



FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS

Trabajo de fin de Carrera titulado:

“Propuesta de mejora al plan de mantenimiento de vehículos blindados tipo Cobra II y Ural del Ejército ecuatoriano”

Realizado por:

Milton Patricio Cuyo Yanez

Director del proyecto:

Ing. Edilberto Antonio Llanes Cedeño, PhD

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

QUITO, 19 de MARZO del 2026

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, MILTON PATRICIO CUYO YANEZ, ecuatoriano, con Cédula de ciudadanía N° 0504346230, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional, y se basa en las referencias bibliográficas descritas en este documento.

A través de esta declaración, cedo los derechos de propiedad intelectual a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y normativa institucional vigente.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Milton Patricio Cuyo Yanez', is written over a horizontal dashed line.

Milton Patricio Cuyo Yanez

C.I.: 0504346230

DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.

Ing. Edilberto Antonio Llanes Cedeño, PhD

LOS PROFESORES INFORMANTES:

ING. DIANA BELEN PERALTA ZURITA

ING. MARÍA GABRIELA MANCHENO FALCONÍ

Después de revisar el trabajo presentado lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador.

Ing. DIANA BELEN PERALTA ZURITA

Ing. MARÍA GABRIELA MANCHENO FALCONÍ

Quito, 19 de Marzo de 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.



Milton Patricio Cuyo Yanez

C.I.: 0504346230

AGRADECIMIENTOS

Como primer lugar gracias infinitas a mi madre de corazón la Srta. María Dolores Yanez y a mis padres, Sr Manuel Cuyo y la Sra. María Mercedes Yanez, por el amor incondicional y su apoyo moral hacia mi persona. Ya que depositaron su fe en mí, inclusive en los instantes más dificultosos, ha sido mi pilar para este logro. A la vez expreso mi gratitud a mi director de tesis, el PhD. Edilberto Llanes quienes supieron brindarme su tiempo para escucharme y apoyarme, y a mis docentes de la facultad, quienes fueron los que supieron guiarme y impartirme amplios conocimientos en estos años de formación en la universidad. Sin ustedes, todo esto no habría sido posible este viaje académico culminado.

Resumen

Un análisis de 103 registros de mantenimiento, que son registros históricos reales, de vehículos utilizados por el ejército ecuatoriano, incluidos el Cobra II y el Ural, revela un predominio del mantenimiento correctivo y una concentración de averías en los sistemas de propulsión, frenado, suspensión y transmisión. Esta investigación propone una reestructuración metodológica técnica basada en los resultados de este análisis.

Se ha podido llevar a cabo la implementación del nuevo plan de mantenimiento basado en el mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM) y el mantenimiento basado en el estado (CBM) con la ayuda de las variables que nos proporcionó la información recopilada.

Este nuevo plan tendrá en cuenta una serie de métricas, entre las que se incluyen el tiempo medio de reparación (MTTR), el tiempo medio entre fallos (MTBF) y la disponibilidad operativa (OA). Se llevará a cabo una categorización jerárquica de cada uno de los sistemas importantes del vehículo junto con la ejecución del nuevo plan, que se basa en el uso de contadores de horas del vehículo (de acuerdo con los manuales de servicio técnico). También se está promoviendo la estandarización de los nuevos registros como medida adicional. El mantenimiento basado en datos históricos y normas ISO se incluirá en esta versión actualizada del plan de mantenimiento.

La investigación que se presenta tiene el potencial de reducir las intervenciones en un veinte por ciento y el mantenimiento correctivo en un treinta por ciento. En general, los resultados del estudio sugieren que debería producirse una disminución en la cantidad de tiempo dedicado al mantenimiento, lo que se traduciría en una mayor eficiencia.

Palabras Clave:

Mantenimiento correctivo, mantenimiento basado en condición, gestión de activos, vehículos blindados, Cobra II, Ural, confiabilidad, disponibilidad operativa.

Abstract

The purpose of this study is to suggest a technical methodological restructure that is based on the examination of 103 maintenance logbooks, which are genuine historical data, for the Cobra II and Ural vehicles that are used by the Ecuadorian Army. According to the findings of the study, the most of the failures that occurred were in the propulsion, braking, suspension, and transmission systems. The majority of the operations that were performed were corrective maintenance.

The information that was gathered allowed for the identification of important factors that enabled the execution of a new maintenance plan that was based on reliability-centered maintenance (RCM) and condition-based maintenance (CBM). Indicators of performance such as operational availability, mean time to repair (MTTR), and mean time between failures (MTBF) are taken into consideration in this new concept. The execution of the strategy that has been presented is based on the use of vehicle hour meters (in line with technical service manuals), and it also incorporates a hierarchical categorization of each important vehicle system. Furthermore, the standardization of new maintenance records is something that is being recommended. The maintenance tasks that are drawn from historical records and ISO standards have been included into this new maintenance plan.

The analysis that has been provided reveals that there is the possibility to cut maintenance interventions by twenty percent and corrective maintenance by thirty percent.

As a general conclusion, the research indicates a reduction in maintenance times, which translates into greater operational efficiency.

Keywords:

Asset management, corrective maintenance, condition-based maintenance, armored vehicles, Cobra II, Ural, dependability

Tabla de Contenidos

Objetivo General	28
Objetivos Específicos	28
Objetivos ODS que persigue el proyecto	29
Introducción	31
Vehículo blindado Ural de Otakar	33
Mantenimiento Preventivo	36
Mantenimiento selectivo y optimización de flotas.....	50
Tipos de Mantenimiento y su Evolución.....	55
Importancia de las bitácoras y registros históricos.....	56
Gestión de activos y mantenimiento basado en valor	56
Fuentes técnicas sobre los vehículos Cobra II y Ural	57
Bitácoras y diagrama de flujo de fallas: práctica y literatura	57
Fortalezas típicas detectadas en planes actuales	58
Síntesis crítica	59
Tendencias actuales	59
Puntos críticos y vacíos identificados en la literatura y fuentes institucionales.....	60
Variables críticas en la operación de vehículos blindados	61
Estrategias estadísticas aplicables	64
Equipamiento técnico de unidades de mantenimiento	65
Mantenimiento preventivo según manuales del fabricante	66

	10
Integración de normas ISO.....	67
Disponibilidad operativa (Operational Availability, AoA_oAo).....	69
Enfoque de la investigación	74
Tipo y diseño de la investigación	75
Estrategias metodológicas	76
Diseño teórico fundamentado en Normas ISO.....	78
Método de la investigación	79
Fase I: Recopilación y revisión documental técnico-científica.....	79
Fase II: Diagnóstico del estado actual del mantenimiento (análisis de fallas históricas).	82
Cálculo a partir de Bitácoras de Mantenimiento	86
Flota analizada:	86
Datos del sistema de mantenimiento (Cobra II).....	86
Tiempo total dedicado a reparaciones del sistema de propulsión	87
Kilómetros recorridos (para fallas/1000 km)	87
Ahora usamos los datos globales de la flota Cobra II (todas las fallas, todos los sistemas)....	90
Cálculo y ejemplo de “tiempo fuera de servicio” (TFS).....	91
Cálculo del tiempo fuera de servicio (TFS) de esta orden:	91
Fase III. Comparación de modelos de mantenimiento (RCM, CBM, IA)	92
Fase IV : Enfoque metodológico del diseño	95
Estructura del plan de mantenimiento	95
Integración de indicadores de desempeño.....	96
Gestión de riesgos y priorización de sistemas críticos	96

Herramientas y formatos del plan sugerido.....	97
Resultados esperados de la fase	97
Metodología de desarrollo por sistemas del vehículo blindado Cobra II.....	98
Criterios metodológicos para la desagregación por sistemas.....	98
Sistema de motor.....	98
Sistema de transmisión.....	102
Sistema de frenos	104
Sistema de dirección y suspensión.....	106
Sistema eléctrico y electrónico.....	109
Integración metodológica del mantenimiento del Cobra II.....	111
Metodología de desarrollo por sistemas del Vehículo Táctico Ural.....	111
Criterios metodológicos para el análisis por sistemas.....	112
Sistema de motor.....	112
Sistema de transmisión.....	113
Sistema de frenos	114
Suspensión y chasis.....	114
Sistema eléctrico	115
Integración metodológica del mantenimiento del Ural	116
Técnicas e instrumentos de recolección de información.....	116
Recopilación de datos y presentación de resultados preliminares	123
Propuesta Aplicativa.....	124
Propuesta de diagrama de movimiento del vehículo en el taller.....	131

Descripción secuencial del flujo de movimiento del vehículo.....	131
Diagnóstico del plan de mantenimiento actual.	135
Estadística descriptiva.....	135
Estadística inferencial (caso a mejorar)	136
Representación lógica del diagrama de flujo (texto).....	142
Estadístico de las bitácoras analizadas	143
Comparación por sistema (Cobra II y Ural).....	146
Diagnóstico consolidado del vehículo URAL (enero–octubre)	147
Propuesta de mejora del plan de mantenimiento para el vehículo URAL	148
Indicadores de mantenimiento (URAL y Cobra II).....	149
Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF)	149
Tiempo Medio de Reparación (MTTR)	149
Disponibilidad Operacional.....	150
Diagnóstico Integrado del Vehículo Cobra II (Documentos 1-53).....	150
Propuesta de mejora al plan de mantenimiento del vehículo Cobra II.....	150
Indicadores de evaluación del plan propuesto.....	152
Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible	152
Marco metodológico del análisis.....	152
Datos Base proporcionados en función a las bitácoras de Mantenimiento.	153
Datos base proporcionados.....	154
Mano de Obra.....	154
Capacidad de aceite de motor vehículo Ural y Cobra II	154

Costos directos por evento típico de mantenimiento preventivo	154
Costo de Mantenimiento vehículo Cobra II	155
Cálculo del mantenimiento incluida la mano de obra	155
Costos por mantenimiento de fluidos de transmisión	156
Costo anual estimado por vehículo	156
Evaluación de Viabilidad económica (RCM - CBM)	158
Índice Beneficio – Costo (B/C).....	158
Descripción del Plan de Mantenimiento Actual (Antes de las mejoras)	159
Plan de Mantenimiento Propuesto (Después de las Mejoras)	160
Análisis Técnico del Cambio Propuesto	161
Análisis FODA del Plan de Mantenimiento	162
Fortalezas.	162
Oportunidades	163
Debilidades.....	163
Amenazas.	163
Conclusión de viabilidad.....	164
Tablas	174
Tabla A1	174
Anexo B1.....	180
Anexo B2.....	181
Anexo B3.....	182
Anexo B4.....	183

