	Choque térmico	7	2	5	70	Normal
					2	Impacto externo	10	2	2	40	Normal
					3	Sobrecalentamiento	6	2	6	72	Normal
		Fisuras	FM2	Filtración de líquido refrigerante al aceite	1	Choque térmico	8	2	6	96	Normal
					2	Impacto externo	10	1	3	30	Normal
Camisas	BV-MT-02	Desgaste del componente	FM1	Consumo elevado del aceite	1	Presencia de polvo entre el forro y los aros de los pistones	6	3	5	90	Normal
		Deformación	FM3	Agarrotamiento del pistón	1	Irregularidad en el montaje del block	6	2	6	72	Normal
					2	Dilatación de las gaseras de sellado, durante el funcionamiento del motor	4	4	6	96	Normal
					3	Apriete excesivo de la	7	2	5	70	Normal
					4	Deficiencia en la rectificación del cilindro	7	3	4	84	Normal
		Cavitación	FM12	Fuga de compresión y aceite	1	Funcionamiento del motor en frío	6	2	6	72	Normal
					2	Presencia de impurezas	6	2	6	72	Normal
					3	Falta de inhibidores apropiados de herrumbre en el refrigerante	6	3	5	90	Normal

Tabla 47 - 1. AMFE para el Sistema Motor						ESTADO ACTUAL					
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas	G	F	D	IPR inicial	Estado	
Pistón	BV-MT-03	Desgaste del componente	FM1	Proceso irregular de combustión	1	Fugas del refrigerante	6	4	4	96	Normal
					2	Operación del motor cuando está frío	7	3	4	84	Normal
					3	Aceite de lubricación incorrecto	6	2	5	60	Normal
					4	Ácidos resultantes de la combustión	6	4	4	96	Normal
		Rotura del componente	FM4	Falta de compresión	1	Fluctuaciones extremadas de carga	6	2	5	60	Normal
					2	Sobredosificación de éter	7	1	6	42	Normal
					3	Sincronización avanzada	8	3	4	96	Normal
					4	Exceso de combustible	8	3	4	96	Normal
		Agarrotamiento del componente	FM11	Excesiva presión de aceite	1	Lubricación escasa en el arranque del motor	7	3	4	84	Normal
					2	Sobrecalentamiento del	6	2	5	60	Normal
		Daño físico	FM16	Proceso irregular de combustión	1	Biela desalineada	8	3	3	72	Normal
					2	Demasiado juego longitudinal del cigüeñal	8	3	4	96	Normal
					3	Muñón del cigüeñal con demasiado ahusamiento	7	3	4	84	Normal
					4	Cavidad del cilindro fuera de alineamiento	7	2	5	70	Normal
					5	Cierres de pernos de pistón instalados incorrectamente	7	2	4	56	Normal

Tabla 47 - 2. AMFE para el Sistema Motor							ESTADO ACTUAL				
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas		G	F	D	IPR inicial	Estado
Anillos del pistón	BV-MT-04	Desgaste del componente	FM1	Detonación en los cilindros	1	Presencia de abrasivos	6	2	5	60	Normal
					2	Falta de mantenimiento	7	2	4	56	Normal
		Rotura del componente	FM4	Consumo elevado de aceite	1	Mal montaje	7	2	6	84	Normal
					2	Ranura del aro llena de carbón	7	2	5	70	Normal
					3	Uso del expandidor incorrecto	6	2	7	84	Normal
		Pegamiento	FM17	Exceso de humo azul o blanco en el escape	1	Obstrucción del limpiador de aire	6	2	5	60	Normal
					2	Operación excesiva en vacío	8	3	3	72	Normal
					3	Falla de la ranura superior	6	2	7	84	Normal
					4	Deformación del forro del cilindro	6	2	5	60	Normal
					5	Sobrecarga	8	5	2	80	Normal
					6	Falla del sistema de enfriamiento	10	3	2	60	Normal
					7	Aceite incorrecto de lubricación	6	3	5	90	Normal
		8	Operación del motor frío	7	3	4	84	Normal			
9	Exceso de combustible	8	3	3	72	Normal					
Biela	BV-MT-05	Desalineación	FM6	Daño físico al pistón	1	Mal montaje	9	2	3	54	Normal
					2	Ajuste deficiente del perno en el bulón	8	3	3	72	Normal
					3	Falta de mantenimiento	8	4	3	96	Normal
		Pandeo	FM18	Proceso irregular de combustión	1	Sobrecarga	6	2	5	60	Normal
					2	Ingreso indebido de agua a la cámara de combustión	9	3	3	81	Normal

Tabla 47 - 3. AMFE para el Sistema Motor							ESTADO ACTUAL				
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas		G	F	D	IPR inicial	Estado
Biela	BV-MT-05	Rotura del componente	FM4	Daño físico del block	1	Falta de lubricación	10	2	3	60	Normal
					2	Ajuste excesivo de la biela con el cigüeñal	8	2	5	80	Normal
		Ovalamiento del componente	FM19	Proceso irregular de combustión	1	Aceleraciones bruscas	10	2	3	60	Normal
					2	Mal montaje	7	2	6	84	Normal
					3	Mala operación	5	4	4	80	Normal
Volante de Inercia	BV-MT-06	Deformación	FM1	Desalineación del sistema de embrague	1	Trabajo a temperaturas elevadas	6	2	6	72	Normal
					2	Desgaste del componente	7	2	5	70	Normal
Cigüeñal	BV-MT-07	Rotura del componente	FM4	Golpeteo mecánico	1	Sobrecarga	8	4	3	96	Normal
					2	Compresión excesiva	8	2	5	80	Normal
					3	Engrase insuficiente	7	3	4	84	Normal
					4	Tiempo de uso	7	2	6	84	Normal
		Demasiado juego longitudinal	FM13	Daño físico al pistón	1	Montaje incorrecto	8	3	4	96	Normal
					2	Pernos flojos	8	2	5	80	Normal
3	Muñequillas ovaladas	6	3	4	72	Normal					
Cojinetes de muñones	BV-MT-08	Desgaste del componente	FM1	Aumento de la presión y calor localizados	1	Presencia de partículas grandes de polvo	6	3	5	90	Normal
					2	Falta de lubricación	8	3	3	72	Normal
					3	Aceite inadecuado	7	3	4	84	Normal
		Alineación incorrecta	FM6	Desgaste concentrado del cigüeñal	1	Abuso operacional	6	5	3	90	Normal
					2	Instalación incorrecta de bielas	7	2	4	56	Normal

Tabla 47 - 4. AMFE para el Sistema Motor						ESTADO ACTUAL					
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas	G	F	D	IPR inicial	Estado	
Culata	BV-MT-09	Grietas o sopladuras	FM2	Mezcla del agua con el aceite	1	Estados anormales de sollicitaciones internas del material	8	3	4	96	Normal
					2	Malas características de la aleación utilizada para su fabricación	8	1	5	40	Normal
		Deformación	FM3	Quemadura de la junta de culata	1	Apriete insuficiente de las tuercas	8	2	5	80	Normal
					2	Sobrecalentamiento debido a la ausencia de agua	7	3	4	84	Normal
					3	Funcionamiento defectuoso del termostato	9	2	3	54	Normal
					4	Rotura de la bomba de agua, del ventilador, etc.	10	2	3	60	Normal
Junta de culata	BV-MT-10	Fuga de gases	FM7	Presencia de burbujas de gas que ascienden en el radiador	1	Ajuste deficiente de los	8	2	5	80	Normal
					2	Carga térmica intensa	8	3	4	96	Normal
				Pérdida del refrigerante	1	Compresión insuficiente de la junta	9	3	3	81	Normal
				Destrucción del aro del pistón	1	Sollicitaciones extraordinariamente elevadas del motor durante su servicio	9	1	4	36	Normal

Tabla 47 - 5. AMFE para el Sistema Motor						ESTADO ACTUAL					
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas		G	F	D	IPR inicial	Estado
Junta de culata	BV-MT-10	Falla por picado	FM20	El aro del cilindro y el material blando se han fundido	1	Proceso de combustión irregular	7	3	4	84	Normal
					2	Calidad inferior del combustible	8	4	3	96	Normal
					3	Boquilla con pérdidas	6	4	4	96	Normal
					4	Relación de compresión demasiado elevada	9	2	5	90	Normal
		Fuga de aceite y refrigerante	FM7	Sobrecalentamiento del motor y agarrotamiento	1	Montaje inadecuado de la junta	8	2	5	80	Normal
					2	Quemadura de la junta	8	3	4	96	Normal
3	Destrucción del elemento sellador				8	3	4	96	Normal		
Cárter	BV-MT-11	Fuga de aceite	FM7	Agarrotamiento del motor	1	Rotura por impacto externo	10	1	2	20	Normal
					2	Deficiente ajuste del tapón	7	3	2	42	Normal
		Deformación	FM3	Cojinetes se exponen a cargas excesivas	1	Sobrecarga	8	2	5	80	Normal
					2	Aceleraciones intempestivas	8	2	5	80	Normal
					3	Ajuste incorrecto de pernos de culata	7	2	4	56	Normal
Junta del Cárter	BV-MT-12	Fuga de aceite	FM7	Agarrotamiento del motor	1	Deficiente ajuste de los tornillos	10	2	2	40	Normal
					2	Desgaste de la junta	10	2	2	40	Normal

Tabla 48. AMFE para el Subsistema de Distribución del Motor

Nombre del Sistema (Título):	BUS VOLKSWAGEN	Código:	BV
Nombre del Subsistema:	MOTOR (DISTRIBUCIÓN)	Código:	BV-MTD

Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas	ESTADO ACTUAL					
						G	F	D	IPR inicial	Estado	
Filtro para el aire	BV-MTD-01	Obstrucción	FM8	Pérdida de potencia del motor	1	Falta de mantenimiento	7	2	5	70	Normal
					2	Tiempo de uso	7	3	4	84	Normal
					3	Mala calidad del filtro	7	2	5	70	Normal
Turbocompresor	BV-MTD-02	Rotura del componente	FM4	Para del motor en caliente	1	Operación inadecuada	8	5	2	80	Normal
					Avería del componente	FM9	Pasaje de aire por la turbina y el compresor	1	Daño de los caracoles	6	2
		2	Falta de lubricación de los cojinetes	7				2	5	70	Normal
		3	Sobrepresión	7				2	6	84	Normal
		4	Altas temperaturas de gases de escape	7				3	4	84	Normal
		Obstrucción en la turbina de entrada de aire	FM8	Pasaje de aceite por el compresor	1	Suciedad en el aceite	7	2	5	70	Normal
					2	Introducción de partículas extrañas	7	3	4	84	Normal
					3	Desequilibrio del conjunto giratorio	6	2	6	72	Normal
		Fuga de aire entre el filtro y el turbo	FM7	Ruido extraño del turbocompresor	1	Desgaste por fricción de la turbina de accionamiento o del compresor	7	3	2	42	Normal

Tabla 48 - 1. AMFE para el Subsistema de Distribución del Motor							ESTADO ACTUAL					
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas		G	F	D	IPR inicial	Estado	
Turbocompresor	BV-MTD-02	Fuga de aceite	FM7	Humo azul en el escape	1	Conducto de retorno de aceite taponado	8	3	3	72	Normal	
					2	Apoyos del turbocompresor	6	3	4	72	Normal	
					3	Guarniciones de estanqueidad del lado de la turbina o del	6	3	5	90	Normal	
Colector de admisión	BV-MTD-03	Fisuras	FM2	Pérdida de potencia del motor	1	Tiempo de uso	6	2	6	72	Normal	
					2	Desgaste	6	4	4	96	Normal	
					3	Vibraciones excesivas	7	4	3	84	Normal	
		Fuga de aire	FM7	Pérdida de presión de alimentación	1	Ductos en mal estado	7	3	4	84	Normal	
					2	Abrazaderas dañadas	6	2	4	48	Normal	
					1	Ralentí irregular	Grietas en los ductos	7	3	4	84	Normal
							Tornillos del colector desajustados	6	2	3	36	Normal
Válvulas de admisión	BV-MTD-04	Desgaste de los empaques	FM1	Fuga de aire	1	Tiempo de uso	8	2	6	96	Normal	
				Pérdida de compresión	2	Mala calidad de los empaques	7	2	7	98	Normal	
		Válvula pandeada	FM21	Desincronización de los balancines	1	Asentamiento inadecuado	6	3	5	90	Normal	
					2	Restricción en la admisión de aire	7	2	6	84	Normal	
					3	Ajuste excesivo	7	2	5	70	Normal	
					4	Falla del muelle	6	3	4	72	Normal	
					5	Exceso de rpm del	7	2	5	70	Normal	

Tabla 48 - 2. AMFE para el Subsistema de Distribución del Motor							ESTADO ACTUAL						
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas	G	F	D	IPR inicial	Estado			
Válvulas de admisión	BV-MTD-04	Rotura del componente	FM7	Pérdida de potencia del motor	1	Distorsión del asiento	6	3	5	90	Normal		
					2	Asiento rajado o flojo	7	2	5	70	Normal		
					3	Balancín desgastado	7	3	4	84	Normal		
					4	Muelle de válvulas fuera de escuadra	5	3	6	90	Normal		
					5	Desalineación del asiento y la guía	5	2	7	70	Normal		
					6	Excesiva holgura entre el vástago y la guía	6	2	6	72	Normal		
		Mala regulación	FM22	Golpeteo de balancines	1	Falta de mantenimiento	7	2	5	70	Normal		
Balancines	BV-MTD-05	Descalibración	FM10	Golpeteo de balancines	1	Tiempo de uso	6	4	4	96	Normal		
					2	Vibraciones excesivas	7	4	3	84	Normal		
		Deformación	FM3	Marcha irregular del motor	1	Mala calibración de	8	4	2	64	Normal		
					2	Muelles de válvulas	7	4	3	84	Normal		
					3	Falta de aceite	7	2	6	84	Normal		
		Árbol de levas	BV-MTD-06	Sincronización incorrecta	FM23	Pérdida de potencia del motor	1	Mal montaje	8	1	4	32	Normal
2	Juego axial excesivo						6	3	5	90	Normal		
3	Tiempo de uso						7	3	4	84	Normal		
Desgaste del componente	FM1			Pérdida de potencia del motor	Aumento en el consumo del combustible	Vibración en el tren de balancines	1	Incompatibilidad de los materiales	6	1	9	54	Normal
							2	Presión entre las superficies	7	1	8	56	Normal
							3	Viscosidad inadecuada del aceite y aditivos	7	2	5	70	Normal
							4	Falta de lubricación	7	2	5	70	Normal
							5	Rugosidad superficial	6	2	7	84	Normal