Anexo B5.....	184
1. Identificación general del activo	184
2. Clasificación del sistema intervenido (ISO 14224).....	184
3. Tipo de mantenimiento.....	184
4. Descripción técnica de la falla (ISO14224)	184
5. Actividad realizada.....	185
6. Tiempos y confiabilidad (ISO 14224).....	185
7. Evaluación estratégica del activo (ISO 55000)	185
8. Checklist preventivo integrado.....	185
9. Variables operativas críticas	186
10. Validación.....	186

Lista de tablas

<i>Tabla 2 Tabla 1 Especificaciones técnicas</i>	35
<i>Tabla 2 Estimación de fallas.Diagrama 8 Punto de decisión de mantenimiento</i>	52
<i>Tabla 3 Estimación de fallas.</i>	64
<i>Tabla 4 Bitácora de Mantenimiento.</i>	66
<i>Tabla 5 Tabla de Indicadores de Mantenimiento y Frecuencia</i>	69
<i>Tabla 6 Tabla de Indicadores de Mantenimiento y Frecuencia</i>	69
<i>Tabla 7 Tabla de Frecuencia(2)</i>	70
<i>Tabla 8 Tabla de Frecuencia</i>	71
<i>Tabla 9 Tabla de Mantenimiento Preventivo y</i>	72
<i>Tabla 10 Indicadores clave de mantenimiento para Cobra II y UralFigura 18 Vehículo “Ural” en los talleres de mantenimiento.</i>	82
<i>Tabla 11 Indicadores clave de mantenimiento para Cobra II y Ural</i>	84
<i>Tabla 12 Indicadores clave de mantenimiento para Cobra II y Ural</i>	84
<i>Tabla 13 Técnicas e instrumentos de recolección de información</i>	118
<i>Tabla 14 Matriz comparativa de enfoques RCM, CBM e IA predicativa</i>	118
<i>Tabla 15 Técnicas e instrumentos de recolección de información</i>	118
<i>Tabla 16 Matriz comparativa de enfoques RCM, CBM e IA predicativa</i>	121
<i>Tabla 17 Formato propuesto de bitácora de mantenimiento</i>	126
<i>Tabla 18 Comparación antes y después deFigura 20 Figura tipo radar de enfoques de mantenimiento según indicadores</i>	134
<i>Tabla 19 Comparación antes y después de</i>	137
<i>Tabla 20 Resumen estadístico del mantenimiento por sistema – Vehículo blindado Cobra II</i>	139
<i>Tabla 21 Principales fallas y actividades de mantenimiento – Vehículo blindado Cobra II.</i>	141

<i>Tabla 22 Resumen estadístico del mantenimiento por sistema – Vehículo Ural.....</i>	<i>144</i>
<i>Tabla 23 Principales fallas y actividades de mantenimiento (Top 5) – Vehículo Ural</i>	<i>145</i>
<i>Tabla 24 Comparación del plan de mantenimiento: antes y después de la propuesta</i>	<i>146</i>
<i>Tabla 25 Análisis comparativo del proceso antiguo vs el proceso mejorado.....</i>	<i>161</i>
<i>Tabla 26 Impacto general de la Propuesta</i>	<i>162</i>

Lista de figuras

<i>Figura 1 Vehículo Cobra II</i>	33
<i>Figura 2 Ural de Otakar</i>	34
<i>Figura 3 Tipo de sensor data</i>	43
<i>Figura 4 Ejemplo de condiciones de monitoreo de vehículos K9A1</i>	44
<i>Figura 5 Bitácora de Mantenimiento de 100 Horas, Vehículo Cobra mes de enero, Sección Chasis</i>	77
<i>Figura 6 Bitácora de Mantenimiento de 500 horas, Vehículo Cobra mes de enero, Sección Chasis</i>	78
<i>Figura 7 Vehículo “Cobra II” en los talleres de mantenimiento</i>	81
<i>Figura 8 Vehículo “Ural” en los talleres de mantenimiento</i>	82
<i>Figura 9 Figura tipo radar de enfoques de mantenimiento según indicadores</i>	134

Lista de Ecuaciones

<i>Ecuación 1 Disponibilidad operativa</i>	<i>70</i>
<i>Ecuación 2 Indicador de porcentaje de mantenimiento.....</i>	<i>70</i>
<i>Ecuación 3 Indicador de tareas preventivas</i>	<i>73</i>
<i>Ecuación 4 Indicador de alertas predictivas.....</i>	<i>73</i>
<i>Ecuación 5 Cálculo de MTBF.....</i>	<i>87</i>
<i>Ecuación 6 Cálculo del MTTR (Mean Time To Repair).....</i>	<i>88</i>
<i>Ecuación 7 Cálculo de la disponibilidad operativa (A).....</i>	<i>89</i>
<i>Ecuación 8 Cálculo de la tasa de fallas λ.....</i>	<i>89</i>
<i>Ecuación 9 Cálculo de fallas por 1 000 km</i>	<i>90</i>

Lista de Diagramas

<i>Diagrama 1 Comparativa de mantenimientos.....</i>	<i>37</i>
<i>Diagrama 2 Flujo de información en mantenimiento</i>	<i>39</i>
<i>Diagrama 3 Punto de decisión de mantenimiento.</i>	<i>52</i>
<i>Diagrama 4 Diagrama de flujo de fallas.</i>	<i>68</i>
<i>Diagrama 5 Proceso de Mantenimiento Preventivo</i>	<i>125</i>
<i>Diagrama 6 Representación lógica del diagrama de flujo</i>	<i>133</i>
<i>Diagrama 7 Comportamiento operativo comparativo Cobra II VS Ural</i>	<i>136</i>

Lista de Anexos

<i>Anexo 1 Diagrama de Pareto de frecuencia de intervenciones por sistema – Vehículo blindado Cobra II.....</i>	<i>180</i>
<i>Anexo 2 Diagrama de Pareto de frecuencia de intervenciones por sistema – Vehículo Ural</i>	<i>181</i>
<i>Anexo 3 Orden de trabajo del sistema de gestión logística – Vehículo blindado Cobra II ..</i>	<i>182</i>

Introducción

En lo que respecta al funcionamiento y la eficacia del equipo militar en su conjunto, el plan de mantenimiento de los vehículos es un componente crucial que debe tenerse en cuenta. Cuando se trata de acciones tácticas y defensivas, la disponibilidad del equipo depende en gran medida de la eficiencia con la que se planifican y llevan a cabo los procedimientos de mantenimiento. Dado que los vehículos blindados desempeñan un papel fundamental tanto en la lucha contra el crimen organizado como en el mantenimiento del orden interno, es de suma importancia que el Ejército ecuatoriano garantice su correcto funcionamiento. Estos vehículos han asumido una gran parte de las operaciones militares, en las que participan soldados que operan en lugares de alto riesgo. Esto es una consecuencia directa del aumento de la violencia asociada al tráfico de drogas y la delincuencia internacional. Por ello, se necesitan vehículos terrestres que no solo sean extremadamente resistentes, sino también capaces de soportar impactos importantes.

Con el fin de reforzar su capacidad de respuesta ante amenazas y operaciones contra la inseguridad, el Ejército ecuatoriano incorporó en el año 2023 veinte vehículos blindados Otokar Cobra II y quince unidades Otokar Ural con tracción a las cuatro ruedas, todos ellos fabricados en Turquía. La protección balística y contra minas, la movilidad táctica en terrenos difíciles y un sistema electrónico de comunicación y visión nocturna son algunas de las características clave que estos vehículos blindados están destinados a proporcionar. Sin embargo, como resultado de la instalación de estas plataformas, ha quedado claro que se requiere un plan de mantenimiento adecuado. Esto se debe a que las circunstancias operativas locales son sustancialmente diferentes de aquellas para las que fueron diseñadas.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio es establecer soluciones tecnológicas para diversas formas de mantenimiento, como el mantenimiento preventivo y predictivo, que se

adapten a la dura realidad de la institución objeto de investigación. Gracias a ello, los soldados y los vehículos que utilizan durante las operaciones tendrán un mayor nivel de durabilidad y seguridad operativa.

Antecedentes

Con el objetivo de maximizar la disponibilidad operativa de los equipos y la sostenibilidad logística de las Fuerzas Armadas, se han realizado varios estudios sobre el tema del mantenimiento de vehículos en el ámbito militar. El mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM) y el mantenimiento basado en el estado (CBM) son dos enfoques que se han destacado en la investigación sobre el mantenimiento de flotas en bases militares (Glenn et al., 2022). Estas prácticas son complementarias entre sí, aunque sean diferentes. Al reducir los costes, prevenir averías inesperadas y aumentar la disponibilidad de los vehículos de combate en entornos muy exigentes, las técnicas duales son un componente esencial de la ingeniería de mantenimiento actual.

De acuerdo con Glenn et al. (2022), del “Departamento de Defensa de los Estados Unidos, en su obra *Reliability and Maintainability Engineering Guidebook*”, la técnica RCM representa una metodología organizada para la identificación de los sistemas críticos, modos de falla y consecuencias de operación, con el fin de priorizar las actividades de mantenimiento que aseguren la confiabilidad y la seguridad del personal. Este procedimiento y el modelo, aplicados en las flotas militares de la OTAN, han declarado un incremento medible en la disponibilidad de equipos y una reducción de los tiempos de inactividad, consolidándose como una metodología de referencia para la planificación estratégica del mantenimiento militar.

En concordancia con ello, Lowman,(2024), en la revisión del Manual 4151.25 del Departamento de Defensa, señala que la amalgama de técnicas RCM y CBM proporciona que el mantenimiento pueda programarse en función de la criticidad funcional de los sistemas y la probabilidad de falla del sistema. Esto es relevante para los vehículos blindados, donde la indisponibilidad de un activo puede comprometer la seguridad operativa y la eficacia táctica de una misión. Los resultados del análisis técnico en este manual demuestran que estas metodologías se utilizan no solo para gestionar de manera eficiente los recursos técnicos y humanos, sino también para prolongar la vida útil del equipo mecánico y electrónico utilizado en vehículos blindados, si se integran

Desde una perspectiva mantenimiento predictivo, la literatura más reciente ha presentado un nuevo paradigma, sostenido en la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático. Basado en el artículo “Artificial Intelligence for Predictive Maintenance of Armoured Fighting Vehicles Engine” realizado por Narayanan & Padhy. (2023), los algoritmos de aprendizaje automático que trabajan con señales de vibración, temperatura y presión del motor brindan una mejor capacidad para predecir el deterioro en los componentes del vehículo blindado. Los datos experimentales demuestran una disminución significativa en el tiempo de inactividad debido a la identificación temprana de una anomalía. Sin embargo, la efectividad de estos sistemas, según los autores, también puede variar en la eficiencia y cantidad de datos recopilados, la instrumentación adecuada de los sensores y la adaptabilidad del modelo predictivo a condiciones operativas adversas, incluidas variaciones de terreno, clima y régimen operativo,(Sengupta et al., s/f).

Por otra parte, la gestión moderna de flotas militares ha incorporado metodologías de modelado y simulación computacional orientadas a optimizar la utilización de recursos, la programación del mantenimiento y la logística de suministro. Li & Epureanu, (2020) en su estudio “An Agent-Based Approach to Optimizing Modular Vehicle Fleet Operation,”

proponen un modelo de simulación basado en agentes que permite planificar la operación de flotas modulares mediante la predicción de demanda, el modelado de la cadena de abastecimiento y la asignación dinámica de tareas de mantenimiento. Los autores sostienen que esta estrategia incrementa la eficiencia logística y la capacidad de respuesta operativa, al tiempo que reduce la escasez de repuestos y los tiempos improductivos de los vehículos. Su aplicación es especialmente pertinente para flotas heterogéneas como las del Ejército Ecuatoriano, conformadas por vehículos Cobra II y Ural, cuya gestión requiere una planificación flexible y orientada a la confiabilidad.

La literatura revisada refleja la evolución del mantenimiento militar hacia un modelo inteligente, proactivo y basado en datos, donde convergen la confiabilidad, el monitoreo en tiempo real y la analítica predictiva. Sin embargo, en el contexto nacional, aún existe una brecha significativa entre las prácticas tradicionales y los sistemas de mantenimiento avanzados aplicados por las fuerzas armadas de los países desarrollados. Esta falta de metodologías basadas en la confiabilidad y tecnología predictiva en el Ejército Ecuatoriano justifica la relevancia de este estudio, que busca adaptar y aplicar los principios del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), el Mantenimiento Crítico para el Mantenimiento (CBM) y la inteligencia artificial al mantenimiento de los vehículos blindados Cobra II y Ural, fortaleciendo así la disponibilidad operativa y la sostenibilidad logística de la institución.

Estudios técnicos han demostrado que la adopción del RCM y el CBM permite priorizar las tareas de mantenimiento según la criticidad de las funciones y los modos de falla, lo cual es especialmente relevante en plataformas blindadas, donde la indisponibilidad de un activo tiene consecuencias inmediatas para la operación y la seguridad (Lowman, 2024).

Planteamiento del Problema

Para el Ejército Ecuatoriano, la disponibilidad operativa depende del mantenimiento de los vehículos blindados, ya que su funcionalidad es esencial para responder a situaciones tácticas y de seguridad nacional. Actualmente, debido a la falta de herramientas de diagnóstico predictivo y procedimientos de mantenimiento estandarizados, los vehículos Cobra II y Ural presentan diferencias de rendimiento. Debido a la carencia de información y estandarización al momento de una reparación o diagnóstico, se ha detectado que el número de averías aumenta y que los tiempos de fuera de servicio de estos vehículos de uso militar sean más prolongados, haciendo muy difícil la disponibilidad continua del parque vehicular blindado; ya que no se cuenta con un modelo de mantenimiento que combine el análisis de confiabilidad con el uso de tecnologías emergentes.

Para lo cual, se plantea la necesidad de evaluar y proponer una mejora del plan de mantenimiento aplicado a tres vehículos de cada tipo como son del Cobra II y Ural; con el fin de establecer un modelo de mantenimiento ajustado a sus características mecánicas, condiciones de uso y requerimientos tácticos.

¿Cómo se puede ajustar el programa de mantenimiento de los vehículos blindados Cobra II y Ural del Ejército ecuatoriano al entorno operativo real utilizando métodos predictivos?

Justificación

Debido a que los vehículos blindados Ural y Cobra II son estratégicamente importantes para las operaciones del Ejército ecuatoriano, particularmente en las áreas de defensa, patrullaje y seguridad nacional, este estudio y mejora del plan de mantenimiento es necesario, ya que estos automotores proporcionan movilidad táctica y la protección militar en entornos de alto riesgo, son recursos vitales para la seguridad nacional, por lo tanto, mantenerlos en óptimas condiciones de funcionamiento no solo es necesario desde el punto de vista técnico, sino también esencial para la seguridad institucional y la eficacia operativa. El plan de mantenimiento actualizado tiene como objetivo abordar esta demanda mediante el uso de estrategias modernas que maximicen el uso de los recursos actuales y garanticen la disponibilidad constante de los vehículos.

Al recomendar la aplicación de técnicas de mantenimiento predictivo y preventivo basadas en el mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM) y el mantenimiento basado en condición (CBM), herramientas muy apreciadas a nivel mundial por su eficacia en sistemas complejos, el estudio presenta un enfoque técnico y científico novedoso desde el punto de vista de la ingeniería. Al aplicar esta estrategia al ejército ecuatoriano, será posible pasar de un paradigma preventivo convencional a uno predictivo basado en datos y pruebas. Esto mejorará la logística de las piezas de repuesto, la programación del mantenimiento, la toma de decisiones y nos ayudará a reducir el valor de los gastos de mantenimiento. Este cambio en la metodología no solo aumentará la disponibilidad operativa de la flota blindada, sino que también reducirá los gastos derivados de averías imprevistas, tiempos de inactividad y desgaste prematuro de los componentes.

Su valor práctico se explica por la aplicación directa de este estudio en el Centro de Mantenimiento de Vehículos Blindados (CEMABLIN), donde se examinan y reparan estos vehículos. La mejora propuesta es factible, ya que aprovecha el personal altamente

calificado del Ejército, su infraestructura tecnológica actual y la accesibilidad de los datos de mantenimiento para su análisis. Además, el proyecto mejora la gestión del mantenimiento al ajustarse a las normas de sostenibilidad operativa y eficiencia logística de la organización.

Esta investigación tiene importantes beneficios estratégicos y sociales. Un plan de mantenimiento mejorado aumentaría la seguridad del personal militar al proporcionar una mejor reacción ante amenazas externas o internas y reducir la probabilidad de errores operativos. En consonancia con la responsabilidad institucional y los principios de defensa sostenible, prolongar la vida útil de la flota y reducir el consumo de material y repuestos también mejora la sostenibilidad medioambiental y la eficiencia del gasto público. (Overview, 2024).

Objetivos

Objetivo General

Mejorar la disponibilidad operativa de los vehículos blindados Cobra II y Ural del Ejército ecuatoriano, así como su idoneidad para las condiciones reales de uso, se propone un plan de mejora del mantenimiento. Este plan incluye la aplicación de normas técnicas para el mantenimiento preventivo y predictivo, la supervisión del tiempo de funcionamiento y el seguimiento de los indicadores en el taller.

Objetivos Específicos

Determinar el estado actual del plan de mantenimiento de los vehículos blindados Ural y Cobra II mediante el análisis del diagrama de flujo de fallas derivado de los registros de mantenimiento, los datos históricos y los puntos fuertes y débiles del proceso.

Analizar los factores que influyen en la eficiencia del mantenimiento utilizando técnicas estadísticas descriptivas e inferenciales para examinar el equipo técnico, las circunstancias operativas y la duración del uso de las unidades de mantenimiento del Ejército ecuatoriano.

Maximizar el rendimiento operativo de las unidades militares, desarrollar estrategias técnicas para el mantenimiento predictivo y preventivo de los vehículos blindados Cobra II y Ural utilizando las normas ISO 14224 e ISO 55000, así como el manual técnico del fabricante.

Establecer criterios basados en la disponibilidad operativa y la frecuencia de fallos para evaluar la eficacia del plan de mantenimiento sugerido y minimizar el mantenimiento correctivo. La iniciativa tiene como objetivo cumplir los ODS.

Objetivos ODS que persigue el proyecto

El proyecto se centra en el ODS 9: "Industria, Innovación e Infraestructura", ya que busca adoptar métodos de mantenimiento actuales basados en la confiabilidad y la innovación tecnológica, con el fin de optimizar la eficiencia operativa y la sostenibilidad de la infraestructura militar del Ejército Ecuatoriano. Asimismo, al optimizar el plan de mantenimiento, contribuye al ODS 16: Paz, Justicia e Instituciones Sólidas, fortaleciendo la capacidad operativa del Ejército Ecuatoriano. Esto garantiza que las instituciones sean más eficaces, responsables y transparentes en la gestión de los recursos asignados a la seguridad y defensa del país. De igual manera, el ODS 17: Alianzas para el logro de los Objetivos, promueve la colaboración técnica y académica entre entidades militares, universidades y organismos públicos, fomentando el intercambio de conocimientos y el desarrollo conjunto de soluciones innovadoras.

Hipótesis Teórica

Dado que este estudio se realiza en el marco de una propuesta de diseño de proyecto y no es una investigación exploratoria ni experimental, la hipótesis se formula en términos conceptuales y teóricos. Se sugiere que:

Si el proyecto de diseño se desarrolla sobre la base de principios científicos, técnicos y metodológicos adecuados, sustentados en la aplicación coherente de teorías del campo disciplinar correspondiente, entonces será posible garantizar la factibilidad técnica, la eficiencia operativa y la pertinencia académica de la propuesta, favoreciendo la generación de soluciones innovadoras y sostenibles a problemáticas reales del entorno.

Esta hipótesis se fundamenta en la consideración de que los proyectos de diseño requieren de un sustento teórico sólido que permita orientar las decisiones técnicas y metodológicas desde una perspectiva sistemática. Según Hernández-Sampieri, Fernández-Collado y Baptista-Lucio (2014), el planteamiento teórico cumple la función de proporcionar un marco de referencia conceptual que guía el desarrollo del proyecto y le otorga validez científica, incluso en ausencia de comprobación empírica directa

Estado del Arte

Introducción

El Cobra II es un vehículo blindado de nueva generación, diseñado para mejorar eficiencia en operaciones terrestres. El vehículo posee una capacidad de nueve personas incluido comandante y artillero. El vehículo es empleado para operaciones de mayor letalidad, capacidad de supervivencia y movilidad.

Entre las características técnicas se conoce que puede alcanzar una velocidad de 110 km/h con una autonomía promedio 700 km, puede maniobrar en pendientes de hasta 60% y atravesar pendientes laterales de hasta 40%. En la parte acuática puede vadear hasta 100 cm de profundidad sin preparación. (Otokar Otomotiv ve Savunma Sanayi A. 2024).