Tabla 48 - 3. AMFE para el Subsistema de Distribución del Motor							ESTADO ACTUAL				
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas		G	F	D	IPR inicial	Estado
Taqués	BV-MTD-07	Desgaste del componente	FM1	Golpeteo	1	Tiempo de uso	5	2	8	80	Normal
					2	Viscosidad inadecuada del aceite y aditivos	8	4	3	96	Normal
					3	Presión entre las superficies	7	1	8	56	Normal
					4	Falta de lubricación	7	3	4	84	Normal
		Atascamiento	FM15	Pérdida de su función	1	Restos de barniz entre el émbolo y el cuerpo del taqué	5	1	9	45	Normal
					2	Falta de aditivo en el aceite	4	3	4	48	Normal
Elementos de mando	BV-MTD-08	Rotura de la correa	FM4	Daño grave a los pistones	1	Tiempo de uso	9	2	2	36	Normal
					2	Depósitos en el rodillo tensor	6	2	7	84	Normal
					3	Desalineación de los piñones	8	2	5	80	Normal
		Daño del tensor	FM24	Traqueteo y ruido del motor al arrancar	1	Tiempo de uso	7	2	5	70	Normal
					2	Mal montaje	6	2	6	72	Normal
					3	Temperaturas elevadas de trabajo	5	3	6	90	Normal
Válvulas de escape	BV-MTD-09	Desgaste en el asiento, guía o en la cabeza	FM1	Exceso de humo azul o blanco en el escape	1	Alineación inadecuada	6	3	5	90	Normal
					2	Corrosión debida a los gases de escape	5	4	4	80	Normal
		Quemaduras	FM25	Baja compresión en los cilindros	1	Insuficiente holgura entre vástago - guía	6	2	8	96	Normal
					2	Relación de compresión inadecuada	7	2	7	98	Normal
					3	Circulación restringida de refrigerante	7	2	5	70	Normal
					4	Luz de válvula insuficiente	5	2	9	90	Normal

Tabla 48 - 4. AMFE para el Subsistema de Distribución del Motor						ESTADO ACTUAL					
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas	G	F	D	IPR inicial	Estado	
Taqués	BV-MTD-07	Desgaste del componente	FM1	Golpeteo	1	Tiempo de uso	5	2	8	80	Normal
					2	Viscosidad inadecuada del aceite	8	4	3	96	Normal
					3	Presión entre las superficies	7	1	8	56	Normal
					4	Falta de lubricación	7	3	4	84	Normal
		Atascamiento	FM15	Pérdida de su función	1	Restos de barniz entre el émbolo y el cuerpo del taqué	5	1	9	45	Normal
					2	Falta de aditivo en el aceite	4	3	4	48	Normal
Elementos de mando	BV-MTD-08	Rotura de la correa	FM4	Daño grave a los pistones	1	Tiempo de uso	9	2	2	36	Normal
					2	Depósitos en el rodillo tensor	6	2	7	84	Normal
					3	Desalineación de los piñones	8	2	5	80	Normal
		Daño del tensor	FM24	Traqueteo y ruido del motor al arrancar	1	Tiempo de uso	7	2	5	70	Normal
					2	Mal montaje	6	2	6	72	Normal
					3	Temperaturas elevadas de	5	3	6	90	Normal
Válvulas de escape	BV-MTD-09	Desgaste en el asiento, guía o en la cabeza	FM1	Exceso de humo azul o blanco en el escape.	1	Alineación inadecuada	6	3	5	90	Normal
					2	Corrosión debida a los gases de escape	5	4	4	80	Normal
		Quemaduras	FM25	Baja compresión en los cilindros	1	Insuficiente holgura entre vástago - guía	6	2	8	96	Normal
					2	Relación de compresión	7	2	7	98	Normal
					3	Circulación restringida de refrigerante	7	2	5	70	Normal
					4	Luz de válvula insuficiente	5	2	9	90	Normal

Tabla 48 - 5. AMFE para el Subsistema de Distribución del Motor							ESTADO ACTUAL				
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas		G	F	D	IPR inicial	Estado
Válvulas de escape	BV-MTD-09	Quemaduras	FM25	Baja compresión en los cilindros	5	Depósitos carbonosos en vástago y guía	7	2	5	70	Normal
					6	Mezcla pobre, combustible incorrecto	7	2	5	70	Normal
		Válvula pegada en la guía	FM26	Incrustación del material de la guía en el vástago de la válvula	1	Enfriamiento	7	3	4	84	Normal
					2	Acumulación de laca	6	1	9	54	Normal
					3	Lubricación insuficiente	7	2	5	70	Normal
					4	Aceite sucio	7	2	5	70	Normal
					5	Óxido en la guía	5	2	7	70	Normal
					6	Poca distancia entre el asiento y la guía	4	2	8	64	Normal
					7	Ambiente húmedo por fuga de agua	3	2	7	42	Normal
		Desgaste en el vástago	FM1	Baja compresión en los cilindros	1	Lubricación insuficiente del vástago	6	3	5	90	Normal
					2	Suciedad o material	4	3	7	84	Normal
					3	Juego excesivo o insuficiente entre el	4	4	6	96	Normal
		Válvula combada	FM21	Descalibración recurrente	1	Enfriamiento	6	4	4	96	Normal
					2	Alta temperatura del	5	4	4	80	Normal
					3	Acumulación de carbón	5	3	6	90	Normal
					4	Acumulación de depósitos gomosos	4	2	7	56	Normal
					5	Falla del muelle	6	3	4	72	Normal
					6	Exceso de rpm del motor	7	2	5	70	Normal

Tabla 48 - 6. AMFE para el Subsistema de Distribución del Motor							ESTADO ACTUAL				
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas		G	F	D	IPR inicial	Estado
Colector de escape	BV-MTD-10	Fisuras	FM2	Deficiente expulsión de los gases de escape	1	Vibraciones excesivas	5	4	4	80	Normal
					2	Impactos externos	7	4	3	84	Normal
					3	Tiempo de uso	4	1	8	32	Normal
		Fuga de gases	FM7	Temperaturas elevadas	1	Presencia de carbonilla	6	3	5	90	Normal
					2	Ductos en mal estado	7	2	5	70	Normal
					3	Abrazaderas flojas o dañadas	6	4	4	96	Normal
Silenciador del escape	BV-MTD-11	Rotura de	FM4	Golpeteos	1	Contra-explosiones	5	3	5	75	Normal
		Corrosión interna	FM27	Ruidos por fuga de gases	1	Condensación de ácido	4	3	5	60	Normal
		Corrosión externa	FM28	Ruidos por fuga de gases	1	Productos químicos utilizados en carreteras heladas	2	1	7	14	Normal
		Taponamiento	FM8	Calentamiento del motor	1	Obstrucción en la salida de los gases de escape.	7	2	5	70	Normal
Catalizador de dos vías	BV-MTD-12	Falla térmica	FM29	Desactivación del catalizador	1	Mezclas de combustible demasiado ricas	4	3	8	96	Normal
					2	Introducción de combustible crudo	6	2	8	96	Normal
		Taponamiento	FM8	Calentamiento del motor	1	Obstrucción en la salida de los gases de escape.	7	2	5	70	Normal
		Contracción del sustrato de cerámica	FM30	Desintegración del componente	1	Choque térmico	3	3	6	54	Normal
					2	Vibración normal del escape	4	4	6	96	Normal
		Avería del componente	FM9	Desactivación del catalizador	1	Contaminación	3	4	7	84	Normal
					2	Derretimiento grave	5	1	5	25	Normal

Tabla 49. AMFE para el Subsistema de Inyección de Combustible

Nombre del Sistema (Título):	BUS VOLKSWAGEN	Código:	BV
Nombre del Sistema:	MOTOR (INYECCIÓN)	Código:	BV-MTI

Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas	ESTADO ACTUAL					
						G	F	D	IPR inicial	Estado	
Cámara de agua	BV-MTR-01	Grietas	FM2	Aceite en el refrigerante	1	Choque térmico	8	2	6	96	Normal
					2	Impacto externo	10	1	3	30	Normal
		Cavitación	FM12	Aceite en el refrigerante	1	Utilización solo de agua como refrigerante	7	2	5	70	Normal
					2	Concentración inadecuada de refrigerante	6	2	8	96	Normal
		Obstrucción	FM8	Calentamiento anormal del motor	1	Refrigerante de mala calidad	7	2	5	70	Normal
					2	Tipo de refrigerante usado	6	3	5	90	Normal
Radiador	BV-MTR-02	Desgaste	FM1	Transferencia de calor deficiente	1	Tipo de refrigerante usado	6	3	5	90	Normal
					2	Corrosión	6	3	4	72	Normal
		Obstrucción	FM8	Sobrecalentamiento del motor	1	Disolución de sal de metales y precipitación de la misma	6	1	9	54	Normal
					2	Refrigerante de mala	7	3	4	84	Normal
		Aletas dobladas	FM36	Pérdida de su eficiencia	1	Mantenimiento inadecuado	7	2	5	70	Normal
					2	Barro acumulado	7	3	3	63	Normal
		Fugas	FM7	Sobrecalentamiento del motor	1	Agujeros en la base del radiador	7	2	5	70	Normal
					2	Tapa de radiador débil o agujereada	8	2	6	96	Normal

Tabla 49 - 1. AMFE para el Subsistema de Inyección de Combustible						ESTADO ACTUAL					
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas		G	F	D	IPR inicial	Estado
Bomba de inyección	BV-MTI-04	Descalibración	FM10	El motor tiene baja potencia, consume mucho y arroja humo negro	1	Mal montaje	6	2	8	96	Normal
					2	Falta de mantenimiento	6	3	5	90	Normal
		Piñón de arrastre flojo	FM33	Motor desincronizado	1	Mal montaje	6	2	6	72	Normal
					2	Falta de mantenimiento	4	4	6	96	Normal
Inyectores	BV-MTI-05	Desgaste	FM1	Emisión de humo negro en el escape	1	Tiempo de uso	5	2	4	40	Normal
					2	Mala calidad del combustible	6	5	3	90	Normal
		Obstrucción	FM8	El motor no arranca Marcha irregular del motor en ralentí	1	Mala calidad del combustible	7	2	7	98	Normal
					2	Presencia de partículas de carbonilla	6	3	5	90	Normal
					3	Exceso de suciedad en el asiento de la aguja	7	2	7	98	Normal
		Aguja de inyector agarrotada	FM11	Ruido en el motor en marcha	1	Combustible de mala	6	4	4	96	Normal
					2	Recalentamiento del motor	8	2	5	80	Normal
					3	Excesivo ajuste de la tuerca del inyector a la culata	6	3	5	90	Normal
		Fugas	FM7	Aumento del consumo de combustible	1	Tuerca fisurada o floja	4	2	7	56	Normal
					2	Ralladura o cuerpos extraños en la cara de asentamiento	5	3	6	90	Normal

Tabla 50. AMFE para el Sistema de Lubricación del Motor

Nombre del Sistema (Título):	BUS VOLKSWAGEN	Código:	BV
Nombre del Sistema:	MOTOR (LUBRICACIÓN)	Código:	BV-MTL

Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas	ESTADO ACTUAL					
						G	F	D	IPR inicial	Estado	
Cárter	BV-MT-11	Fuga de aceite	FM7	Agarrotamiento del motor	1	Rotura por impacto externo	10	1	2	20	Normal
					2	Deficiente ajuste del tapón	7	3	2	42	Normal
		Deformación	FM3	Cojinetes se exponen a cargas excesivas	1	Sobrecarga	7	3	2	42	Normal
					2	Aceleraciones	7	3	2	42	Normal
					3	Ajuste incorrecto de pernos de culata	7	2	4	56	Normal
Filtros de aceite	BV-MTL-01	Obstrucción	FM8	Baja presión del aceite Sobrecalentamiento del motor	1	Mala calidad del aceite	7	3	2	42	Normal
					2	Acumulación de impurezas	7	3	2	42	Normal
					3	Tiempo de uso	7	3	3	63	Normal
					4	Intervalo inadecuado de cambio	8	3	4	96	Normal
		Fuga de aceite	FM7	Consumo elevado del aceite	1	Mal ajuste	8	3	3	72	Normal
Bomba de aceite	BV-MTL-02	Desgaste	FM1	Baja presión del aceite	1	Tiempo de uso	7	3	4	84	Normal
					2	Aceite contaminado	7	3	3	63	Normal
					3	Aceite muy viscoso	6	2	4	48	Normal
					4	Nivel inadecuado de aceite	7	3	4	84	Normal
		Válvula de alivio	FM34	Presión errática	1	Presencia de materiales extraños en la bomba	7	3	2	42	Normal

Tabla 50 - 1. AMFE para el Sistema de Lubricación del Motor						ESTADO ACTUAL					
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas		G	F	D	IPR inicial	Estado
Bomba de aceite	BV-MTL-02	Fallo del engranaje loco	FM35	Para del componente	1	Desgaste severo de los dientes	8	2	5	80	Normal
					2	Lubricación inadecuada	7	3	4	84	Normal
					3	Fatiga	6	2	5	60	Normal
		Fugas (Goteo)	FM7	Consumo elevado del aceite	1	Ajuste insuficiente de	6	2	3	36	Normal
					2	Mal montaje	6	2	5	60	Normal
					3	Rotura de empaques	7	3	4	84	Normal
Enfriador de aceite	BV-MTL-03	Rotura del componente	FM4	Aceite en el refrigerante	1	Golpes externos	7	3	4	84	Normal
					2	Arranque en frío	7	3	4	84	Normal
		Taponamiento	FM8	Baja presión del aceite	1	Filtro obstruido	8	4	2	64	Normal
					2	Presencia de partículas extrañas	7	3	4	84	Normal
Cañerías y mangueras	BV-MTL-04	Obstrucción	FM8	Desgaste prematuro del motor	1	Lubricante de mala calidad	7	3	4	84	Normal
					2	Presencia de carbonilla	7	3	4	84	Normal

Tabla 51. AMFE para el Subsistema de Refrigeración del Motor

Nombre del Sistema (Título):	BUS VOLKSWAGEN	Código:	BV
Nombre del Sistema:	MOTOR (REFRIGERACIÓN)	Código:	BV-MTR

Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas	ESTADO ACTUAL					
						G	F	D	IPR inicial	Estado	
Cámara de agua	BV-MTR-01	Grietas	FM2	Aceite en el refrigerante	1	Choque térmico	8	2	6	96	Normal
					2	Impacto externo	10	1	3	30	Normal
		Cavitación	FM12	Aceite en el refrigerante	1	Utilización solo de agua como refrigerante	6	1	9	54	Normal
					2	Concentración inadecuada de refrigerante	6	2	8	96	Normal
		Obstrucción	FM8	Calentamiento anormal del motor	1	Refrigerante de mala calidad	6	1	9	54	Normal
Radiador	BV-MTR-02	Desgaste	FM1	Transferencia de calor deficiente	1	Tipo de refrigerante usado	6	3	5	90	Normal
					2	Corrosión	6	3	4	72	Normal
		Obstrucción	FM8	Sobrecalentamiento del motor	1	Disolución de sal de metales y precipitación	6	1	9	54	Normal
					2	Refrigerante de mala	7	3	4	84	Normal
		Aletas dobladas	FM36	Pérdida de su eficiencia	1	Mantenimiento	6	1	9	54	Normal
					2	Barro acumulado	7	3	3	63	Normal
		Fugas	FM7	Sobrecalentamiento del motor	1	Agujeros en la base del radiador	7	2	5	70	Normal
					2	Tapa de radiador débil o aguiereada	8	2	6	96	Normal