Tabla 1

Especificaciones Vehículo Cobra II

Categoría	Especificaciones
Motor	Diésel
Potencia / Torque	360CV a 2600 rpm 1100Nm entre 1400-2300 rpm
Transmisión	Automática
Suspensión	Independiente. Amortiguador hidráulico telescópico y muelle helicoidal.
Temperatura de operación	80°C a 120°C

Capacidad de combustible	190 litros
Frenos	De estacionamiento y de servicio
Climatización	A/C y calefactores matriciales para comportamiento de personal
Control Electrónico	VECS (Vehicle Electronic Control System) de nueva generación
Protección contra incendios	Sistema AFES en motor y compartimiento de tropa
Seguridad de tripulación	Cinturones de 5 puntos Asientos con absorción de impactos.
Equipamiento adicional	Soportes para rifles

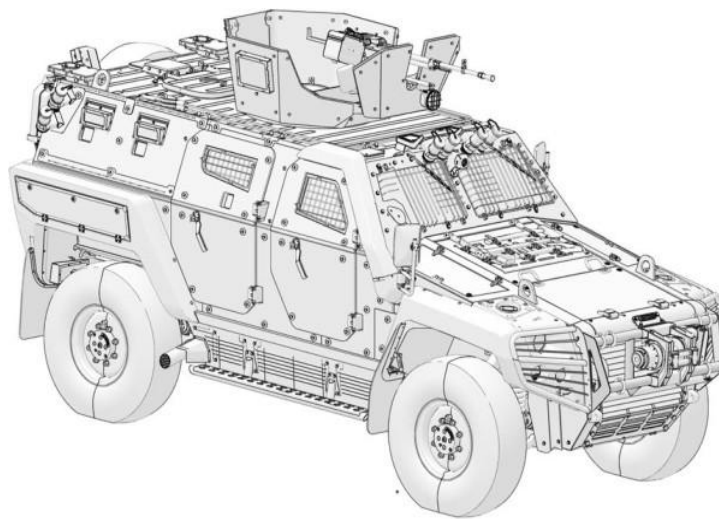
Nota: Podemos apreciar especificaciones importantes del vehículo Cobra II.

En la tabla 1, se puede ver que el vehículo cuenta con suspensión independiente, lo que le proporciona una mayor estabilidad y confort en terrenos difíciles. Además de ellos se conoce que posee un sistema de inflado central de neumáticos permite ajustar la presión de las llantas según el tipo de terreno, optimizando así la tracción y el rendimiento. También, la tracción permanente en las cuatro ruedas facilita el manejo en condiciones adversas, mientras que la transmisión automática contribuye a un control más sencillo y eficiente del vehículo.

De la misma manera se evidencia que tiene tecnología moderna tanto con un sistema AFES y para el sistema de control electrónico de los distintos sistemas para protección de incendios que requieren de mantenimientos especializados para prolongar la vida útil del equipo.

Figura 1

Vehículo Cobra II



Nota. Se representa la forma física del vehículo tipo cobra II. Tomado de (Otokar Otomotiv ve Savunma Sanayi A.Ş, 2024)

En términos de seguridad, la COBRA está equipada con una notable protección balística, garantizando la seguridad de sus ocupantes en situaciones de riesgo. Su diseño modular permite adaptarse fácilmente a diversas misiones y necesidades operativas, asegurando que siempre esté lista para superar diversos desafíos en el campo. En conjunto, estas características aseguran que la COBRA posea una elevada capacidad de movilidad y efectividad en la ejecución de sus tareas.

Vehículo blindado Ural de Otokar

El vehículo blindado Ural 4x4, es una plataforma más ligera además posee un peso menos robusto a relación el Cobra II; es empleado para cumplir las distintas misiones como es el transporte del personal militar, logístico y de seguridad interna.

Figura 2

Ural de Otakar



Nota. Se representa la forma física del vehículo tipo Ural 4x4. Tomado de (Otokar Otomotiv ve Savunma Sanayi A.Ş , 2024)

Su diseño permite tener varias configuraciones como es de ambulancia hasta llegar a vehículo de operaciones de combate. La capacidad es de igual manera de 6 a 10 pasajeros, debido a que su habitáculo es amplio.

Al ser blindado el vehículo, proporciona una protección balística gracias a la resistencia de cuerpo ya que posee aleaciones especiales de acero. De a misma manera las ventanas tienen dichas condiciones debido a un laminado multicapa especial.

Entre las características del Ural, se destaca que posee un peso máximo de 6400kg, permitiéndole alcanzar una velocidad máxima en condiciones de asfalto de 110 km/h. Además, puede tener armamento en montaje abierto o torrera, se puede instalar un sistema de armas controlado. Sus dimensiones son de 6.4 metros de ancho con una longitud de 2.4 metros de altura.

Tabla 2*Especificaciones técnicas*

Categoría	Especificaciones
Motor	Cummins de 4 cilindros, turboalimentado con intercooler.
Velocidad máxima del motor	3900 rpm
Transmisión	Automática
Eje Trasero y Diferenciales	Velocidad única Suspensión: ballestas, amortiguadores telescópicos. Peso máximo de carga de 3900 kg.
Eje Delantero y Diferenciales	Eje suspendido independiente. Suspensión: Doble horquilla, barra de torsión, amortiguadores telescópicos y barra estabilizadora
Ejes de transmisión	Entre la caja de transferencia y el eje trasero Entre la caja de transferencia y el eje delantero Ejes traseros de velocidad constante entre los cubos de las ruedas y diferencial delanteros; ejes entre los cubos de las ruedas traseras y el eje diferencial trasero.
Temperatura de operación	80 ⁰ C a 120°C
Categoría	Especificaciones
Dirección	Asistida hidráulica en los ejes delanteros y central
Frenos	De estacionamiento y de servicio
Climatización	HVAC y ventiladores de dos velocidades

Protección contra incendios

Sistema AFES en motor y compartimiento de tropa

Nota: Podemos apreciar especificaciones importantes del vehículo Ural 4x4.

Mantenimiento Preventivo

Con énfasis en la identificación temprana de defectos y el mantenimiento de la fiabilidad operativa, el mantenimiento preventivo constituye la piedra angular de la gestión técnica en las unidades militares. Según una investigación realizada recientemente en el Ejército colombiano, se ha producido una notable transición de las directrices a los planes programados basados en datos. Aplicando la técnica de mantenimiento centrado en la fiabilidad versión 3 (RCM3), Silva et al. (2021) demostraron una disminución significativa de las averías en los sistemas de refrigeración de los vehículos blindados, lo que mejoró la disponibilidad durante las operaciones prolongadas.

El mantenimiento preventivo, como se ve en la figura 3, permite planificar las intervenciones de acuerdo con los ciclos de uso y las circunstancias ambientales, en contraste con los sistemas normales que responden después de una avería. Este enfoque ha reducido el riesgo operativo en regiones con alta demanda, como las regiones rurales o áridas. Las unidades que adoptaron este enfoque mantuvieron un vínculo más eficaz entre los recursos utilizados y la disponibilidad real de los equipos.

Además, el mantenimiento preventivo también es una herramienta para la planificación logística. El desarrollo de los procedimientos de mantenimiento a lo largo del tiempo se muestra en la tabla A1 del anexo A. Se pueden crear calendarios más precisos recopilando metódicamente datos sobre las horas de funcionamiento, el desgaste y las temperaturas. Esto maximiza la formación técnica del personal y, al mismo tiempo, reduce el

tiempo de inactividad. Los técnicos militares se mantienen al día en materia de motores diésel y sistemas de lubricación eléctricos gracias al uso de programas de formación continua, incluidos los recomendados por Duran et al. (2024).

Diagrama 1

Comparativa de mantenimientos



Nota. Tomado de: (La guía completa de mantenimiento preventivo MaintainX, s/f)

Mantenimiento Predictivo y su Integración Tecnológica

El mantenimiento predictivo ha sido considerado entre las estrategias de mantenimiento militar, sobre todo por su habilidad para prever fallas antes de que estas impacten la disponibilidad de los vehículos. Esta categoría de mantenimiento utiliza inteligencia de datos y herramientas para la monitorización en tiempo real, basada en la medición continua de parámetros operativos como vibración, presión, temperatura y emisiones. Gutiérrez et al. (2024) argumentan que la implementación de sistemas post-parada es esencial para proteger los turbocompresores en motores diésel, lo que permite prolongar su vida útil y prevenir averías.

Gracias a los sistemas de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS) y a las tecnologías de sensores del IoT (Internet de las Cosas), la forma en que se recopila y procesa la información técnica ha experimentado una transformación radical. La integración de la supervisión humana con análisis estadísticos basados en algoritmos de fiabilidad ha permitido que estas tecnologías posibiliten el desarrollo del mantenimiento predictivo como un proceso dinámico. Con la ayuda de herramientas como el análisis Weibull, es posible anticipar con mayor precisión el momento óptimo para realizar intervenciones en cada componente. Además, se ha demostrado que el mantenimiento predictivo va más allá de la simple identificación de fallos. Su implementación fomenta el aprendizaje organizacional, transformando cada evento observado en una mejora en la toma de decisiones. Esta perspectiva permite a los técnicos establecer una cultura enfocada a la mejora continua, en la que los reportes generados en campo se incorporan a los sistemas de información institucionales.

Diagrama 2

Flujo de información en mantenimiento predictivo



Nota. Representa el flujo que posee un diagnóstico mediante un sistema IOT; desde los sensores a un sistema CMMS

Mantenimiento enfocado en la confiabilidad (RCM)

El mantenimiento enfocado en la confiabilidad se ha desarrollado como una perspectiva esencial dentro de las tácticas de sustentación de vehículos militares, en particular en los sistemas blindados. El objetivo de su implementación es mejorar la planificación del mantenimiento, reducir los costos relacionados con las averías y maximizar la disponibilidad operativa.

Lowman (2024) ha actualizado y puesto en funcionamiento el RCM para contextos militares en la guía de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, que define procedimientos para identificar funciones críticas, examinar los modos de fallo y seleccionar tareas de mantenimiento según su impacto operativo. Esta actualización enfatiza la importancia de completar el ciclo entre la recopilación de datos, la evaluación de fallos y el ajuste de tareas; también incluye criterios para priorizar las tareas según su criticidad y riesgo, con el fin de optimizar los recursos escasos.

Silva et al. (2021) afirman que la versión avanzada del RCM3, de acuerdo con las normas SAE e ISO 55000, presenta una metodología estructurada para la gestión de riesgos que permite aumentar el tiempo medio entre fallos (MTBF) y reducir el tiempo de inactividad en vehículos blindados de alto rendimiento. Esta metodología supone una mejora respecto al RCM convencional descrito por Garza (2002), que proporcionaba una perspectiva del sistema más completa y tenía un alcance más amplio que los procedimientos convencionales como el Análisis de Modos de Fallo y Efectos (FMEA).

Mohril (2024) ofrece una técnica de mantenimiento seleccionada para carros de combate principales que se basa en la fiabilidad de la misión y tiene en cuenta una variedad de perfiles de despliegue y circunstancias operativas diversas. Este método se presenta en el marco de un entorno operativo. La relevancia de ajustar el RCM a escenarios tácticos

individuales queda demostrada por el hecho de que este modelo ofrece una fiabilidad de la misión superior al ochenta por ciento, durante el noventa por ciento del período operativo. Además, las investigaciones actuales han demostrado que el uso del análisis de riesgos, los modelos estadísticos y los algoritmos basados en la inteligencia artificial no solo ayuda a garantizar la eficiencia del mantenimiento, sino que también asegura la viabilidad a largo plazo de las operaciones militares.

De hecho, el RCM permite traducir el inventario de acciones repetidas en programas con el objetivo de reducir la frecuencia de fallos imprevistos y mejorar el tiempo de actividad operativa. Esto es posible cuando se dispone de registros precisos del tiempo de inactividad y los períodos de servicio.

Mantenimiento fundamentado en la condición (CBM) y prácticas de instrumentación

La Escuela Politécnica Militar (2020), afirma que es de suma importancia llevar a cabo las operaciones de mantenimiento programadas. Estas actividades deben realizarse de acuerdo con ciertos criterios, entre los que se incluyen el tiempo transcurrido desde el último mantenimiento, el número de horas trabajadas y otros elementos. En el contexto de una estrategia de inspección conservadora y preventiva, estas acciones se suman a las actividades que llevan a cabo los usuarios, como las inspecciones visuales y otros procedimientos que se han creado para los sistemas. Es posible identificar anomalías y prever comportamientos que se salen de los límites establecidos como normales en los sistemas de armas gracias al uso extensivo de tecnologías de vanguardia, impulsadas por los avances en los métodos de mantenimiento. La electrónica, la informática y la ingeniería mecánica son solo algunas de las especializaciones técnicas que deben incluirse en esta iniciativa.

En los últimos años, el mantenimiento basado en la condición (MBC) se ha convertido en una de las estrategias más eficaces para aumentar la sostenibilidad y la disponibilidad de

sistemas militares complejos. Se ha observado un cambio considerable, alejándose de las metodologías tradicionales basadas en calendarios y acercándose a modelos de predicción basados en datos, como resultado de la investigación sobre su uso en vehículos y equipos militares. Los sistemas de diagnóstico integrados y los sensores se encargan de recopilar, procesar y evaluar datos en tiempo real, lo que constituye la base de este modelo. Esto permite anticipar los problemas antes de que se produzcan, reduciendo así el tiempo de inactividad y mejorando la eficiencia de la logística de mantenimiento.

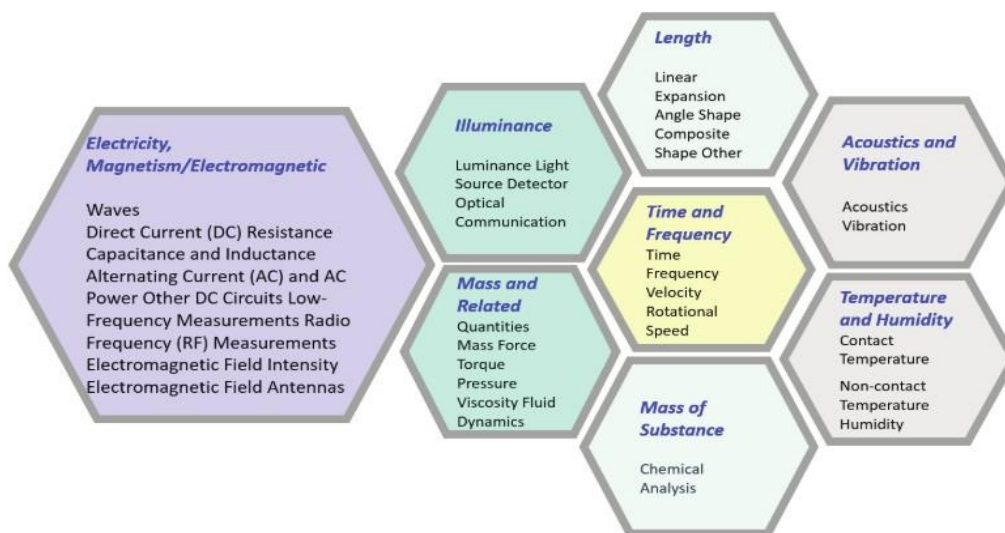
El mantenimiento basado en el condición (CBM) y el mantenimiento avanzado basado en el estado (CBM+) se han implementado en diversos ámbitos, entre ellos el aeroespacial, el terrestre y el naval, y las investigaciones más recientes indican que estas implementaciones han dado lugar a mejoras considerables en términos de fiabilidad y eficiencia. La implementación de sensores de monitorización comparativa del vacío (CVM) en el programa KC-46A de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, por ejemplo, dio lugar a una reducción de los periodos de mantenimiento de varios días a solo quince minutos por conector. Esto se tradujo en la conservación de más de un millón de horas de vuelo sin ningún fallo de los sensores. Bond et al. (2020) utilizaron una técnica híbrida de aprendizaje automático en la gestión predictiva de la salud (PHM) para vehículos terrestres, y demostraron un enfoque similar.

Con el uso de esta tecnología, pudieron identificar problemas con un error cuadrático medio (RMSE) de 0,15015 y una previsión que se realizó dos minutos antes de que se produjeran realmente las averías. En la investigación que llevaron a cabo Kim et al. (2024), analizaron la viabilidad y los aspectos fundamentales necesarios para adoptar la tecnología CBM+ en los sistemas de armamento del ejército surcoreano. Han observado que los sistemas militares modernos funcionan en circunstancias de alta demanda y que los procedimientos de mantenimiento convencionales, basados en inspecciones periódicas o intervalos definidos, ya

no son eficaces para proporcionar la disponibilidad operativa esencial. Esta idea sirve de base para su estudio. Los autores afirman que CBM+ no solo implica una estrategia predictiva basada en datos, sino que también requiere una transformación considerable de los procesos humanos, logísticos y técnicos relacionados con el mantenimiento militar.

Figura 3

Tipo de sensor data.



Nota. Se ve los tipos de sensores data. Tomado de: Kim et al. (2024)

La integración de tecnologías avanzadas abarca la implementación de plataformas para análisis de datos en tiempo real, redes de comunicación seguras y sensores inteligentes. Además, la gobernanza de la información determina maneras claras para recoger, guardar y proteger datos técnicos. Por otra parte, se destaca el fortalecimiento de las habilidades del personal, centrándose en la interpretación de datos y en la toma de decisiones basadas en pruebas. Los autores muestran, a través de estudios de caso y análisis de implementaciones en fuerzas aliadas, que la transición hacia CBM+ tiene el potencial de reducir los períodos de inactividad hasta un 20 % y optimizar la asignación de recursos, siempre que esté respaldada por una estrategia institucional a largo plazo.

Figura 4

Ejemplo de condiciones de monitoreo de vehículos K9A1.

a)



b)

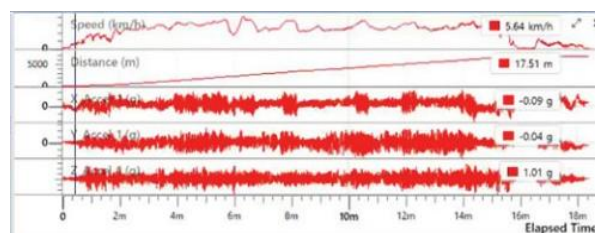


Nota. Tomado de: Kim et al. (2024)

c)



d)



Nota. Tomado de: Kim et al. (2024)

a) Monitoreo por video.

Registrar video en tiempo real desde la perspectiva frontal del vehículo permite complementar los datos telemétricos y mejorar la trazabilidad operativa, dado que la integración de imagen y datos refuerza los procesos de auditoría, análisis de incidentes y entrenamiento, como lo plantea la literatura sobre sistemas avanzados de registro vehicular (Luo et al., 2018).

La imagen c corresponde a un sistema de grabación en tiempo real del recorrido del vehículo.

Características:

- Cámara frontal instalada en el casco del vehículo.
- Información adicional del sistema VBOX (velocidad, tiempo, etc.).
- Aplicaciones del monitoreo:
 - Registro visual del entorno, obstáculos, terreno y condiciones operativas.
 - Evaluación del comportamiento táctico del vehículo en situaciones reales.
 - Soporte para análisis posteriores en:
 - Entrenamientos,
 - Auditorías de procedimientos,
 - Investigación de incidentes o fallas.
 - Monitoreo GPS y geolocalización satelital

Basándose en los principios de la georreferenciación, que se aplican al análisis de la movilidad y el funcionamiento de los vehículos militares (Kaplan y Hegarty, 2017), la implementación del seguimiento por GPS permite registrar la trayectoria precisa del vehículo, correlacionar las condiciones del terreno con las variaciones del mismo y mejorar la planificación táctica.

- b) La imagen b corresponde a un mapa satelital con la ruta exacta recorrida por el vehículo.

Elementos monitoreados:

- Geoposición del vehículo en tiempo real.
- Recorrido histórico, marcado con una línea roja.

- Identificación del tipo de terreno, curvas, inclinaciones y zonas críticas.

Aplicaciones:

- Seguimiento táctico del vehículo en misiones reales.
- Análisis de rutas para planificación logística o militar.

Integración con telemetría para:

- Determinar zonas donde se generaron mayores vibraciones,
 - Correlacionar fallas con condiciones del terreno.
- c) Monitoreo dinámico de velocidad, distancia y aceleración.

El sistema de telemetría permite registrar en tiempo real la velocidad, distancia recorrida y aceleraciones en los ejes X, Y y Z del vehículo, con el fin de evaluar su comportamiento dinámico y detectar condiciones críticas de vibración, tal como se recomienda en los análisis de dinámica vehicular y monitoreo de aceleraciones (Genta & Morello, 2019).