Tabla 51 - 1. AMFE para el Subsistema de Refrigeración del Motor							ESTADO ACTUAL				
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas		G	F	D	IPR inicial	Estado
Bomba de agua	BV-MTR-03	Cavitación	FM12	Reducción del flujo del líquido	1	Cambios bruscos de presión	6	2	6	72	Normal
					2	Refrigerante de mala calidad	7	2	6	84	Normal
		Fugas	FM7	Sobrecalentamiento del motor	1	Desgaste del sello por impurezas	5	3	2	30	Normal
					2	Sello dañado por choque térmico	8	2	5	80	Normal
		Eje roto	FM4	Pérdida de la función del componente	1	Sobrecarga del balero	7	2	6	84	Normal
					2	Desbalanceo	7	2	5	70	Normal
Filtro de agua	BV-MTR-04	Obstrucción	FM8	Sobrecalentamiento del motor	1	Refrigerante sucio	7	4	3	84	Normal
					2	Uso de aditivos inadecuados	5	4	4	80	Normal
					3	Intervalo inadecuado de cambio	6	3	5	90	Normal
					4	Tiempo de uso	5	3	2	30	Normal
Ventilador	BV-MTR-05	Aspas dobladas o rotas	FM37	Ruidos y vibraciones	1	Mal montaje	5	2	7	70	Normal
					2	Componentes o partes sueltas	4	2	4	32	Normal
					3	Impacto externo	5	4	3	60	Normal
		Rotura prematura de las bandas del ventilador	FM4	Velocidad de giro del ventilador inadecuada, lo que disminuye la eficiencia del radiador	1	Presencia de partículas extrañas	5	4	4	80	Normal
					2	Mal montaje	6	2	5	60	Normal
					3	Tensión localizada	7	2	6	84	Normal
					4	Poleas desalineadas	4	4	6	96	Normal
					5	Poleas rayadas o ásperas	5	3	4	60	Normal
					6	Cubierta en mal estado	6	3	5	90	Normal
					6	Cubierta en mal estado	6	3	5	90	Normal
Termostato	BV-MTR-06	Desgaste	FM1	Funcionamiento ineficiente del componente	1	Corrosión	5	6	3	90	Normal
					2	Tiempo de vida útil	4	3	6	72	Normal
					3	Mala calidad del refrigerante	6	4	4	96	Normal

Tabla 51 - 2. AMFE para el Subsistema de Refrigeración del Motor						ESTADO ACTUAL					
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas		G	F	D	IPR inicial	Estado
Termostato	BV-MTR-06	Exceso de presión dentro del componente	FM38	Sobrecalentamiento del motor	1	Juntas sopladas	3	4	3	36	Normal
					2	Temperatura anormal del anticongelante	4	4	5	80	Normal
		Bloqueo en posición abierta	FM39	Aumenta consumo de combustible	1	Tiempo de uso	3	4	3	36	Normal
		Bloqueo en posición cerrada	FM40	Sobrecalentamiento del motor	1	Óxido	5	3	6	90	Normal
					2	Tiempo de uso	7	4	3	84	Normal

Tabla 52. AMFE para el Subsistema de Frenado

Nombre del Sistema (Título):	BUS VOLKSWAGEN	Código:	BV
Nombre del Sistema:	FRENADO	Código:	BV-FN

Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas	ESTADO ACTUAL						
						G	F	D	IPR inicial	Estado		
Pedal de freno	BV-FN-01	Juego excesivo	FM13	El vehículo no frena como el conductor indica	1	Falta de mantenimiento	4	2	5	40	Normal	
					2	Calibración incorrecta.	5	2	5	50	Normal	
		Deformación	FM3	No se pueden aplicar los frenos	1	Golpe externo	8	1	7	56	Normal	
Tambores	BV-FN-02	Desgaste	FM1	Baja eficiencia de frenado	1	Diámetro del tambor superior a lo especificado	7	2	7	98	Normal	
					2	Falta de mantenimiento	7	2	7	98	Normal	
		Tambores fisurados o deformados	FM2	Baja eficiencia de frenado	1	Impacto externo	8	1	6	48	Normal	
					2	Choque térmico	8	2	5	80	Normal	
					Vibraciones	1	Choque térmico	8	1	6	48	Normal
		Tambores cristalizados	FM41	Frenos no se aplican	1	Uso incorrecto del freno.	8	1	7	56	Normal	
		Rayaduras o cejas	FM42	Baja eficiencia de frenado	1	Falta de mantenimiento	3	6	5	90	Normal	
					Dificultad para extraer los	1	Falta de mantenimiento	4	4	6	96	Normal
					Dificultad para extraer los tambores	1	Material de las zapatas muy duro	5	4	4	80	Normal

Tabla 52 - 1. AMFE para el Subsistema de Frenado							ESTADO ACTUAL				
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas		G	F	D	IPR inicial	Estado
Zapatatas	BV-FN-03	Elección incorrecta	FM43	Desbalanceo en la frenada	1	Las zapatatas utilizadas no son iguales para ambos lados del eje	8	2	9	144	Alto Riesgo
					Deformación	FM3	Frenos no se aplican	1	Impacto externo	7	1
		2	Incorrecta instalación	6				3	5	90	Normal
Revestimiento del freno	BV-FN-04	Desgaste	FM1	Baja eficiencia de frenado	1	Falta de mantenimiento	4	4	6	96	Normal
					2	Tiempo de uso	4	4	5	80	Normal
		Cristalización	FM41	Frenos no se aplican	1	Sobrecalentamiento	8	1	5	40	Normal
					2	Incorrecta instalación	9	2	5	90	Normal
		Deformación del revestimiento	FM3	Frenos no se aplican o son insuficientes	1	Sobrecalentamiento	9	2	5	90	Normal
					2	Incorrecta instalación	9	2	5	90	Normal
		Asimetría en la fuerza de frenado	FM44	Frenada desigual	1	Desgaste desigual	4	5	4	80	Normal
					2	Calibración incorrecta	3	5	4	60	Normal
3	Grasa en el revestimiento				8	2	5	80	Normal		
Mecanismo de accionamiento de las zapatatas	BV-FN-05	Avería	FM9	Baja eficiencia de frenado	1	Mala calibración	8	2	5	80	Normal
					2	Tiempo de uso	8	1	5	40	Normal
Resorte de retorno de las zapatatas	BV-FN-06	Desgaste	FM1	Freno se queda aplicado	1	Tiempo de uso	4	2	7	56	Normal
					Rotura	FM4	Freno se queda aplicado	1	Utilización de productos alcalinos en la limpieza	4	3
		2	Instalación incorrecta	5				3	6	90	Normal
Cámara de freno	BV-FN-07	Desgaste	FM1	Baja eficiencia de frenado	1	Tiempo de uso	5	2	4	40	Normal
					2	Falta de mantenimiento	4	3	4	48	Normal
					3	Frenos no se desaplican	5	3	4	60	Normal
		Contaminación	FM45	Frenos no se desaplican	1	Sellos en mal estado	5	1	6	30	Normal
					2	Falta de mantenimiento	5	3	6	90	Normal

Tabla 52 - 2. AMFE para el Subsistema de Frenado						ESTADO ACTUAL					
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas	G	F	D	IPR inicial	Estado	
Resorte de la cámara de freno	BV-FN-08	Rotura	FM4	Freno no se desaplica	1	Tiempo de uso	4	2	6	48	Normal
					2	Falta de mantenimiento	4	2	6	48	Normal
		Desgaste	FM1	Freno no se	1	Tiempo de uso	3	2	7	42	Normal
Sistema de frenos anti-bloqueo ABS	BV-FN-09	Disfunción del sistema	FM46	Freno ABS deja de funcionar	1	Fusible del sistema quemado	3	2	2	12	Normal
					2	Avería en sensor de velocidad de las ruedas	2	2	2	8	Normal
Medidor de suministro de presión	BV-FN-10	Avería	FM9	Lectura incorrecta	1	Falta de mantenimiento	3	2	8	48	Normal
					2	Tiempo de uso	3	2	7	42	Normal
Medidor de la presión aplicada	BV-FN-11	Avería	FM9	Lectura incorrecta	1	Falta de mantenimiento	3	2	8	48	Normal
					2	Tiempo de uso	3	2	7	42	Normal
Compresor de aire	BV-FN-12	Avería	FM9	Baja Eficiencia de frenado	1	Falta de mantenimiento	8	2	5	80	Normal
					2	Sellos dañados	6	2	5	60	Normal
		Desgaste	FM1	Concentración de aceite en el aire muy elevada	1	Anillos del pistón dañados	7	2	4	56	Normal
Gobernador del compresor	BV-FN-13	Avería	FM9	Funcionamiento del sistema de frenado irregular	1	Falta de mantenimiento	6	2	6	72	Normal
					2	Tiempo de uso	6	2	7	84	Normal
Tanques de almacenamiento de aire	BV-FN-14	Fuga de aire	FM7	Baja eficiencia de frenado	1	Falta de mantenimiento	3	2	7	42	Normal
					2	Impacto externo	5	3	4	60	Normal
		Obstrucción	FM8	Baja eficiencia de frenado	1	Falta de mantenimiento	5	3	5	75	Normal
					2	Objeto extraño	6	3	5	90	Normal

Tabla 52 - 3. AMFE para el Subsistema de Frenado							ESTADO ACTUAL				
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas		G	F	D	IPR inicial	Estado
Válvula de drenaje	BV-FN-15	Obstrucción	FM8	Frenos se quedan aplicados	1	Falta de mantenimiento	4	2	4	32	Normal
					2	Objeto extraño	4	2	4	32	Normal
		Avería	FM9	Baja eficiencia de frenado	1	Falta de mantenimiento	5	2	6	60	Normal
					2	Tiempo de uso	4	2	7	56	Normal
Evaporador de alcohol	BV-FN-16	Fuga del evaporador	FM7	Disfunción del sistema de frenado	1	Tiempo de uso	8	2	5	80	Normal
					2	Ajuste insuficiente	8	2	4	64	Normal
Válvula de pedal	BV-FN-17	Avería	FM9	Baja eficiencia de frenado	1	Falta de mantenimiento	6	3	5	90	Normal
					2	Tiempo de uso	5	2	6	60	Normal
		Obstrucción	FM8	Frenos se quedan aplicados	1	Falta de mantenimiento	5	1	7	35	Normal
					2	Objeto extraño	7	1	5	35	Normal
		Fuga de aire	FM7	Baja eficiencia de frenado	1	Tiempo de uso	5	2	6	60	Normal
					2	Falta de mantenimiento	5	2	7	70	Normal
Válvula de seguridad	BV-FN-18	Avería	FM9	Baja eficiencia de frenado	1	Falta de mantenimiento	6	2	7	84	Normal
					2	Tiempo de uso	5	3	6	90	Normal
		Obstrucción	FM8	Frenos se quedan aplicados	1	Falta de mantenimiento	6	2	6	72	Normal
					2	Objeto extraño	5	1	5	25	Normal
Tuberías y cañerías	BV-FN-19	Obstrucción	FM8	Baja eficiencia de frenado	1	Falta de mantenimiento	7	2	5	70	Normal
					2	Objeto extraño	6	2	5	60	Normal
		Fuga de aire	FM7	Baja eficiencia de frenado	1	Falta de mantenimiento	5	1	7	35	Normal
					2	Impacto externo	6	2	8	96	Normal
					3	Tiempo de uso	5	2	8	80	Normal

Tabla 52 - 4. AMFE para el Subsistema de Frenado						ESTADO ACTUAL					
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas		G	F	D	IPR inicial	Estado
Válvula de estacionamiento	BV-FN-20	Avería	FM9	El freno de estacionamiento se aplica y desaplica lentamente	1	Falta de mantenimiento	5	4	4	80	Normal
		Obstrucción	FM8		1	Falta de mantenimiento	6	4	4	96	Normal
					2	Presencia de algún objeto extraño	6	3	5	90	Normal
Diafragma de la cámara de estacionamiento	BV-FN-21	Avería	FM9	Freno de estacionamiento se queda aplicado o se desaplica	1	Desgaste	4	6	4	96	Normal
Resorte de la cámara de estacionamiento	BV-FN-22	Rotura	FM4	Freno no se	1	Tiempo de uso	4	4	5	80	Normal
		Desgaste	FM1	Freno no se desaplica	2	Falta de mantenimiento	4	3	6	72	Normal
						Tiempo de uso	5	3	6	90	Normal
Diafragma de la cámara de freno	BV-FN-23	Avería	FM9	Frenada desigual	1	Desgaste	6	3	4	72	Normal
					2	Tiempo de uso	6	3	4	72	Normal
Ajustadores automáticos	BV-FN-24	Avería	FM9	No ocurre el ajuste, o el curso es muy largo	1	Tiempo de uso	5	3	4	60	Normal
					2	Perno de traba desgastado	5	4	4	80	Normal
					3	Horquilla instalada incorrecta para la aplicación	5	3	4	60	Normal
					4	Contratuerca de horquilla suelta	5	4	4	80	Normal
					5	Grasa contaminada	5	3	4	60	Normal
					6	Torque de ajuste excesivo	4	3	6	72	Normal
					7	Resorte de la cámara de freno dañado	6	4	4	96	Normal
					8	Ajustador inadecuado	6	3	4	72	Normal

Tabla 52 - 5. AMFE para el Subsistema de Frenado						ESTADO ACTUAL					
Componente	Código	Modo de Fallo	Código de fallo	Efecto	Causas		G	F	D	IPR inicial	Estado
Ajustadores automáticos	BV-FN-24	Avería	FM9	Los bloques arrastran o el curso es muy corto	1	Horquilla instalada incorrecta para la aplicación	6	3	5	90	Normal
					2	Contratuerca de horquilla suelta	5	3	5	75	Normal
					3	Ajustador inadecuado	6	3	5	90	Normal
					4	Ajuste inicial incorrecto	4	3	4	48	Normal