La imagen a muestra un panel de telemetría en tiempo real que incluye:

VARIABLES MONITOREADAS:

- Velocidad instantánea (km/h): Indicador tipo velocímetro.
- Tiempo transcurrido: contador continuo para sincronizar con datos del sistema.
- Distancia recorrida: medición acumulada del desplazamiento.
- Aceleraciones en los ejes X, Y y Z (g):
 - X: aceleración longitudinal (acelerar/frenar).
 - Y: aceleración lateral (giro del vehículo).
 - Z: vibración vertical (impactos y condiciones del terreno).
- Función del monitoreo

- Evaluar la respuesta dinámica del vehículo.
 - Identificar impactos, vibraciones excesivas, o maniobras extremas.
 - Aportar datos para análisis de fatiga estructural y mantenimiento predictivo.
- d) Monitoreo gráfico de vibraciones, velocidad y distancia

Representar de forma gráfica las vibraciones y velocidades permite identificar patrones de carga, impactos, resonancias y comportamientos anómalos del vehículo, lo cual constituye un método fundamental en el mantenimiento predictivo basado en condición (Jardine et al., 2006).

La imagen b presenta gráficas continuas de datos registrados a lo largo del tiempo:

VARIABLES REGISTRADAS:

- Velocidad (km/h) como curva superior.
- Distancia acumulada como segunda línea.
- Aceleraciones X, Y, Z en forma de señales continuas de vibración.
- Características del monitoreo:
 - Análisis de vibraciones de alta frecuencia, útiles para:
 - Detección de fallas en suspensión, tren de rodaje, o caja de transmisión.
 - Estudio de la interacción vehículo–terreno.
 - Identificación de sobrecargas o impactos bruscos.

UTILIDAD OPERATIVA:

El análisis de rutinas tácticas, la resistencia de los vehículos y la optimización de las maniobras son áreas que se benefician enormemente de su uso.

La experiencia del Ejército colombiano en la optimización del mantenimiento de los vehículos militares diésel fue descrita por Cardozo Miranda et al. (2025). Esto se logró

combinando el mantenimiento preventivo (60 %), el mantenimiento correctivo (30 %) y el mantenimiento predictivo (10 %), con un tiempo de inactividad correctivo de entre seis y doce horas.

En conjunto, las investigaciones realizadas muestran una tendencia consolidada hacia la integración de metodologías predictivas, sistemas de predicción de fallos (PHM) y algoritmos de inteligencia artificial, incluidas las redes neuronales LSTM y los modelos Random Forest, dentro de arquitecturas híbridas y modulares Dalzochio et al. (2023).

A pesar de que estas soluciones deben hacer frente a retos relacionados con la calidad de los datos, la compatibilidad entre los sistemas heredados y la ciberseguridad, permiten gestionar grandes cantidades de datos temporales y aumentar la precisión de la detección de fallos.

Una conclusión que se puede extraer de las investigaciones más recientes es que la implementación exitosa de la CBM en el ámbito militar depende no solo de las capacidades técnicas de los sistemas, sino también de una sólida gobernanza de los datos, la formación del personal de mantenimiento y la aplicación de las mejores prácticas del sector civil para cumplir los requisitos operativos y de seguridad del estamento militar. El CBM se está consolidando como un instrumento crucial para la reforma digital de la logística militar, ya que ayuda a reducir costes, aumentar la disponibilidad y prolongar el ciclo de vida de activos importantes. De este modo, el CBM se está consolidando como una herramienta fundamental.

Mantenimiento predictivo con inteligencia artificial

El desarrollo de herramientas más precisas para predecir averías en motores ha sido posible gracias a los avances en el mantenimiento predictivo asistido por inteligencia artificial (IA). Numerosos sectores industriales han obtenido resultados esperanzadores como

consecuencia de estos avances. En estas circunstancias, la investigación llevada a cabo por Vargas et al. (2024) supone una importante aportación al analizar la eficacia de varios algoritmos de inteligencia artificial cuando se utilizan para el análisis de vibraciones como medio de diagnóstico predictivo. Los autores subrayan que el análisis de vibraciones es uno de los métodos más eficaces para detectar desequilibrios, desgaste y averías mecánicas en los motores. También destacan el hecho de que la integración del análisis de vibraciones con modelos inteligentes aumenta considerablemente la precisión y la especificidad de los diagnósticos.

En el artículo se describe un enfoque metodológico exhaustivo. Este enfoque incluye el acondicionamiento de señales, la selección y extracción de propiedades esenciales, el entrenamiento y la evaluación de modelos basados en máquinas de vectores de soporte (SVM) y redes neuronales artificiales, todo lo cual se describe en profundidad. Además de demostrar una capacidad excepcional para distinguir entre diferentes tipos de fallos de manera eficaz, estos algoritmos demostraron un alto nivel de precisión en la identificación de problemas, lo que les permitió intervenir antes de que se produjeran fallos más importantes. La combinación de métodos de aprendizaje automático y monitorización de vibraciones no solo mejora la eficiencia del mantenimiento predictivo, sino que también reduce significativamente los gastos relacionados con el mantenimiento correctivo y el tiempo de inactividad. Esto se confirma con los datos.

La investigación también subraya el hecho de que la eficiencia del sistema depende de una serie de elementos, incluida la integridad del modelo matemático utilizado, la precisión de las señales capturadas y la calibración de los sensores de manera adecuada. Para proporcionar pronósticos precisos que puedan aplicarse a otras situaciones, como equipos pesados o vehículos militares, donde el diagnóstico temprano es importante para garantizar la seguridad y mantener la continuidad operativa, se requieren ciertos requisitos. Finalmente,

los autores enfatizan que investigaciones como esta representan una base clave para avanzar hacia sistemas de mantenimiento industrial más inteligentes, seguros y adaptativos. Anticipan que la mejora continua de los algoritmos contribuirá al desarrollo de modelos cada vez más robustos que podrán aplicarse en una variedad de áreas diferentes dentro del campo de la mecánica.

Mantenimiento selectivo y optimización de flotas

Uno de los desarrollos más recientes en la administración técnica y operativa de las fuerzas armadas es la implementación del mantenimiento selectivo y la optimización de flotas mixtas de vehículos blindados. El objetivo de estas prácticas es mejorar la fiabilidad de las fuerzas armadas sin aumentar los gastos operativos. La integración de tácticas de mantenimiento preventivo con enfoques predictivos y selectivos, posibilitada por la tecnología digital, ha demostrado en numerosos estudios, tanto en América Latina como en Europa, mejorar la disponibilidad de las flotas militares y aumentar su eficiencia. Específicamente, el uso de enfoques como el Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad versión 3 (RCM3) y algoritmos de optimización basados en la fiabilidad y el riesgo permite priorizar las intervenciones de acuerdo con el grado de criticidad de los sistemas y el perfil operativo de cada camión.

Se ha demostrado en varios estudios, incluyendo los realizados por Cardozo Miranda et al. (2025) y Mohril et al. (2024), que la integración de diagnósticos avanzados, sensores conectados al Internet de las Cosas (IoT), sistemas de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS) y monitoreo en tiempo real resulta en una mejor toma de decisiones y una reducción significativa del tiempo de inactividad. Además, la fiabilidad y disponibilidad operativa de la flota se han mantenido sin aumentar los gastos de mantenimiento gracias a la reparación selectiva basada en criterios de fiabilidad y algoritmos

genéticos. Este método de mantenimiento se ha utilizado en vehículos como carros de combate principales y camiones diésel militares.

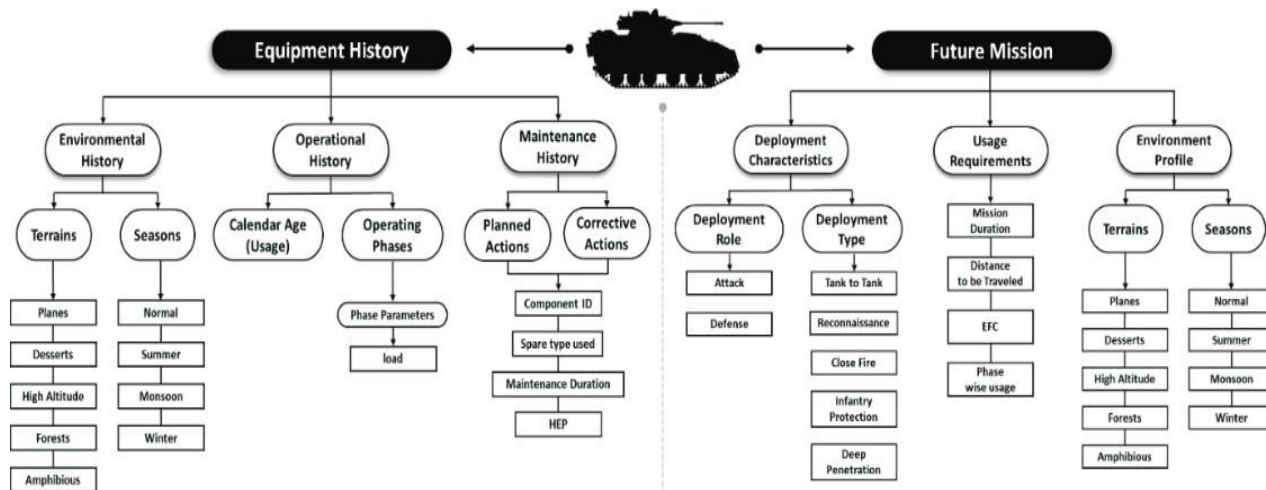
Junto con la evaluación del ciclo de vida de los componentes y el diseño asistido por computadora (CAD), la utilización de instrumentos como el método de elementos finitos (MEF) ha hecho posible ajustar los intervalos de mantenimiento de acuerdo con las condiciones operativas reales y las características particulares del entorno, independientemente de si es urbano o rural. Como consecuencia de esto, nuestro mantenimiento se ha vuelto más individualizado y eficaz.

Similar a lo dicho por Esneider (2024) y Duran (2024), la inclusión de tecnologías sofisticadas en los talleres móviles y la capacitación de equipos de mantenimiento especializados han resultado en un aumento de la autonomía logística de las brigadas y una disminución de su dependencia de proveedores externos.

Esta estrategia incluye una serie de componentes importantes, uno de los cuales es la evaluación predictiva de la fiabilidad del vehículo blindado desde la perspectiva de operaciones futuras. Como se muestra en el Diagrama 3, es vital tener un conocimiento completo de la misión prevista para llegar a una estimación precisa de la fiabilidad operativa de un vehículo. Esto incluye la duración de la misión, las condiciones climáticas, las fases operativas y las necesidades funcionales. La historia del equipo (incluidos los registros de mantenimiento, fallas anteriores y tiempo de uso de los componentes) y el perfil de la misión futura se combinan en este procedimiento, que puede considerarse una hoja de ruta tecnológica. El despliegue del vehículo, las tareas que se espera que realice y el entorno en el que se utilizará son los tres componentes principales que conforman este análisis.

Diagrama 3

Punto de decisión de mantenimiento.



Nota. Los puntos de discusión del mantenimiento. Tomado de (Bowling , Lavonen, & Salestrand, 2008)

Por ejemplo, si el vehículo blindado va a participar en una operación de asalto en la que se prevé que funcione a plena capacidad, recorra 150 kilómetros por terreno desértico durante el verano y luego continúe operando de forma ininterrumpida durante 36 horas, cada uno de estos factores tendrá una influencia directa en los componentes del sistema. Para estimar la duración efectiva de la misión para cada subsistema del vehículo, como el motor, el tren de rodaje, el sistema de refrigeración, el armamento, etc., es posible calcular un factor de ajuste de fase utilizando la información detallada que se ha proporcionado. Este factor calcula la intensidad de la tensión mecánica que se aplicará al vehículo durante la misión. Los requisitos de la misión se traducen en una predicción cuantitativa del estrés operativo al que se someterá el equipo mediante el uso de este proceso.

Estos estudios han confirmado colectivamente un movimiento conceptual hacia modelos de mantenimiento basados en datos, adaptativos y sostenibles. Cuando se trata de la optimización de flotas mixtas, la combinación de mantenimiento preventivo, predictivo y

selectivo es el corazón del proceso. Este punto de vista no solo mejora la fiabilidad y disponibilidad de los vehículos blindados, sino que también fomenta un uso más racional de los recursos, la predicción de fallos importantes y una mayor capacidad de respuesta operativa en contextos militares complejos. En general, es beneficioso.

Modelos de logística para mantenimiento

En los últimos años, los vehículos blindados se han convertido en herramientas clave para la modernización de los sistemas logísticos defensivos. La simulación y el modelado en el campo de la planificación logística y los pilotos de mantenimiento de vehículos han contribuido a este desarrollo. Se ha establecido una conexión entre la gestión operativa de flotas y el mantenimiento técnico como resultado de investigaciones recientes que demuestran cómo estas técnicas pueden ayudar a predecir fallas, mejorar la eficiencia en la toma de decisiones y optimizar la asignación de recursos. Los autores Silva et al. (2021) destacan la importancia del Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad en el contexto de los sistemas de refrigeración de vehículos blindados. También destacan la relevancia del análisis estadístico de Weibull y el cálculo del Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF). Ajustando los intervalos de inspección y reemplazo, los autores pudieron minimizar en gran medida la probabilidad de fallas mayores y mejorar la preparación operativa. Esto se logró analizando más de 2,000 registros de fallas, lo que les permitió realizar los ajustes necesarios. Para los planes de mantenimiento orientados a la misión, este método de modelado de confiabilidad es esencial. En estas estrategias, cada componente se evalúa en función de la probabilidad de que falle y del efecto funcional que tendrá en el sistema general.

Paralelamente a esto, Valdeleón Alarcón et al. (2022) validaron mejoras estructurales en equipos de elevación utilizados en el mantenimiento de la aviación militar mediante el Método de Elementos Finitos (MEF) a través del software ANSYS. Esto ayudó a garantizar

la seguridad y a reducir la cantidad de tiempo que se requería la intervención. Lo mismo puede decirse de Gómez Valencia et al. (2024), quienes revelaron que el entorno operativo tiene un impacto directo en la vida útil de los componentes de transporte militar. Encontraron que las suspensiones utilizadas en zonas rurales sufrieron un 58,3% más de desgaste que las utilizadas en zonas urbanas.

Una progresión hacia la logística adaptativa basada en evidencia se reflejó en la formulación de planes de mantenimiento preventivo diferenciados por entorno operativo como resultado de este descubrimiento.

La modelización y la simulación no solo mejoran la eficiencia en el mantenimiento técnico, sino que también cambian la planificación logística, como demuestra la colección de estudios que se han realizado. Antes de llevar a cabo operaciones reales, es factible realizar pruebas piloto con escenarios controlables y datos exactos gracias a las herramientas disponibles. Esta capacidad predictiva proporciona una gestión más eficaz de los repuestos, así como el diseño de programas de mantenimiento que se ajustan mejor a la realidad y una disminución significativa del tiempo de inactividad. Además, permite una reducción significativa de las interrupciones en la producción. Similar al punto anterior, la investigación propone que las flotas blindadas deberían emplear sistemas de gemelos digitales. Estos sistemas permitirían la integración de datos relacionados con las operaciones, el medio ambiente y el mantenimiento dentro de un entorno simulado, lo que maximizaría la toma de decisiones estratégicas. El sector de mantenimiento militar está adoptando una estrategia predictiva, dinámica y basada en datos como resultado de la combinación de modelado matemático, simulación por computadora y automatización logística, tal como lo han confirmado los recientes avances. Además de mejorar la sostenibilidad operativa de las Fuerzas Armadas y maximizar el uso de los recursos, este nuevo paradigma permite anticipar posibles situaciones de riesgo.

Mantenimiento en Vehículos Blindados

Mantener los vehículos blindados en buenas condiciones es una tarea esencial para garantizar la preparación de las fuerzas militares para realizar sus misiones y mantener su seguridad. Se requiere que los programas de mantenimiento de las fuerzas armadas incluyan procesos integrados preventivos, correctivos y, cada vez más, predictivos, respaldados por datos históricos, registros y la estandarización de la información técnica. La complejidad técnica, la variabilidad en las condiciones de operación y la criticidad de la misión requieren un diagnóstico que se base en la evidencia histórica y las metodologías de análisis de fallas que permitan la identificación de las fortalezas y los puntos críticos del proceso actual.

Tipos de Mantenimiento y su Evolución

La literatura sobre el mantenimiento técnico divide el mantenimiento en tres categorías: preventivo, predictivo y correctivo. Por otro lado, el mantenimiento correctivo es el proceso de reparar algo después de que ya ha fallado. El mantenimiento preventivo se refiere a las intervenciones que se programan (intervalos de tiempo o uso) para reducir el número de fallas que ocurren. El mantenimiento predictivo implica monitorear el estado real (sensores, análisis de vibraciones, temperatura y telemetría) con el fin de intervenir solo cuando los indicadores muestran que dicho estado se está deteriorando. En entornos militares, la transición hacia estrategias predictivas se ha acelerado por la incorporación de sensores, telemetría y algoritmos de inteligencia artificial que permiten anticipar fallas en sistemas críticos de propulsión y suspensión. Estudios recientes por Prashant (2023) aplican modelos de machine learning a datos de sensores de vehículos blindados para anticipar fallas en motores y tren motriz, demostrando mejoras en la reducción de mantenimientos correctivos y en la disponibilidad operativa.

Importancia de las bitácoras y registros históricos

Las bitácoras de mantenimiento y los registros históricos son la base empírica para establecer la frecuencia de fallas, modos de falla predominantes y la efectividad de intervenciones anteriores, véase Figura B3 en los Anexos B . La calidad de los datos (consistencia, estandarización de códigos de falla, granularidad temporal y de componentes) determina la capacidad de aplicar análisis estadísticos robustos y modelos predictivos. Según

International Organization for Standardization (2024) de normas y guías internacionales recomiendan formatos estandarizados para recolección y codificación de datos de mantenimiento; entre ellas, la ISO 14224 ofrece principios y estructuras de datos para la recopilación de información de confiabilidad y mantenimiento que facilitan comparaciones y análisis avanzados.

Gestión de activos y mantenimiento basado en valor

El enfoque contemporáneo de gestión de activos (asset management) extraído de International Organization for Standardization (2024) propuesto por la familia ISO 55000 prioriza la alineación del mantenimiento con los objetivos organizacionales, optimizando disponibilidad, riesgos y costos a través de un sistema de gestión de activos. Para unidades militares, la implementación de un sistema acorde con ISO 55000 aporta un marco para priorizar recursos, definir indicadores clave de desempeño y establecer procesos de mejora continua en el mantenimiento de flota.

Diagnóstico del estado actual del plan de mantenimiento

En esta sección se analiza la propuesta del Objetivo específico 1 en donde se sintetiza la evidencia publicada y técnica relacionada con el diagnóstico de planes de mantenimiento para vehículos blindados, con foco en el uso de bitácoras, diagramas de flujo de fallas y análisis de fortalezas/puntos críticos.

Fuentes técnicas sobre los vehículos Cobra II y Ural

Cobra II: El fabricante Otokar (2021) publica fichas técnicas y folletos que describen las características operativas, sistemas principales (motor, transmisión, suspensión, sistemas eléctricos y sistemas auxiliares), y las capacidades de la plataforma; estos documentos también señalan los requerimientos de soporte técnico y recomendaciones generales de mantenimiento para preservar la disponibilidad. El conocimiento del diseño y especificaciones técnicas es requisito para definir tareas preventivas y los intervalos recomendados por el fabricante.

Según Ural (2024), existen manuales de servicio y mantenimiento para los vehículos Ural (series y modelos con variantes militares) que detallan procedimientos de inspección, listas de verificación y esquemas eléctricos. Estos documentos son esenciales para mapear las actividades de mantenimiento de primer y segundo nivel que suelen registrarse en bitácoras. Los vehículos Ural se clasifican como variantes militares.

Bitácoras y diagrama de flujo de fallas: práctica y literatura

La práctica recomendada consiste en capturar en bitácoras: fecha/hora, horas-kilómetros/horas-motor, componente afectado (con codificación estandarizada), síntoma, causa raíz (cuando se identifica), acción tomada y tiempo de reparación.

Según los hallazgos de las revisiones de implementación llevadas a cabo en las fuerzas armadas y en los operadores de flotas, los problemas más comunes suelen implicar registros incompletos, codificación inconsistente y falta de digitalización (datos dispersos en formularios físicos), lo que dificulta la realización de análisis estadísticos confiables. La literatura sobre mantenimiento militar sugiere que se debe priorizar la estandarización de códigos y la digitalización de bitácoras para permitir el análisis de tendencias y los modelos de predicción, tal como lo establece la International Organization for Standardization (2024).

Fortalezas típicas detectadas en planes actuales

Según estudios y reportes institucionales de mantenimiento militar, las fortalezas recurrentes incluyen:

- Procedimientos formales para inspecciones de pre- y post-misión (checklists rutinarios).
- Niveles de capacitación en tareas básicas de mantenimiento (cambios de aceite, filtros, frenos).
- Presencia de manuales de reparación y disponibilidad de repuestos de primer consumo en algunos batallones o talleres regionales.