Tabla 53. Cuadro de Acciones Correctivas para el Subsistema de Transmisión

Componente	Código	Modo de Fallo	Causas		Acciones correctivas	Responsable	G	F	D	IPR final	Estado
Embrague	BV-TM-01	Problemas de desacople	4	Resortes de prensa dañados	Reemplazo del componente	Encargado de mantenimiento	6	2	5	60	Normal
		Pulsación en el pedal	1	Desalineación de la transmisión y motor	Realizar análisis de vibraciones	Encargado de mantenimiento	9	2	3	54	Normal
Caja de velocidades	BV-TM-02	Dificultad para que entren las velocidades	4	Eje principal con estrías deformadas	Verificar deformación de estrías de eje y establecer intervalos de	Encargado de mantenimiento	6	3	5	90	Normal
			7	Anillos freno del sincronizador, gastados o dañados	Reemplazo de los anillos gastados	Encargado de mantenimiento	5	2	5	50	Normal
		Fugas	2	Bulones flojos o sus roscas dañadas	Controlar ajuste de bulones y reparar	Encargado de mantenimiento	5	3	5	75	Normal
			4	Retenes de aceite dañados o mal instalados	Verificar correcta instalación de retenes y cambiar retenes	Encargado de mantenimiento	4	2	6	48	Normal
			5	Retén del cojinete del engranaje de mando roto	Reemplazo del retén del cojinete de engranaje de mando	Encargado de mantenimiento	6	2	5	60	Normal
Árbol de transmisión	BV-TM-03	Fractura	1	Sobrecarga	No exceder el límite de carga recomendado	Chofer	8	3	3	72	Normal
Par cónico diferencial	BV-TM-04	Desgaste prematuro del rodamiento guía del piñón	1	Desgaste en la pista de rodadura	Controlar adecuada lubricación de los rodamientos	Encargado de mantenimiento	4	3	5	60	Normal
		Rotura de dientes	3	Desgaste estructural del material	Verificación continua de estado de engranajes	Encargado de mantenimiento	6	3	4	72	Normal
		Fugas de aceite	1	Reten del piñón desgastado o roto	Cambio del retén desgastado o roto	Encargado de mantenimiento	7	2	5	70	Normal

Tabla 54. Cuadro de correctivos para el Sistema de Transmisión

Componente	Código	Modo de Fallo	Causas		Acciones correctivas	Responsable	G	F	D	IPR final	Estado
Juntas de transmisión	BV-TM-05	Desgaste	4	Manejo inapropiado	Conducir según las especificaciones	Chofer	6	2	4	48	Normal
Semiárboles de transmisión	BV-TM-06	Fractura	1	Sobrecarga	No exceder el límite de carga recomendado por el fabricante	Chofer	8	3	3	72	Normal

Tabla 55. Cuadro de correctivos para el Sistema de Dirección

Componente	Código	Modo de Fallo	Causas		Acciones correctivas	Responsable	G	F	D	IPR final	Estado
Árbol de dirección	BV-DC-02	Deformación	2	Fatiga del material	Verificar periódicamente la deformación del árbol de dirección	Encargado de mantenimiento	6	2	6	72	Normal
Caja de engranajes de la dirección	BV-DC-03	Rodamientos gripados o rotos	1	Falta de lubricación	Elevar frecuencia de lubricación	Encargado de mantenimiento	6	2	5	60	Normal
Palanca y barras de la dirección	BV-DC-04	Excesivo apriete (articulaciones)	1	Inadecuado torque de apriete	Controlar que el torque sea el adecuado	Encargado de mantenimiento	5	2	6	60	Normal
Cilindro hidráulico	BV-DC-05	Avería del componente	1	Desgaste del cilindro	Verificar desgaste del cilindro	Encargado de mantenimiento	6	3	4	72	Normal
Válvula de distribución	BV-DC-06	Muelle defectuoso	2	Rotura	Reemplazo de la válvula	Encargado de mantenimiento	7	2	4	56	Normal
Bomba de dirección	BV-DC-07	Falta de aceite	2	Aire en el circuito	Purgar el circuito	Encargado de	6	2	6	72	Normal
			4	Avería en la válvula distribuidora	Inspeccionar frecuentemente sus componentes	Encargado de mantenimiento	7	2	5	70	Normal
Mangueras	BV-DC-09	Secas o quebradas	2	Exposición al calor excesivo	Verificar estado de las mangueras y de ser necesario cambiarlas	Encargado de mantenimiento	6	3	4	72	Normal

Tabla 56. Cuadro de correctivos para el Sistema de Suspensión

Componente	Código	Modo de Fallo	Causas		Acciones correctivas	Responsable	G	F	D	IPR final	Estado
Ballestas	BV-SP-01	Fractura	2	Fatiga del material	Verificar constantemente el estado de las ballestas y cambiarlas si es necesario	Encargado de mantenimiento	5	3	6	90	Normal
Amortiguadores	BV-SP-07	Fugas de aceite	3	Sello de aceite dañado	Cambiar los sellos dañados	Encargado de mantenimiento	5	2	4	40	Normal
Barras estabilizadoras	BV-SP-04	Deformación	2	Sobrecarga	No exceder los límites de carga establecidos por el fabricante	Chofer	6	3	4	72	Normal

Tabla 57. Cuadro de correctivos para el Sistema Ruedas y Neumáticos

Componente	Código	Modo de Fallo	Causas		Acciones correctivas	Responsable	G	F	D	IPR final	Estado
Parte metálica	BV-RN-01	Desgaste (corrosión u oxidación)	1	Material inadecuado de la llanta	Colocar llantas de marcas de calidad reconocida	Encargado de mantenimiento	6	3	5	90	Normal
Parte neumática	BV-RN-03	Desgaste del componente	2	Altas velocidades	Conducir a velocidades moderadas	Chofer	5	4	3	60	Normal
			3	Sobrecarga	No rebasar el límite de carga	Chofer	6	3	3	54	Normal
		Presión de inflado deficiente	4	Válvula en mal estado	Inspeccionar frecuentemente el estado de la válvula del neumático	Chofer	7	2	4	56	Normal

Tabla 58. Cuadro de correctivos para el Sistema Bastidor y Carrocería

Componente	Código	Modo de Fallo	Causas		Acciones correctivas	Responsable	G	F	D	IPR final	Estado
Bastidor	BV-BC-05	Fisuras	3	Juntas soldadas defectuosas	Elevar la frecuencia de inspección de cordones de soldadura	Encargado de mantenimiento	8	2	5	80	Normal
Carrocería	BV-BC-02	Fisuras	3	Juntas mal soldadas	Inspección mensual de juntas soldadas	Encargado de mantenimiento	7	2	4	56	Normal
		Desajuste de pernos de sujeción	1	Falta de mantenimiento	Verificación mensual de ajuste de pernos	Encargado de mantenimiento	5	2	6	60	Normal

Tabla 59. Cuadro de correctivos para el Sistema Eléctrico y Electrónico

Componente	Código	Modo de Fallo	Causas		Acciones correctivas	Responsable	G	F	D	IPR final	Estado
Batería	BV-ET-01	Batería sulfatada	1	Nivel muy alto de electrolito	Revisar que no exista exceso de electrolito, de haberlo, drenarlo	Encargado de mantenimiento	5	2	8	80	Normal
Circuito de carga de la batería	BV-ET-04	Desconexión o conexión incorrecta	1	Cortocircuito	Revisar que no existan cables quemados	Encargado de mantenimiento	7	2	5	70	Normal
Circuito de alumbrado, señalización, control y accesorios	BV-ET-08	No hay energía en el circuito	1	Cables cortados	Revisar que no existan dobleces en el cableado, ni cables pelados	Encargado de mantenimiento	7	2	5	70	Normal
Sensor de flujo de masa de aire	BV-EX-03	Avería	1	Tiempo de uso	Revisar y limpiar el sensor, cada que se limpie el filtro de aire.	Encargado de mantenimiento	6	2	6	72	Normal

Tabla 60. Cuadro de correctivos para el Sistema Motor

Componente	Código	Modo de Fallo	Causas		Acciones correctivas	Responsable	G	F	D	IPR final	Estado
Block del motor	BV-MT-01	Deformación	3	Sobrecalentamiento	Asegurar buen funcionamiento del sistema de refrigeración	Encargado de mantenimiento	10	2	3	60	Normal
Camisas	BV-MT-02	Cavitación	1	Funcionamiento del motor en frío	Calentar el motor antes de su operación	Chofer	7	3	4	84	Normal
Pistón	BV-MT-03	Desgaste del componente	2	Operación del motor cuando está	Calentar el motor antes de su operación	Chofer	7	2	4	56	Normal
			3	Aceite de lubricación incorrecto	Seleccionar aceite recomendado por el fabricante	Encargado de mantenimiento	8	2	5	80	Normal
		Agarrotamiento del componente	2	Sobrecalentamiento del motor	Reemplazar el componente	Encargado de mantenimiento	10	1	3	30	Normal
Anillos del pistón	BV-MT-04	Desgaste del componente	1	Presencia de abrasivos	Elevar frecuencia de limpieza del componente	Encargado de mantenimiento	8	2	4	64	Normal
		Pegamiento	1	Obstrucción del limpiador de aire	Limpieza o reemplazo del limpiador de aire	Encargado de mantenimiento	9	2	4	72	Normal
			4	Deformación del forro del cilindro	Rectificar camisas de los cilindros	Encargado de mantenimiento	9	1	3	27	Normal
Biela	BV-MT-05	Pandeo	1	Sobrecarga	No exceder el límite de carga especificada por el fabricante	Encargado de mantenimiento	7	2	5	70	Normal
		Rotura del componente	2	Ajuste excesivo de la biela con el cigüeñal	Verificar torque especificado por el fabricante	Encargado de mantenimiento	8	1	6	48	Normal
		Ovalamiento del componente	1	Aceleraciones bruscas	Evitar acelerar bruscamente	Chofer	7	2	5	70	Normal
Cigüeñal	BV-MT-07	Demasiado juego	2	Pernos flojos	Verificación trimestral de ajuste de pernos	Encargado de mantenimiento	7	2	5	70	Normal
Cárter	BV-MT-11	Deformación	1	Sobrecarga	No exceder el límite de carga especificada	Chofer	8	2	3	48	Normal
			2	Aceleraciones intempestivas	Evitar acelerar bruscamente	Chofer	8	2	4	64	Normal

Tabla 61. Cuadro de correctivos para el Sistema de Distribución del Motor

Componente	Código	Modo de Fallo	Causas		Acciones correctivas	Responsable	G	F	D	IPR final	Estado
Filtro para el aire	BV-MTD-01	Obstrucción	1	Falta de mantenimiento	Cambio de filtro	Encargado de mantenimiento	8	1	4	32	Normal
Turbocompresor	BV-MTD-02	Avería del componente	2	Falta de lubricación de los	Elevar frecuencia de lubricación	Encargado de mantenimiento	8	2	5	80	Normal
		Obstrucción en la entrada de aire de la turbina	1	Suciedad en el aceite	Realizar análisis de aceite	Encargado de mantenimiento	7	2	4	56	Normal
Válvulas de admisión	BV-MTD-04	Válvula combada	5	Exceso de rpm del motor	Evitar velocidades excesivas	Chofer	7	2	5	70	Normal
		Rotura del componente	2	Asiento rajado o flojo	Verificar estado de componente	Encargado de mantenimiento	6	2	6	72	Normal
		Regulación inadecuada	1	Falta de mantenimiento	Regular válvulas periódicamente	Encargado de mantenimiento	7	2	4	56	Normal
Árbol de levas	BV-MTD-06	Desgaste del componente	3	Viscosidad inadecuada del aceite y aditivos	Seleccionar aceite recomendado por el fabricante	Encargado de mantenimiento	8	1	4	2	Normal
			4	Falta de lubricación	Adoptar intervalos de lubricación	Encargado de mantenimiento	9	2	4	72	Normal
Válvulas de escape	BV-MTD-09	Quemaduras	3	Circulación restringida de refrigerante	Verificar estado de componente	Encargado de mantenimiento	8	1	8	64	Normal
			5	Depósitos carbonosos en vástago y guía	Elevar frecuencia de inspección y limpieza de válvulas	Encargado de mantenimiento	6	3	5	90	Normal
		Válvula pegada en la guía	3	Lubricación insuficiente	Adoptar intervalos de lubricación	Encargado de mantenimiento	7	2	5	70	Normal
			4	Aceite sucio	Realizar análisis de aceite	Encargado de mantenimiento	6	2	5	60	Normal
		Válvula pandeada	6	Exceso de rpm del motor	Evitar velocidades excesivas	Chofer	7	2	5	70	Normal

Tabla 62. Cuadro de correctivos para el Sistema de Distribución del Motor

Componente	Código	Modo de Fallo	Causas		Acciones correctivas	Responsable	G	F	D	IPR final	Estado
Colector de escape	BV-MTD-10	Fuga de gases	2	Ductos en mal estado	Verificar estado de ductos frecuentemente y cambiar si es necesario	Encargado de mantenimiento	5	3	6	90	Normal
Silenciador del escape	BV-MTD-11	Taponamiento	1	Obstrucción en la salida de los gases de escape.	Limpieza periódica del silenciador	Encargado de mantenimiento	7	2	5	70	Normal
Catalizador de dos vías	BV-MTD-12	Taponamiento	1	Obstrucción en la salida de los gases de escape.	Limpieza periódica del silenciador y cambiar de ser necesario	Encargado de mantenimiento	7	2	5	70	Normal

Tabla 63. Cuadro de correctivos para el Sistema de Inyección de Combustible

Componente	Código	Modo de Fallo	Causas		Acciones correctivas	Responsable	G	F	D	IPR final	Estado
Depósito de combustible	BV-MTI-01	Presencia de agua	2	Combustible de mala calidad	Llenar el tanque de combustible en una estación confiable	Encargado de mantenimiento	4	4	5	80	Normal
Bomba de inyección	BV-MTI-04	Rotura de retenedores	2	Sobre-presión	Reemplazo del retenedor	Encargado de mantenimiento	6	3	5	90	Normal
		Suministro irregular de combustible	4	Pistón roto	Verificar estado de componentes de la bomba frecuentemente	Encargado de mantenimiento	7	2	5	70	Normal
Inyectores	BV-MTI-05	Obstrucción	1	Mala calidad del combustible	Inspección y limpieza periódica de inyectores	Encargado de mantenimiento	7	3	3	63	Normal

Tabla 64. Cuadro de correctivos para el Sistema de Lubricación del Motor

Componente	Código	Modo de Fallo	Causas		Acciones correctivas	Responsable	G	F	D	IPR final	Estado
Cárter	BV-MT-11	Deformación	1	Sobrecarga	No exceder el límite de carga especificada por el fabricante	Chofer	8	2	3	48	Normal
			2	Aceleraciones intempestivas	Evitar acelerar bruscamente	Chofer	8	2	4	64	Normal
Filtros de aceite	BV-MTL-01	Obstrucción	1	Mala calidad del aceite	Realizar análisis de aceite	Encargado de mantenimiento	8	2	5	80	Normal
Bomba de aceite	BV-MTL-02	Válvula de alivio defectuosa	1	Presencia de materiales extraños en la bomba	Elevar frecuencia de inspección del estado de válvula de alivio	Encargado de mantenimiento	7	2	5	70	Normal
		Fallo del engranaje	2	Lubricación inadecuada	Adoptar intervalos de mantenimiento recomendados	Encargado de mantenimiento	8	1	6	48	Normal
			3	Fatiga	Verificar constantemente la deformación del engranaje loco y cambiarlo si es necesario	Encargado de mantenimiento	7	3	4	84	Normal
		Fugas (Goteo)	3	Rotura de empaques	Cambio de empaques de la bomba de aceite	Encargado de mantenimiento	8	2	4	64	Normal
Enfriador de aceite	BV-MTL-03	Rotura del componente	2	Arranque en frío	Calentar el motor antes de su operación	Chofer	6	3	5	90	Normal
Cañerías y mangueras	BV-MTL-04	Obstrucción	1	Lubricante de mala calidad	Realizar análisis de aceite	Encargado de mantenimiento	8	2	5	80	Normal

Tabla 65. Cuadro de correctivos para el Sistema de Refrigeración del Motor

Componente	Código	Modo de Fallo	Causas		Acciones correctivas	Responsable	G	F	D	IPR final	Estado
Cámara de agua	BV-MTR-01	Cavitación	1	Utilización solo de agua como refrigerante	Selección del refrigerante recomendado por el fabricante	Encargado de mantenimiento	7	3	4	84	Normal
		Obstrucción	1	Refrigerante de mala calidad	Selección de refrigerante recomendado por el fabricante	Encargado de mantenimiento	8	3	4	96	Normal
Radiador	BV-MTR-02	Aletas dobladas	1	Mantenimiento inadecuado	Verificación frecuente del estado del radiador y cambiar de ser necesario	Encargado de mantenimiento	6	3	4	72	Normal
Bomba de agua	BV-MTR-03	Fugas	1	Desgaste del sello por impurezas	Reemplazar sellos desgastados	Encargado de mantenimiento	7	2	5	70	Normal
Termostato	BV-MTR-06	Exceso de presión dentro del componente	1	Juntas sopladas	Verificar estado de las juntas del termostato y repararlas si es necesario	Encargado de mantenimiento	5	3	5	75	Normal

Tabla 66. Cuadro de correctivos para el Sistema de Frenos

Componente	Código	Modo de Fallo	Causas		Acciones correctivas	Responsable	G	F	D	IPR final	Estado
Tambores	BV-FN-02	Tambores fisurados o deformados	1	Choque térmico	Evitar el contacto con agua cuando los tambores estén calientes.	Chofer	6	2	6	72	Normal
		Tambores cristalizados	1	Uso incorrecto del freno.	Capacitar a los conductores acerca del uso del freno	Encargado de mantenimiento	9	2	5	90	Normal
Zapatas	BV-FN-03	Elección incorrecta	1	Las zapatas utilizadas no son iguales para ambos lados del eje	Revisar que el tipo de zapatas utilizadas sean las adecuadas	Encargado de mantenimiento	8	1	9	72	Normal
Revestimiento del freno	BV-FN-04	Cristalización	1	Sobrecalentamiento	Capacitar a los conductores acerca del uso del freno.	Encargado de mantenimiento	9	1	8	72	Normal
Tanques de almacenamiento de aire	BV-FN-14	Fuga de aire	1	Falta de mantenimiento	Verificar frecuentemente el estado del tanque de	Encargado de mantenimiento	5	3	5	75	Normal
Tuberías y cañerías	BV-FN-19	Fuga de aire	1	Falta de mantenimiento	Revisión visual periódica de las tuberías, con agua jabonosa	Encargado de mantenimiento	6	2	8	96	Normal
Ajustadores automáticos	BV-FN-24	Avería	6	Torque de ajuste excesivo	Aplicar torque de apriete recomendado por el fabricante	Encargado de mantenimiento	6	3	4	72	Normal

Tabla 67. Plan de Mantenimiento Propuesto para el Sistema de Transmisión

PLAN DE MANTENIMIENTO																							
R : Reemplazar	DIARIO	2 000,00 Km	6 000,00 km	10 000,00 km	15 000,00 km	20 000,00km	25 000,00km	30 000,00 km	35 000,00 km	40 000,00 km	45 000,00 km	50 000,00 km	55 000,00 km	60 000,00 km	65 000,00 km	70 000,00 km	75 000,00 km	80 000,00 km	85 000,00 km	90 000,00 km	95 000,00 km	100 000,00 km	
L : Limpiar																							
I : Inspeccionar y Verificar																							
A : Ajustar																							
E : Engrase																							
SISTEMA DE TRANSMISIÓN																							
Caja de cambios mecánico (aceite)		R				R				R				R				R				R	
Reten posterior y delantero																	R						
Reten de comandos (palanca de cambios)																	R						
Fugas y nivel de aceite		I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
Rodamientos intermedios de ejes		I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	
Crucetas, cardanes, yugos		I/A		I/A		I/A		I/A		I/A		I/A		I/A		I/A		I/A		I/A		I/A	
Articulaciones de palanca de cambios		I/E		I/E		I/E		I/E		I/E		I/E		I/E		I/E		I/E		I/E		I/E	
Aceite de corona (nivel, fugas)	I	R	I	I	I	R	I	I	I	R	I	I	I	R	I	I	I	R	I	I	I	R	
Cambio de retenes de ruedas					R			R			R			R			R			R			
Engrase de rodamientos de rueda post y delanteras					I/E			I/E			I/E			I/E			I/E			I/E			
Líquido (nivel, fugas)	I	R	I	I	I	I	I	R	I	I	I	I	I	R	I	I	I	I	I	R	I	I	
Juego de pedal		I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	I/A	
Kit de embrague			L	I	L	I	L	I	L	I	L	I/R	L	I	L	I	L	I	L	I	L	I/R	
Bombín primario y secundario * (servoembrague)		I		I		I		I	I		I	I/R		I		I		I		I		I	

Tabla 68. Plan de Mantenimiento Propuesto para el Sistema de Chasis

SISTEMA CHASIS																					
Secador de aire																				R	
Retardador electromagnético		I		I/L		I/L		I/L		I/L		I/L		I/L		I/L		I/L		I/L	
Compresora				I		I		I		I		I		I		I		I		I	
Pedal de la bomba de freno	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Funcionamiento del freno en	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Frenos de todas las ruedas		I/R		I/R		I/R		I/R		I/R		I/R		I/R		I/R		I/R		I/R	
Fugas de aire	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Purgado de tanques de aire	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Rachets posteriores y delanteros		I						I						I				I			
Componentes internos								I						I						I	
Aceite y Filtro	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	R	I	I	I	I
Grietas, abolladuras o		I		I		I		I		I		I		I		I		I		I	
Alineamiento general de	I	A	I	I	I	I	I	A	I	I	I	I	I	A	I	I	I	I	I	A	I
Juego de terminales		I						I						I						I	
Pines y bocinas de dirección		I/A						I/A						I/A						I/A	
Brazo de accionamiento		I/A						I/A						I/A						I/A	
Giro de la volante		I/A	I/A		I/A		I/A		I/A		I/A		I/A		I/A		I/A		I/A		I/A
Vibraciones, desgaste y daños	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Todos los componentes de la		I/A			I/A		I/A		I/A		I/A		I/A		I/A		I/A		I/A		I/A
Puntos de Lubricación		E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
Revisión de ajuste, puntos de		I/A						I/A						I/A						I/A	
Revisión de grietas en el soporte		I						I						I						I	
Revisión de amortiguadores		I						I						I						I	
Revisión de los pernos de sujeción		I						I						I						I	
Revisión de los soportes de la		I				I				I				I				I			I
Revisión del montaje de muelles		I						I						I						I	

Tabla 69. Plan de Mantenimiento Propuesto para el Sistema Electrico

SISTEMA ELECTRICO																					
Líquido de baterías	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Revisar la densidad específica de las baterías		I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Protección, conexión y de los cables		I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Luces del vehículo	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Mantenimiento del														I							
Mantenimiento del alternador														I							
Diagnóstico computarizado							I							I						I	

Tabla 70. Plan de Mantenimiento Propuesto para el Sistema Motor

MOTOR																						
Aceite y Filtro	I	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
Filtro Crankcase (Elemento respirador)		R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
Filtro de Combustible (GAS)		R				R				R				R				R				R
Filtro de Aire (primario y secundario)				R		R		R		R		R		R		R		R		R		R
Bujías						R				R				R				R				R
Cables de Bujía							R				R				R				R			
Faja de Ventilador, Auxiliares		I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	R	I	I	I	I	I	I	I	I
Faja de Alternador		I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	R	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Refrigerante y Filtro	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	R	I	I	I	I	I
Bobinas de encendido									I												I	
Fugas aceite, refrigerante, combustible	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Indicador de Filtro de Aire	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Regulación de Válvulas						A				A				A				A				A
Radiador e inter-cooler		I				I				I				I				I				I
Mangueras de tuberías, abrazaderas de	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Bomba de agua						I				I				I				I				I
Ventilador de refrigeración (grietas)	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Tubo de succión del cárter	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Soporte de motor	I/A					I/A				I/A				I/A				I/A				I/A
Rodamientos de cubo de radiador		I		I		I		I		I		I		I		I		I		I		I

Tabla 71. Plan de Mantenimiento Propuesto para el Sistema de Frenos

SISTEMA DE FRENOS																					
Líquido de frenos	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Freno de estacionamiento	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Recorrido y juego del pedal de freno	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Desgaste en las pastillas y discos delanteros	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Desgaste en las balatas y tambor traseros	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I

3.7 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 buses de Transporte Masivo “Wayna Bus”, 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 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 por sus escalas:

Escala horizontal: Edad o tiempo (t) logarítmica.

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

3.8 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 y 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.

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

Donde:

t = Tiempo de falla

η = característica de vida parámetro escala

β = Parámetro forma o pendiente (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).

$e = 2.718281828$, base del logaritmo natural.

η = es el parámetro de vida y es igual al tiempo promedio para la falla²¹.

3.9 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 siguientes ecuaciones: Tiempo medio entre fallos (MTBF), Tiempo medio de reparación (MTTR), Disponibilidad y Tasa de fallos.

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 planteada anteriormente, la misma nos proporcionará valores que especifican el tiempo en las cuales permanecerá un bus sin averías cuando trabaje en las condiciones 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 $\beta = 1.0$, $MTBF = \eta$, es una distribución exponencial
- Cuando $\beta > 1.0$, MTBF es menor que η
- Cuando $\beta < 1.0$, MTBF es mayor que η
- Cuando $\beta = 0.5$, $MTBF = 2 \eta$ ²²

Entonces de manera general podemos generalizar:

- $\beta < 1$ Indica mortalidad infantil.

²¹ Murillo William, Confiabilidad y Análisis Estadístico para la predicción de fallas RCM INGENIERIA, (2002).

²² Murillo William, Confiabilidad y Análisis Estadístico para la predicción de fallas RCM INGENIERIA, (2002).

- $\beta > 1$ Indica falla por desgaste.
- $1 < \beta < 4$ Indica falla por deterioro temprano estas son fallas de modo mecánico.
- MTTR:

Es la medida de la distribución del tiempo de reparación de un bus.

Este indicador mide la efectividad en restituir al bus 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 el bus esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinada. 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 indica cual es la tasa de fallos que ha presentado por el bus durante su lapso de funcionamiento en este caso desde el 1 enero hasta 30 de diciembre del 2018.

3.10 Graficas de la distribución de Weibull y sus respectivos indicadores de Mantenimiento

Como se tiene una cantidad de 60 buses, es necesario determinar la cantidad mínima de buses para los cuales realizar el análisis.

Una forma sencilla de determinar esta cantidad es utilizando la Regla de Sturges.

La Regla de Sturges es un criterio utilizado para determinar el número de clases o intervalos que son necesarios para representar fielmente los datos.

La Regla de Sturges nos propone que dadas N observaciones, el número k de intervalos viene dado por:

$$k = 1 + 3,322 * \log_{10}(N)$$

Donde:

- N es el número de muestras observadas.
- k es el número óptimo de clases o intervalos.

A partir del número de intervalos, se puede calcular la amplitud que estos van a tener; es decir, la anchura de cada barra representada en el histograma de frecuencias:

$$A = \frac{(\text{Límite Superior-Límite Inferior})}{K}$$

Calculando tenemos:

N = 60 buses

$$k = 1 + 3,322 * \log_{10}(60)$$

$$k = 6,9070$$

Calculando la amplitud tenemos:

$$A = \frac{(60 - 1)}{6,9070}$$

$$A = 8,54$$

Entonces la cantidad de buses necesario para representar a la totalidad de los buses del Sistema de Transporte Masivo “Wayna Bus” es de 8, para lo cual se seleccionó aleatoriamente los siguientes buses:

- BV-01, Placa 3805-FCU
- BV-04, Placa 3821-RDX
- BV-11, Placa 3821-RBN
- BV-18, Placa 3826-IPX
- BV-26, Placa 3826-IZA
- BV-30, Placa 3826-INS
- BV-43, Placa 3849-XED
- BV-54, Placa 3849-UGI

En la graficas de distribución de Weibull se analizará la fiabilidad de bus, modelando datos de fiabilidad que permitan interpretar cual es la fase de vida útil.

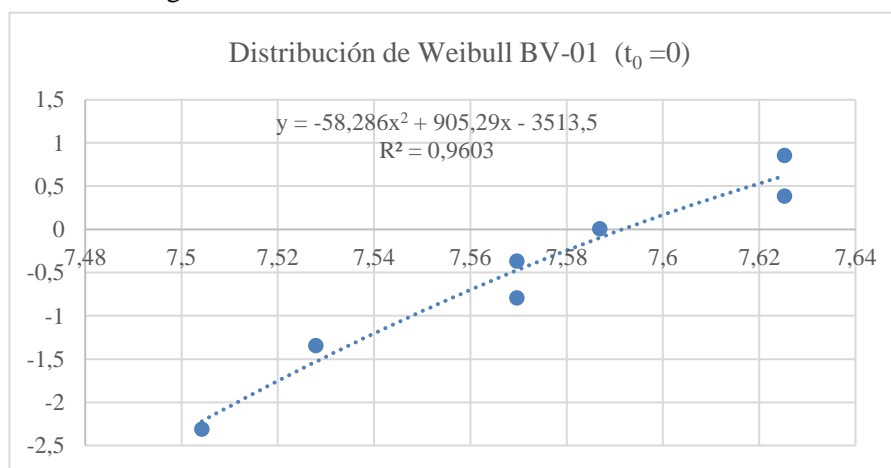
Para establecer los gráficos de distribución de Weibull se requiere de la siguiente información:

- 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, permitiendo plantear tablas con el propósito de graficar y obtener una distribución de Weibull.

En la figura 23 se grafica la distribución de Weibull para el bus BV-01.

Figura 23. Distribución de Weibull del bus BV-01



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 72 muestra los parámetros que definen la distribución de Weibull del bus BV-01, en la cual debe interpretarse el comportamiento del bus, si se obtiene el parámetro β . En dicha tabla encontramos los parámetros que definen la función de la distribución de Weibull, 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 la figura correspondiente.

Tabla 72. Parámetros que definen la distribución de Weibull de BV-01

Total de horas =	13622,82 hrs.
Nº de fallas =	7
β =	23,09
b =	7,59364588
η =	1987,661
R =	0,975
R^2 =	0,95146538
MTBF =	1946,11714 hrs.
MTTR =	37,7142857 hrs.
Disponibilidad =	0,98062075
Tasa de fallo =	0,00051384 fallas/hrs

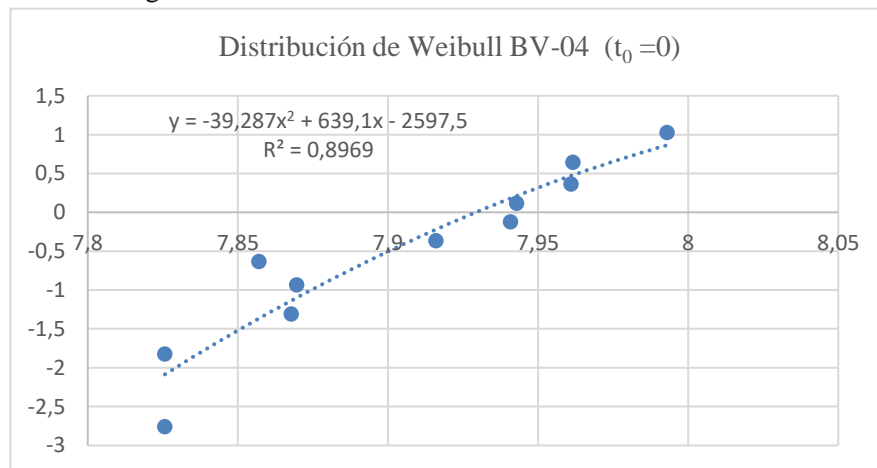
Fuente: Elaboración propia

Como el valor β es 23,09 se puede concluir que las fallas del bus BV-01 se deben a desgaste de los diferentes sistemas particularmente el sistema de transmisión.

En la Tabla 72 se calcula los indicadores de mantenimiento del BV-01, 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 0,98% y una tasa de fallo de 0,00051384 fallas/día.

En la figura 24 se grafica la distribución de Weibull para el bus BV-04.

Figura 24. Distribución de Weibull del bus BV-04



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 73 muestra los parámetros que definen la distribución de Weibull del bus BV-04, en la cual debe interpretarse el comportamiento del bus, si se obtiene el parámetro β . En dicha tabla encontramos los parámetros que definen la función de la distribución de Weibull, 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.

Tabla 73. Parámetros que definen la distribución de Weibull de BV-04

Total de horas =	29882,0025 hrs.
N° de fallas =	11
β =	18,15
b =	7,91749925
η =	2791,564
R =	0,855
R^2 =	0,73045727
MTBF =	2716,54568 hrs.
MTTR =	34,9090909 hrs.
Disponibilidad =	0,98714946
Tasa de fallo =	0,00036811 fallas/hrs

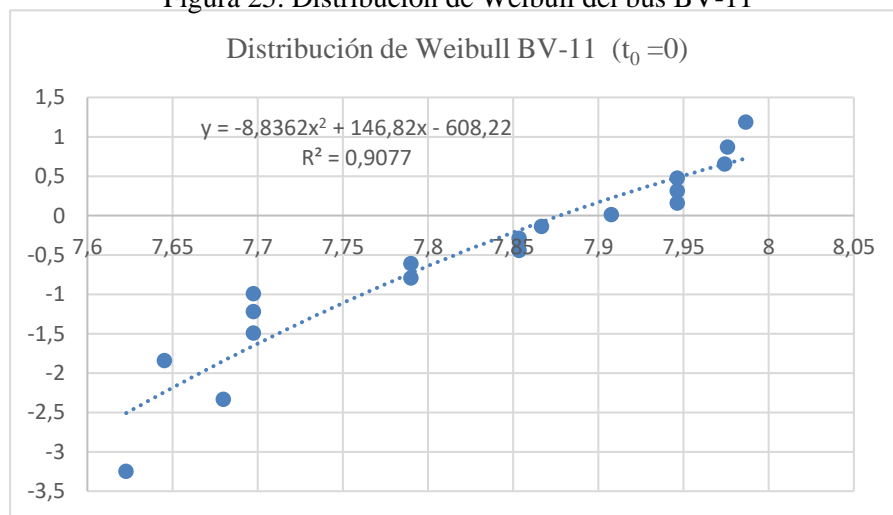
Fuente: Elaboración propia

Como el valor β es 18,15 se puede concluir que las fallas del bus BV-04 se deben a desgaste de los diferentes sistemas.

En la Tabla 73 se calcula los indicadores de mantenimiento del BV-04, 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 0,98% y una tasa de fallo de 0,00036811 fallas/día.

En la figura 25 se grafica la distribución de Weibull para el bus BV-11.

Figura 25. Distribución de Weibull del bus BV-11



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 74 muestra los parámetros que definen la distribución de Weibull del bus BV-11, en la cual debe interpretarse el comportamiento del bus, si se obtiene el parámetro β . En dicha tabla 74 encontramos los parámetros que definen la función de la distribución de Weibull, 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 la figura correspondiente.

Tabla 74. Parámetros que definen la distribución de Weibull de BV-11

Total de horas =	45449,06 hrs.
N° de fallas =	18
β =	8,75
b =	7,88227288
η =	2666,251
R =	0,949
R ² =	0,90054256
MTBF =	2524,94778 hrs.
MTTR =	32 hrs.
Disponibilidad =	0,98732647
Tasa de fallo =	0,00039605 fallas/hrs

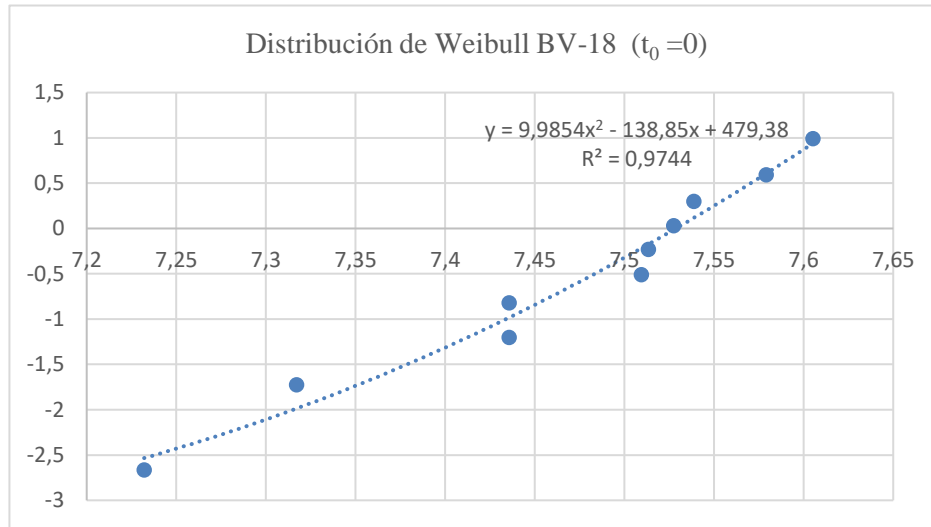
Fuente: Elaboración propia

Como el valor β es 8,75 se puede concluir que las fallas del bus BV-11 se deben a desgaste de los diferentes sistemas.

En la Tabla 74 se calcula los indicadores de mantenimiento del BV-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 0,98% y una tasa de fallo de 0,00039605 fallas/día.

En la figura 26 se grafica la distribución de Weibull para el bus BV-18.

Figura 26. Distribución de Weibull del bus BV-18



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 75 muestra los parámetros que definen la distribución de Weibull del bus BV-18, en la cual debe interpretarse el comportamiento del bus, si se obtiene el parámetro β . En dicha tabla encontramos los parámetros que definen la función de la distribución de Weibull, 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.

Tabla 75. Parámetros que definen la distribución de Weibull de BV-18

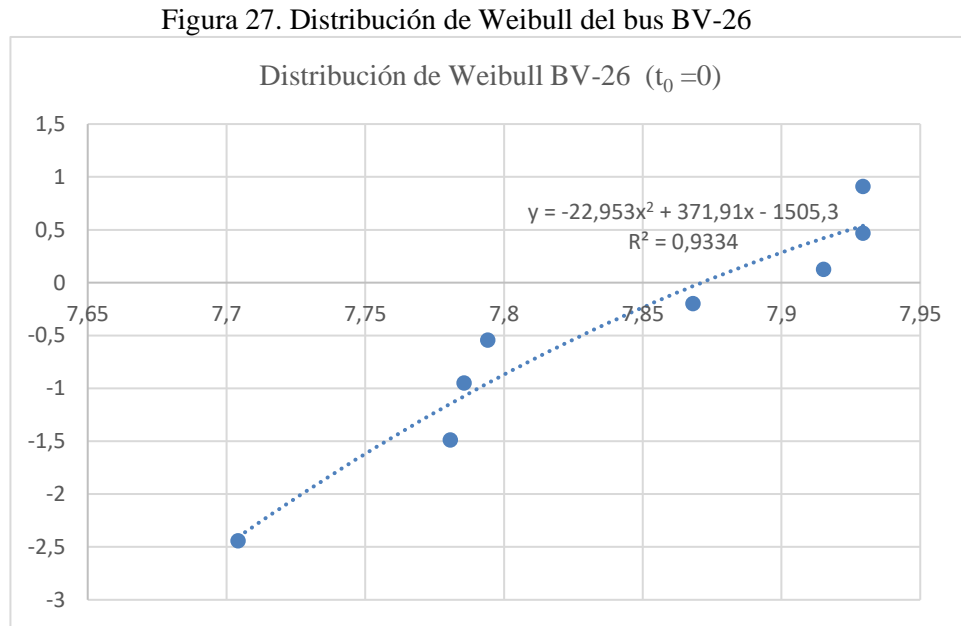
Total de horas =	17640,565 hrs.
N° de fallas =	10
β =	8,75
b =	7,5233805
η =	1854,817
R =	0,981
R^2 =	0,96152097
MTBF =	1764,0565 hrs.
MTTR =	24 hrs.
Disponibilidad =	0,98639499
Tasa de fallo =	0,00056688 fallas/hrs

Fuente: Elaboración propia

Como el valor β es 8,75 se puede concluir que las fallas del bus BV-18 se deben a desgaste de los diferentes sistemas.

En la Tabla 75 se calcula los indicadores de mantenimiento del BV-18, 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 0,98% y una tasa de fallo de 0,00056688 fallas/día.

En la figura 27 se grafica la distribución de Weibull para el bus BV-26.



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 76 muestra los parámetros que definen la distribución de Weibull del bus BV-26, en la cual debe interpretarse el comportamiento del bus, si se obtiene el parámetro β . En dicha tabla encontramos los parámetros que definen la función de la distribución de Weibull, 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 la figura correspondiente.

Tabla 76. Parámetros que definen la distribución de Weibull de BV-26

Total de horas =	20218,02 hrs.
N° de fallas =	8
β =	12,4788168
b =	7,0273613
η =	2642,69219
R =	0,95959304
R ² =	0,9208188
MTBF =	2527,2525 hrs.
MTTR =	24 hrs.
Disponibilidad =	0,99050352
Tasa de fallo =	0,00039569 fallas/hrs

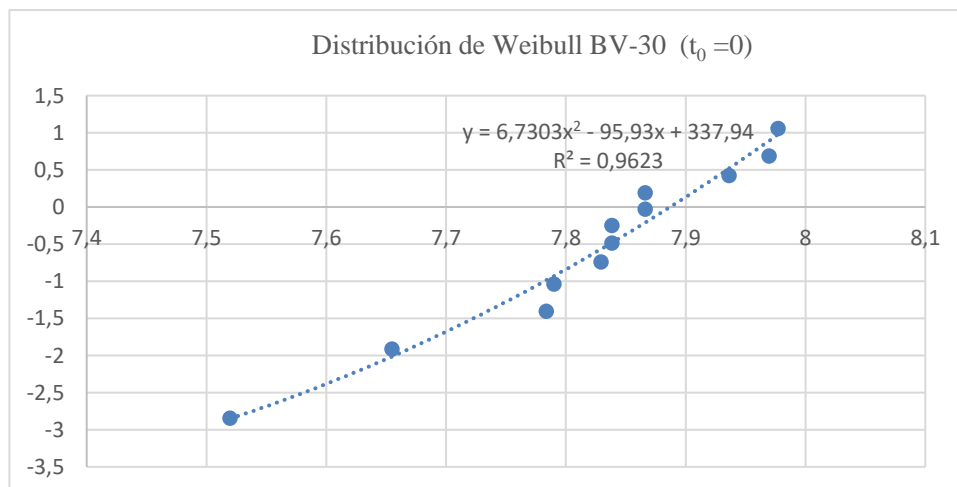
Fuente: Elaboración propia

Como el valor β es 12,4788 se puede concluir que las fallas del bus BV-26 se deben a desgaste de los diferentes sistemas.

En la Tabla 76 se calcula los indicadores de mantenimiento del BV-26, 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 0,99% y una tasa de fallo de 0,00039569 fallas/día.

En la figura 28 se grafica la distribución de Weibull para el bus BV-30.

Figura 28. Distribución de Weibull del bus BV-30



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 77 muestra los parámetros que definen la distribución de Weibull del bus BV-30, en la cual debe interpretarse el comportamiento del bus, si se obtiene el parámetro β . En dicha tabla encontramos los parámetros que definen la función de la distribución de Weibull, 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.

Tabla 77. Parámetros que definen la distribución de Weibull de BV-30

Total de horas =	30173,03 hrs.
N° de fallas =	12
β =	8,49
b =	7,88153199
η =	2656,528
R =	0,974
R ² =	0,94800187
MTBF =	2514,41917 hrs.
MTTR =	24 hrs.
Disponibilidad =	0,99045505
Tasa de fallo =	0,00039771 fallas/hrs

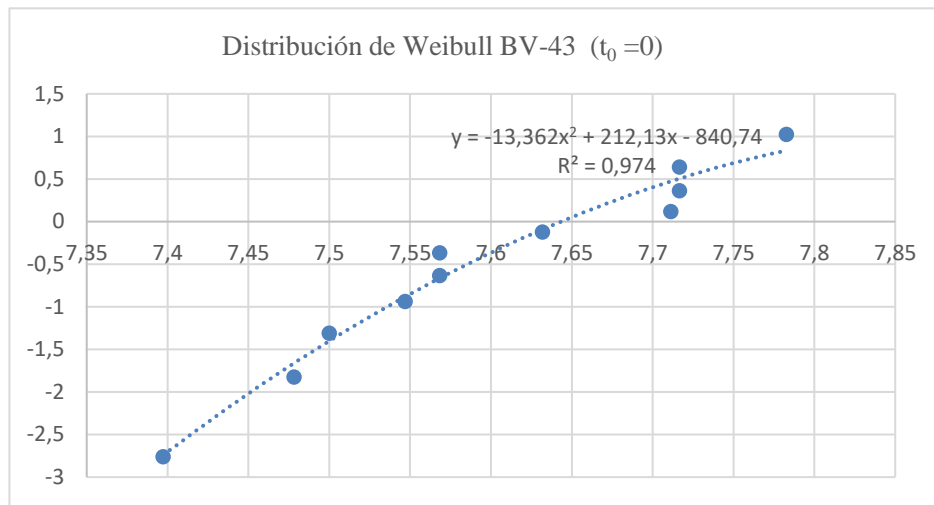
Fuente: Elaboración propia

Como el valor β es 8,49 se puede concluir que las fallas del bus BV-30 se deben a desgaste de los diferentes sistemas.

En la Tabla 77 se calcula los indicadores de mantenimiento del BV-30, 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 0,99% y una tasa de fallo de 0,00039771 fallas/día.

En la figura 29 se grafica la distribución de Weibull para el bus BV-43.

Figura 29. Distribución de Weibull del bus BV-43



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 78 muestra los parámetros que definen la distribución de Weibull del bus BV-43, en la cual debe interpretarse el comportamiento del bus, si se obtiene el parámetro β . En dicha tabla encontramos los parámetros que definen la función de la distribución de Weibull, 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.

Tabla 78. Parámetros que definen la distribución de Weibull de BV-43

Total de horas =	22160,9 hrs.
N° de fallas =	11
β =	9,11
b =	7,65654827
η =	2120,657
R =	0,974
R^2 =	0,9492909
MTBF =	2014,62727 hrs.
MTTR =	26,1818182 hrs.
Disponibilidad =	0,98700414
Tasa de fallo =	0,00049637 fallas/hrs

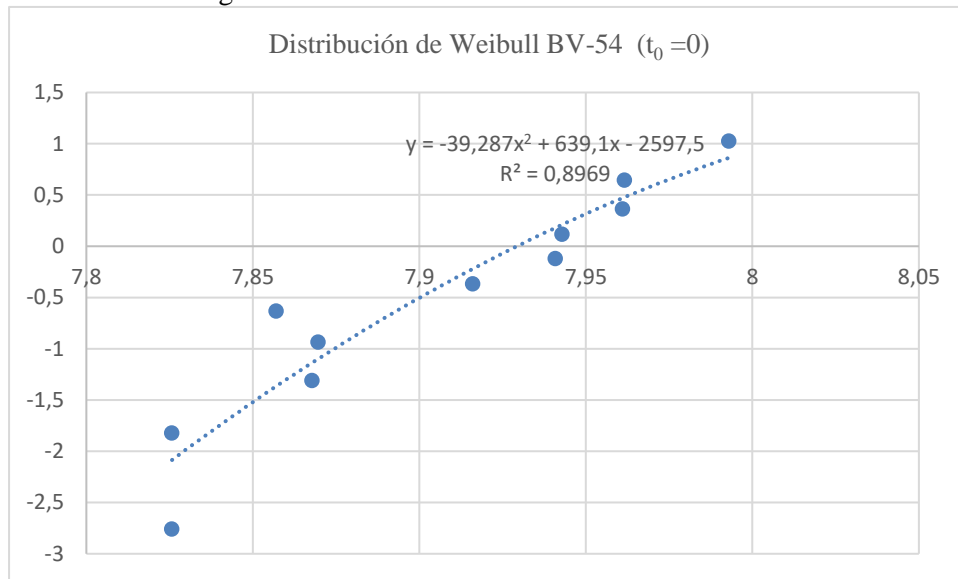
Fuente: Elaboración propia

Como el valor β es 9,11 se puede concluir que las fallas del bus BV-43 se deben a desgaste de los diferentes sistemas.

En la Tabla 78 se calcula los indicadores de mantenimiento del BV-43, 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 0,98% y una tasa de fallo de 0,00049637 fallas/día.

En la figura 30 se grafica la distribución de Weibull para el bus BV-54.

Figura 30. Distribución de Weibull del bus BV-54



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 79 muestra los parámetros que definen la distribución de Weibull del bus BV-54, en la cual debe interpretarse el comportamiento del bus, si se obtiene el parámetro β .

En dicha tabla encontramos los parámetros que definen la función de la distribución de Weibull, 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 la figura correspondiente.

Tabla 79. Parámetros que definen la distribución de Weibull de BV-54

Total de horas =	36699,6075 hrs.
N° de fallas =	11
β =	3,64
b =	8,17001184
η =	3783,684
R =	0,726
R ² =	0,52665317
MTBF =	3336,32795 hrs.
MTTR =	26,1818182 hrs.
Disponibilidad =	0,9921525
Tasa de fallo =	0,00029973 fallas/hrs

Fuente: Elaboración propia

Como el valor β es 3,64 se puede concluir que las fallas del bus BV-54 se deben a desgaste de los diferentes sistemas.

En la Tabla 79 se calcula los indicadores de mantenimiento del BV-54, 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 0,99% y una tasa de fallo de 0,00029973 fallas/día.

Capítulo 4

Resultados

Los buses del Sistema de Transporte Masivo “Wayna Bus” son importantes para el Gobierno Autónomo Municipal de El Alto, debido al servicio que prestan a la ciudadanía.

El Gobierno Autónomo Municipal de El Alto consta de vehículos modernos, los mismos que no poseen un historial de mantenimiento correcto, por estas razones se analizan una muestra, del total, de los buses que registren algunas falencias para su respectivo análisis.

Pudiendo así contabilizar el número de fallos que presenta cada unidad y a la vez obtener el tiempo de buen funcionamiento y tiempo de reparación.

4.1 Resultados

Una vez realizados todos los cálculos y análisis podemos observar que las fallas por desgaste de los buses de transporte masivo “Wayna Bus” se deben a las siguientes causas:

Tabla 80. Causas de fallas de los buses

CAUSA DE FALLO
DESGASTE Y ENVEJECIMIENTO
MONTAJE INADECUADO
MALA OPERACIÓN DEL CHOFER
REPUESTOS DE MALA CALIDAD
EXCESO DE VIBRACIONES
FALTA DE CONOCIMIENTO

Fuente: Elaboración propia

Así también como causa de falla por desgaste se puede indicar el Plan de Mantenimiento realizado en los diferentes kilometrajes de recorrido para el sector Urbano, el cual se aplicó en la flota de buses a inicios de su operación de acuerdo a la Tabla 81.

Tabla 81. Cuadro de Mantenimiento recomendado por el fabricante

MANTENIMIENTO “WAYNA BUS”		
REVISIÓN	GRUPO I CARRETERA	GRUPO II URBANO
Asentamiento	Entre 1.000 y 5.000 Km	Entre 1.000 y 5.000 Km
L	A cada 5.000 Km	A cada 5.000 Km
MP1	A cada 25.000 Km	A cada 20.000 Km
MP2	A cada 50.000 Km	A cada 40.000 Km
MP3	A cada 125.000 Km	A cada 100.000 Km
MP4	A cada 200.000 Km	A cada 160.000 Km
MP5	A cada 250.000 Km	A cada 200.000 Km

Fuente: Manual de Garantía y Mantenimiento de los buses “Wayna Bus”

Este Plan de Mantenimiento se constituye de:

- Revisión de entrega, hecha por el Distribuidor antes de la entrega del vehículo al cliente.
- Operaciones diarias, que son operaciones de verificación que debe hacer el cliente, diariamente, antes de colocar el vehículo en funcionamiento.
- Revisión de Asentamiento, ejecutada por el Distribuidor Autorizado entre 1.000 y 5.000 km.
- Revisiones periódicas (L. MP1. MP2. MP3. MP4 y MP5), con excepción de la Revisión “L”, que puede ser realizada por el propio Cliente, siempre que posea la experiencia y el conocimiento necesarios para ejecutar el servicio, las otras revisiones a hacer en Distribuidor Autorizado, en los kilometrajes indicados (L – Lubricación, MP1...MP5 – Mantenimiento Preventivo 1...5)

Este Plan de Mantenimiento está desarrollado de acuerdo a la Tabla 82, de la siguiente manera:

Tabla 82. Tabla de aplicación de revisiones basadas en el kilometraje recorrido

GRUPO II - URBANO					
km	Revisión	Serv. Complem.	km	Revisión	Serv. Complem.
1.000 a 5.000	Asentamiento	TM/OD	215.000	L	
5.000	L		220.000	MP1	
10.000	L		225.000	L	
15.000	L		230.000	L	
20.000	MP1		235.000	L	
25.000	L		240.000	MP2	OD/TM
30.000	L		245.000	L	
35.000	L		250.000	L	
40.000	MP2		255.000	L	
45.000	L		260.000	MP1	
50.000	L		265.000	L	
55.000	L		270.000	L	OR
60.000	MP1	TM	275.000	L	
65.000	L		280.000	MP2	
70.000	L		285.000	L	
75.000	L		290.000	L	
80.000	MP2	OD	295.000	L	
85.000	L		300.000	MP3	TM
90.000	L	OR	305.000	L	
95.000	L		310.000	L	
100.000	MP3		315.000	L	
105.000	L		320.000	MP4	OD
110.000	L		325.000	L	
115.000	L		330.000	L	
120.000	MP2	TM	335.000	L	
125.000	L		340.000	MP1	
130.000	L		345.000	L	
135.000	L		350.000	L	
140.000	MP1		355.000	L	
145.000	L		360.000	MP2	OR/TM
150.000	L		365.000	L	
155.000	L		370.000	L	
160.000	MP4	OD	375.000	L	
165.000	L		380.000	MP1	
170.000	L		385.000	L	
175.000	L		390.000	L	
180.000	MP1	OR/TM	395.000	L	
185.000	L		400.000	MP5	OD
190.000	L		405.000	L	
195.000	L		410.000	L	
200.000	MP5		415.000	L	
205.000	L		420.000	MP1	TM
210.000	L		425.000	L	

TM = Cambio de aceite de la caja de cambio mecánica / OD = Cambio de aceite del diferencial

OR = Cambio de aceite del retarder

Fuente: Manual de Garantía y Mantenimiento de los buses “Wayna Bus”

Tabla 82 - 1. Tabla de aplicación de revisiones basadas en el kilometraje recorrido

GRUPO II - URBANO					
km	Revisión	Serv. Complem.	km	Revisión	Serv. Complem.
430.000	L		645.000	L	
435.000	L		650.000	L	
440.000	MP2		655.000	L	
445.000	L		660.000	MP1	TM
450.000	L	OR	665.000	L	
455.000	L		670.000	L	
460.000	MP1		675.000	L	
465.000	L		680.000	MP2	
470.000	L		685.000	L	
475.000	L		690.000	L	
480.000	MP4	OD/TM	695.000	L	
485.000	L		700.000	MP3	
490.000	L		705.000	L	
495.000	L		710.000	L	
500.000	MP3		715.000	L	
505.000	L		720.000	MP2	OR/OD/TM
510.000	L		725.000	L	
515.000	L		730.000	L	
520.000	MP2		735.000	L	
525.000	L		740.000	MP1	
530.000	L		745.000	L	
535.000	L		750.000	L	
540.000	MP1	OR/TM	755.000	L	
545.000	L		760.000	MP2	
550.000	L		765.000	L	
555.000	L		770.000	L	
560.000	MP2	OD	775.000	L	
565.000	L		780.000	MP1	TM
570.000	L		785.000	L	
575.000	L		790.000	L	
580.000	MP1		795.000	L	
585.000	L		800.000	MP5	OD
590.000	L		805.000	L	
595.000	L		810.000	L	OR
600.000	MP5	TM	815.000	L	
605.000	L		820.000	MP1	
610.000	L		825.000	L	
615.000	L		830.000	L	
620.000	MP1		835.000	L	
625.000	L		840.000	MP2	TM
630.000	L	OR	845.000	L	
635.000	L		850.000	L	
640.000	MP4	OD	855.000	L	

TM = Cambio de aceite de la caja de cambio mecánica / OD = Cambio de aceite del diferencial
 OR = Cambio de aceite del retarder

Fuente: Manual de Garantía y Mantenimiento de los buses “Wayna Bus”

Tabla 82-2. Tabla de aplicación de revisiones basadas en el kilometraje recorrido

GRUPO II - URBANO					
km	Revisión	Serv. Complem.	km	Revisión	Serv. Complem.
860.000	MP1		935.000	L	
865.000	L		940.000	MP1	
870.000	L		945.000	L	
875.000	L		950.000	L	
880.000	MP2	OD	955.000	L	
885.000	L		960.000	MP4	OD/TM
890.000	L		965.000	L	
895.000	L		970.000	L	
900.000	MP3	OR/TM	975.000	L	
905.000	L		980.000	MP1	
910.000	L		985.000	L	
915.000	L		990.000	L	OR
920.000	MP2		995.000	L	
925.000	L		1.000.000	MP5	
930.000	L				

TM = Cambio de aceite de la caja de cambio mecánica / OD = Cambio de aceite del diferencial
OR = Cambio de aceite del retarder

Fuente: Manual de Garantía y Mantenimiento de los buses “Wayna Bus”

Considerando el análisis realizado se propone un Plan de Mantenimiento, basado en los parámetros determinados y que también considera las condiciones de mantenimiento de los buses, el cual se observa en la Tabla 83.

Tabla 83. Tabla de Mantenimiento Propuesto

MANTENIMIENTO PROPUESTO “WAYNA BUS”	
REVISIÓN	GRUPO II (URBANO)
L	A cada 5.000 Km
MP1	A cada 10.000 Km
MP2	A cada 20.000 Km
MP3	A cada 50.000 Km
MP4	A cada 80.000 Km
MP5	A cada 100.000 Km

Fuente: Elaboración propia

Tabla 84. Plan de Mantenimiento Propuesto

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PROPUESTO							
KM	MP-1	MP-2	MP-3	MP-4	MP-5	MANTENIMIENTO DE RELEVANCIA	MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LUBRICACIÓN
0	MP-1					ASENTAMIENTO	5.000
10.000	MP-1					MP-1	15.000
20.000	MP-1	MP-2				MP-2	25.000
30.000	MP-1					MP-1	35.000
40.000	MP-1	MP-2				MP-2	45.000
50.000	MP-1		MP-3			MP-3	55.000
60.000	MP-1	MP-2				MP-2	65.000
70.000	MP-1					MP-1	75.000
80.000	MP-1	MP-2		MP-4		MP-4	85.000
90.000	MP-1					MP-1	95.000
100.000	MP-1	MP-2	MP-3		MP-5	MP-5	105.000
110.000	MP-1					MP-1	115.000
120.000	MP-1	MP-2				MP-2	125.000
130.000	MP-1					MP-1	135.000
140.000	MP-1	MP-2				MP-2	145.000
150.000	MP-1		MP-3			MP-3	155.000
160.000	MP-1	MP-2		MP-4		MP-4	165.000
170.000	MP-1					MP-1	175.000
180.000	MP-1	MP-2				MP-2	185.000
190.000	MP-1					MP-1	195.000
200.000	MP-1	MP-2	MP-3		MP-5	MP-5	205.000
210.000	MP-1					MP-1	215.000
220.000	MP-1	MP-2				MP-2	225.000
230.000	MP-1					MP-1	235.000
240.000	MP-1	MP-2		MP-4		MP-4	245.000
250.000	MP-1		MP-3			MP-3	255.000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 84-1. Plan de Mantenimiento Propuesto

260.000	MP-1	MP-2				MP-2	265.000
270.000	MP-1					MP-1	275.000
280.000	MP-1	MP-2				MP-2	285.000
290.000	MP-1					MP-1	295.000
300.000	MP-1	MP-2	MP-3		MP-5	MP-5	305.000
310.000	MP-1					MP-1	315.000
320.000	MP-1	MP-2		MP-4		MP-4	325.000
330.000	MP-1					MP-1	335.000
340.000	MP-1	MP-2				MP-2	345.000
350.000	MP-1		MP-3			MP-3	355.000
360.000	MP-1	MP-2				MP-2	365.000
370.000	MP-1					MP-1	375.000
380.000	MP-1	MP-2				MP-2	385.000
390.000	MP-1					MP-1	395.000
400.000	MP-1	MP-2	MP-3	MP-4	MP-5	MP-5	405.000
410.000	MP-1					MP-1	415.000
420.000	MP-1	MP-2				MP-2	425.000
430.000	MP-1					MP-1	435.000
440.000	MP-1	MP-2				MP-2	445.000
450.000	MP-1		MP-3			MP-3	455.000
460.000	MP-1	MP-2				MP-2	465.000
470.000	MP-1					MP-1	475.000
480.000	MP-1	MP-2		MP-4		MP-4	485.000
490.000	MP-1					MP-1	495.000
500.000	MP-1	MP-2	MP-3		MP-5	MP-5	5.000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 85. Servicios de Mantenimiento Preventivo Propuesto

SISTEMA MOTOR	MP-1	MP-2	MP-3	MP-4	MP-5	L
Aceite y elemento filtrante: Cambio	X	X	X	X	X	X
Sistema de enfriamiento: Verificar nivel del líquido y completar con la mezcla de agua y aditivo VW si es necesario. Verificar fugas	X	X	X	X	X	X
Filtro de combustible: Cambio		X		X	X	X
Embrague electromagnético: Verificación de estado					X	
Tanque de combustible: Limpieza interna (bomba de recirculación)		X		X	X	
Filtro de aire: Verificación de estado	X	X	X	X	X	X
Correas del motor: Verificación de estado y tensión	X	X	X	X	X	
Fijación del motor: Verificación de estado y sujeción	X	X	X	X	X	
Tubería de admisión entre el filtro de aire y el motor: Verificación de estado y sujeción	X	X	X	X	X	
Sistema de escape: Verificación de estado y sujeción	X	X	X	X	X	
Sistema Eléctrico: Verificar la fijación de los terminales del motor de arranque y alternador, baterías y conexiones hacia masa. Verificar que los cables no están en contacto con partes metálicas del vehículo que pueda ocasionar cortocircuito	X	X	X	X	X	
Lectura de los códigos de fallas: Leer los códigos de fallas (Equipo VCO-950)	X	X	X	X	X	X

Fuente: Elaboración propia

Tabla 85 - 1. Servicios de Mantenimiento Preventivo Propuesto

SISTEMA TRANSMISIÓN	MP-1	MP-2	MP-3	MP-4	MP-5	L
Embrague: Verificación del nivel del fluido	X	X	X	X	X	X
Embrague: Verificación de bujes y ejes de las horquillas de accionamiento respecto al desgaste	X	X			X	X
Vástago de accionamiento del servo de embrague: Verificación del curso y regulación	X	X	X		X	X
Caja de cambio mecánica: Verificación del Kilometraje (realizar cambio si corresponde, de lo contrario verificar el nivel de aceite y limpiar el respiradero)	X	X	X	X	X	X
Embrague: Lubricación de bujes del eje de la horquilla de accionamiento			X	X	X	
Cables de accionamiento de la caja de cambio mecánica: Verificación de la precisión de enganche y ajuste. Verificación del sellado de las extremidades	X	X	X	X	X	X
Árbol de transmisión: Verificación de juntas universales y manguito deslizante	X	X	X	X	X	X
Árbol de transmisión: Lubricación de juntas universales y manguito deslizante	X	X	X	X	X	
Diferencial: Verificación del Kilometraje (verificar el nivel de aceite y limpiar el respiradero)	X	X	X	X		
Diferencial: Revisión, desmontaje y verificación de los componentes y ajuste de precarga del piñón					X	X
Retardador: Verificación del Kilometraje y fugas	X	X	X	X	X	X

Fuente: Elaboración propia

Tabla 85 - 2. Servicios de Mantenimiento Preventivo Propuesto

Dirección hidráulica: Drenado de fluido, remoción inspección de mangueras y conexiones			X		X	
Recipiente: Sustitución de filtro y fluido					X	
Rodamiento de los cubos de las ruedas delanteras: Desmontaje, verificación de estado y sustitución si es necesario	X	X	X	X	X	
Rodamientos de los cubos de las ruedas traseras: Desmontaje, verificación de estado y sustitución si es necesario	X	X	X	X	X	
Columna de dirección: Verificación de juegos en las puntas		X		X	X	
Pivotes de dirección: Lubricación	X	X	X	X	X	X
Dirección hidráulica: Verificación del nivel de fluido	X	X	X	X	X	
Brazos y barras de conexión y dirección: Verificación de sujeción y estado de terminales	X		X	X	X	X
Dirección hidráulica: Verificación de fugas y estado de las mangueras, conductos y conexiones	X	X	X	X	X	X
Caja de dirección: Verificación de sujeción	X	X		X	X	
Tuerca de las ruedas: Verificación de apriete	X	X	X	X	X	
Sistema de dirección: Verificación de desgaste de los neumáticos y realización de alineación con aparato óptico		X		X	X	
Neumáticos: Calibración	X	X	X	X	X	X

Fuente: Elaboración propia

Tabla 85 - 3. Servicios de Mantenimiento Preventivo Propuesto

SISTEMA DE FRENOS	MP-1	MP-2	MP-3	MP-4	MP-5	L
Freno motor: Desmontaje y revisión				X		
Eje de leva "S" Desmontaje y verificación de juego de bujes		X		X	X	
Dispositivos automáticos de ajuste de frenos: Desmontaje y revisión		X		X	X	
Tanque de aire de los frenos: Drenado	X	X	X	X	X	
Ejes, leva y dispositivos de ajuste: Lubricación	X	X	X	X	X	
Cintas de freno: Verificación de desgaste	X	X	X	X	X	
Cámaras de freno: Verificación de sujeción y apriete	X	X	X	X	X	
Compresor de aire: Desmontaje y revisión				X	X	
Compresor de aire: Verificación de conexiones y sujeciones	X	X	X			
Consep: Desmontaje y limpieza	X	X	X	X	X	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 85 - 4. Servicios de Mantenimiento Preventivo Propuesto

SISTEMA DE SUSPENSIÓN	MP-1	MP-2	MP-3	MP-4	MP-5	L
Grapas "U" del conjunto de ballestas: Verificación de apriete	X	X	X	X	X	
Soportes, amortiguadores, gemelos, ojales y barra estabilizadora: Verificación de estado y torque de apriete	X	X	X	X	X	
Pastillas de goma de las ballestas: Inspección	X	X	X	X	X	
Pastillas de abrazaderas de ballestas: Inspección	X	X	X	X	X	
Amortiguadores: Inspección	X	X	X	X	X	
Base de los bolsones de aire: Limpieza	X	X	X	X	X	X
Grapas "U" de la ballesta "Z": Verificación de apriete	X	X	X	X	X	
Ojal de la ballesta parabólica, travesía de apoyo de los bolsones de aire, sujeción de los bolsones, barra Panhard: Verificación de apriete	X	X	X	X	X	
Travesía de apoyo de los bolsones neumático: Verificación de torque	X	X	X	X	X	
Estado general de los bujes, ballesta parabólica, amortiguadores y barra Panhard: Inspección visual	X	X	X	X	X	
Pastillas de goma de las ballestas: Inspección	X	X	X	X	X	
Pastillas de la abrazadera de ballesta: Inspección	X	X	X	X	X	
Amortiguadores: Inspección	X	X	X	X	X	
Base de los bolsones de aire: Limpieza	X	X	X	X	X	X

Fuente: Elaboración propia

Tabla 85 - 5. Servicios de Mantenimiento Preventivo Propuesto

SISTEMA ELÉCTRICO	MP-1	MP-2	MP-3	MP-4	MP-5	L
Batería: Limpieza y apriete de los terminales	X	X	X		X	
Batería: Verificación de nivel y densidad del electrolito (solamente baterías con mantenimiento)	X	X	X		X	
Freno motor: Verificación de los interruptores y regulación	X	X	X		X	
Accesorios adicionales: Verificación del alternador, rodamientos y elementos internos			X		X	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 85 - 6. Servicios de Mantenimiento Preventivo Propuesto

OPERACIONES COMPLEMENTARIAS	MP-1	MP-2	MP-3	MP-4	MP-5	L
Válvulas: Regulación de huelgo cada 2 años	X	X	X	X	X	X
Sistema de enfriamiento: Drenar, limpiar y reabastecer con mezcla de 60% de agua limpia y 40% de aditivo VW cada 3 años	X	X	X	X	X	X
Embrague: Cambio de fluido una vez al año	X	X	X	X	X	X
Sistema de frenos: Sustituir el elemento del filtro secador cada 2 años	X	X	X	X	X	X
Cambio de balatas delanteras cada 25.000 Km	X	X	X	X	X	X
Cambio de balatas traseras cada 20.000 Km	X	X	X	X	X	X
Cambio del Kit de embrague cada 55.000 Km	X	X	X	X	X	X

Fuente: Elaboración propia

Tabla 85 - 7. Servicios de Mantenimiento Preventivo Propuesto

PRUEBA DE RODAJE	MP-1	MP-2	MP-3	MP-4	MP-5	L
Después de la revisión se debe probar el vehículo dinámicamente verificando: Dirección, frenos de servicio y de estacionamiento, instrumentos del tablero, sistema eléctrico, embrague, caja de cambios y rendimiento del motor	X	X	X	X	X	X

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

El cálculo de la tasa de fallos realizado con el historial de mantenimiento de los buses de Transporte Masivo “Wayna Bus” durante el año 2018, determina que las unidades presentan un número de fallos debido al desgaste y malas operaciones de cada bus.

Previo al análisis de aplicación de la metodología RCM, se determinaron las funciones que cumple cada bus 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 12 meses analizados, dando como resultado que los Sistemas de Transmisión, Sistema Eléctrico, Sistema Motor, Sistema de Frenos y Sistema de Suspensión, en ese orden, son sistemas 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 los diferentes buses, en el cual, según el análisis de beta (β) se tiene como resultado buses con desgaste de elementos, los cuales provocan fallos al momento de ejercer las funciones para las cuales fueron diseñadas.

Dentro de los indicadores de mantenimiento se calcula la disponibilidad de cada bus, dando como resultado buses con una disponibilidad mayor al 90%. Si bien el porcentaje de disponibilidad es alto debe mejorarse los intervalos de mantenimiento para reducir el parámetro beta (β). Esto significa un cambio en la respectiva gestión de mantenimiento que permita mejorar su disponibilidad de operación.

En el proceso de aplicación de la metodología RCM, en base a los datos registrados en el software realizado en Microsoft Excel, se realizó el Análisis de Modos de Fallo y Efectos (AMFE) de las unidades de emergencia según la función que cumple cada unidad.

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 los buses de Transporte

Masivo “Wayna Bus”. Para 289 modos de fallo analizados en los diferentes buses, se logró determinar una actividad preventiva para 8 de ellos, logrando así obtener buses más confiables, y minimizando los costos de mantenimiento.

5.2 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 bus 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 de los buses en la metodología RCM; para que ésta pueda implementarse en los vehículos nuevos que adquiera el Gobierno Autónomo Municipal de El Alto.
- ✓ Capacitar al personal de mantenimiento en temas referentes a gestión de mantenimiento, con énfasis en la planificación de mantenimiento.
- ✓ Promover reuniones de análisis de fallas entre equipo técnico de mantenimiento y personal de operaciones, para incrementar la calidad de reporte de fallas.

Referencias bibliográficas

1. AGUINAGA, ALVARO (2005). Ingeniería del Mantenimiento. Quito-Ecuador.
2. ANDREA CALVO, EMILIO (sf) Teoría General del Mantenimiento y de la Fiabilidad. Cantabria-España.
3. BARRACHINA PEIDRO, JORGE LUIS (2012). Problemas de Pareto en ejercicios prácticos de Ingeniería del Mantenimiento. Valencia - España.
4. BESTRATEN, M. (2001). Análisis Modal de Fallos y Efectos AMFE. España.
5. DOMENECH ROLDÁN JOSÉ MANUEL (2014), AMFE.
6. GARCÍA GARRIDO SANTIAGO (2011), Mantenimiento predictivo, Renovatec.
7. GARRIDO GARCÍA, SANTIAGO (28 de septiembre de 2015). RENOVATEC. <http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/300-indicadores-en-mantenimiento>.
8. GOODFELLOW (2000), Maintenance Guide.
9. MACIAN GARCÍA, VICENTE (1999). Fundamentos de Ingeniería del Mantenimiento. Valencia- España.
10. MOUBRAY, JOHN (1997). Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad Segunda Edición. Asheville North Carolina.
11. MURILLO WILLIAM (2002), Confiabilidad y Análisis Estadístico para la predicción de fallas RCM INGENIERIA.
12. PARRA RAMÍREZ SANTIAGO (2006), Determinación de las Estrategias de Mantenimiento.
13. PERALTA URIA, RAMIRO (2011). Principios y Fundamentos de la Ingeniería de Mantenimiento. La Paz-Bolivia.
14. TAVARES, LOURIVAL (1992). Administración Moderna del Mantenimiento. Brasil.
15. READ P. y REID V.C. (2013). Manual Técnico del Automóvil. Traducido al español. Madrid-España.
16. TRUJILLO C. GERARDO (2015), Lubricación y Mantenimiento Industrial.
17. SOURIS JEAN POL (2002), Técnicas de Mantenimiento Industrial.

Anexos



Mascarello
Carrocerias e Ônibus Ltda

Manual do Usuário
2014



VERSÃO 00