Estos elementos facilitan la ejecución de mantenimiento preventivo básico y la rápida resolución de fallos menores, contribuyendo a una base de fiabilidad operativa. Ejército Ecuatoriano.

Síntesis Crítica y Tendencias Actuales

Síntesis crítica

Es posible identificar fortalezas (listas de verificación, personal capacitado) y debilidades (digitalización limitada, heterogeneidad en los datos) a través del estudio de bitácoras y registros históricos, lo cual sirve como base del diagnóstico (Objetivo 1) a cumplir.

Como resultado del estudio de las variables operativas (Objetivo 2), se ha establecido que los elementos que determinan la frecuencia de las fallas son las condiciones topográficas, la cantidad de carga que se transporta y las horas de uso.

Una gran mejora en la disponibilidad operativa y una reducción en las fallas mayores se atribuyen a la integración del mantenimiento preventivo y predictivo, que corresponde al Objetivo 3, de acuerdo con la investigación que se ha llevado a cabo.

Es más fácil evaluar la eficacia de la estrategia y tomar decisiones estratégicas cuando se implementan indicadores claros y métricas cuantitativas, lo cual es el cuarto objetivo.

Tendencias actuales

- Digitalización de bitácoras y telemetría avanzada: uso de IoT y sensores en tiempo real para anticipar fallas.
- Modelos predictivos con inteligencia artificial: machine learning aplicado a datos históricos y telemetría de vehículos blindados.
- Gestión de activos alineada con ISO 55000: priorización de recursos y decisiones basadas en riesgos y criticidad.

- Integración de estándares internacionales: ISO 14224 para datos de confiabilidad, ISO 55000 para gestión de activos, facilitando comparaciones entre unidades y países.

Puntos críticos y vacíos identificados en la literatura y fuentes institucionales

La literatura técnica y los reportes institucionales recurrentemente señalan varios puntos críticos que afectan la eficacia de los planes de mantenimiento militares:

- Calidad y estandarización de datos: bitácoras incompletas o con terminología heterogénea impiden análisis confiables y la implementación de modelos predictivos. ISO 14224 subraya la necesidad de una “lengua común” de confiabilidad basada en códigos y tablas predefinidas.
- Digitalización limitada: el uso predominante de registros físicos retrasa la consolidación de tendencias y la generación de indicadores en tiempo razonable. Ejército Ecuatoriano
- Capacidad técnica para análisis avanzados: falta de personal con competencias en análisis estadístico, minería de datos y mantenimiento predictivo. Estudios recientes que implementan machine learning en vehículos blindados destacan la necesidad de equipos multidisciplinarios (mantenimiento + datos). ResearchGate+1
- Alineamiento con gestión de activos: ausencia o implementación parcial de un sistema de gestión de activos que priorice intervenciones según criticidad y costo-efectividad (marco ISO 55000). ISO
- Trazabilidad de repuestos y logística: demoras en la cadena de suministro y gestión de repuestos críticos que elevan tiempos de inactividad. Manuales de fabricantes suelen recomendar estrategias de reposición y stocks mínimos para sistemas críticos. Otokar. (2024)

Metodologías de Diagnóstico Apoyadas en Bitácoras y Diagramas de Falla

Para diagnosticar el estado actual del plan de mantenimiento, la bibliografía propone un flujo metodológico repetible que incluye:

- a) Recolección y estandarización de bitácoras (formato digital y códigos ISO o adaptados).
- b) Clasificación de modos de falla y generación de diagramas de flujo y árboles de falla.
- c) Análisis estadístico descriptivo (frecuencia, tiempo medio entre fallas —MTBF—, tiempo medio de reparación —MTTR—) y visualización temporal de tendencias.
- d) Análisis inferencial para identificar variables que influyen la frecuencia de fallas (condiciones operativas, horas de uso, tipo de misión).
- e) Informe de fortalezas y vulnerabilidades con recomendaciones específicas para mejorar registros y procesos.

La adopción de ISO 14224 facilita la etapa (a) al proporcionar estructuras y códigos homogéneos para capturar datos de confiabilidad y mantenimiento. La integración con un marco de gestión de activos (ISO 55000) permite, además, vincular hallazgos técnicos con decisiones de gobernanza y asignación de recursos.

Análisis de condiciones operativas, tiempos de uso y equipamiento técnico (Objetivo 2)

Variables críticas en la operación de vehículos blindados

Los estudios recientes sobre flotas militares y vehículos blindados indican que la eficiencia del mantenimiento depende de múltiples variables operativas y técnicas (Smith et al., 2022; Singh et al., 2023):

- Horas de operación por misión: afecta directamente el desgaste de motores, transmisiones y tren de rodaje.

- Condiciones de terreno: caminos accidentados, barro, arena o agua aceleran el desgaste de componentes mecánicos y eléctricos.
- Carga transportada y configuración del vehículo: sobrecargas o modificaciones pueden alterar el rendimiento de sistemas y requerir ajustes de mantenimiento.
- Disponibilidad de herramientas y equipos técnicos: presencia de bancos de prueba, diagnósticos electrónicos y sensores facilita intervenciones predictivas y reduce tiempos de reparación.
- Competencias del personal: capacitación y experiencia del personal de mantenimiento es un factor determinante en la eficacia de intervenciones preventivas y correctivas.

Ejemplo aplicado de la norma ISO 14224 y norma ISO 55000 en la recolección de bitácoras

La ISO 14224 establece los requisitos para capturar, codificar y estandarizar datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos industriales, incluyendo:

- Código del equipo
- Categoría del sistema
- Localización (Hoja de Ruta)
- Modo de falla (Identificación del Sistema)
- Causa raíz
- Consecuencia
- Actividad realizada
- Tiempo de paro y reparación (MTTR)
- Restablecimiento (fecha/hora)

Mientras que la ISO 55000 establece principios para la gestión de activos, tales como:

- Valor del activo
- Riesgo operacional
- Costo del ciclo de vida
- Disponibilidad operacional
- Gestión del conocimiento y la información

Al integrar ambas normas, véase Tabla A2 en el Anexo A, las bitácoras no solo registran fallas, sino que también generan información útil para la toma estratégica de decisiones, la planificación del mantenimiento, la priorización de recursos y la mejora continua.

En la Tabla A3 en el Anexo A podemos analizar un Checklist detallado de la integración de las normas ISO 14224 más la norma ISO 55000

Integración de las normas

ISO 14224 aporta:

- Códigos técnicos–operativos
- Modos de falla estandarizados
- Datos estructurados MTBF/MTTR
- Registro homogéneo

ISO 55000 aporta:

- Visión estratégica
- Gestión del riesgo
- Disponibilidad operacional
- Análisis costo–beneficio

- Decisiones de gestión de activos

Estrategias estadísticas aplicables

El análisis de bitácoras y datos de uso permite aplicar métodos estadísticos que identifican patrones de falla y relaciones entre variables:

- Estadística descriptiva: medias, desviaciones estándar, percentiles y distribución de fallas según tipo de componente. Ejemplo de tabla de resumen de fallas por componente y misión:

Tabla 3

Estimación de fallas.

Componente	Nº Mantenimientos	Horas operación promedio	% total de mantenimiento
Motor	12	350	30%
Transmisión	8	320	20%
Sistema eléctrico	10	400	25%
Suspensión	9	360	22%
Otros	2	380	3%

Nota. Estas referencias incluyen manuales técnicos como (Otokar, 2021), modelos predictivos de mantenimiento (Singh et al., 2023; Mykich et al., 2024).

Estadística inferencial: regresión lineal y correlación múltiple para determinar qué variables influyen significativamente en la frecuencia de fallas (ejemplo: horas de operación, tipo de terreno, carga). Estudios de Singh et al. (2023) muestran que las horas de motor y

condiciones del terreno explican más del 65% de la variabilidad en fallas críticas de blindados.

- Análisis de confiabilidad: cálculo de MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas) y MTTR (Tiempo Medio de Reparación) permite establecer prioridades en el plan de mantenimiento.

Equipamiento técnico de unidades de mantenimiento

Los talleres militares del Ejército ecuatoriano presentan variabilidad en equipamiento y capacidades técnicas (Ejército Ecuatoriano, 2021):

- Talleres con bancos de prueba electrónicos permiten diagnósticos rápidos de motores y transmisiones.
- Unidades sin equipamiento avanzado dependen de inspecciones visuales y mediciones manuales, incrementando tiempos de reparación y errores de diagnóstico.
- La incorporación de sistemas de telemetría y sensores IoT en futuras mejoras permitiría la implementación de mantenimiento predictivo en tiempo real.

Diseño de Estrategias de Mantenimiento Preventivo y Predictivo

Mantenimiento preventivo según manuales del fabricante

Los manuales de Otokar para Cobra II y los manuales Ural sugieren intervalos de mantenimiento basados en horas de operación y condiciones de misión, incluyendo:

- Inspección y cambio de aceite y filtros.
- Revisión de sistemas hidráulicos y eléctricos.
- Verificación de frenos, suspensión y dirección.
- Control de presión de neumáticos y calibración de sensores.

Estas tareas se deben registrar en bitácoras estandarizadas, indicando fecha, responsable y observaciones, tal como muestra en la Tabla 4:

Tabla 4

Bitácora de Mantenimiento.

Fecha	Componente	Acción realizada	Responsable	Observaciones
01/10/2025	Motor	Cambio aceite y filtro	Técnico A	Normal
02/10/2025	Transmisión	Lubricación y revisión	Técnico B	Observada fuga
03/10/2025	Sistema eléctrico	Verificación sensores	Técnico C	Correcto
03/10/2025	Sistema eléctrico	Verificación sensores	Técnico C	Correcto

Nota. Manuales técnicos como (Otokar, 2021), modelos predictivos de mantenimiento (Singh et al., 2023; Mykich et al., 2024).

Estrategias de mantenimiento predictivo

La literatura reciente destaca el uso de sensores y análisis de datos para predecir fallas antes de que ocurran (Prashant Singh et al., 2023; Mykich et al., 2024):

- Análisis de vibraciones: permite detectar desgastes en rodamientos y engranajes.
- Monitoreo térmico: identifica sobrecalentamientos en motores y transmisiones.
- Telemetría de motores: supervisa revoluciones, presión de aceite, temperatura y consumo de combustible.
- Modelos predictivos ML/IA: algoritmos entrenados con datos históricos generan alertas tempranas de fallas, optimizando planificación de intervenciones.

Integración de normas ISO

El diseño de estrategias preventivo/predictivo se apoya en normas internacionales:

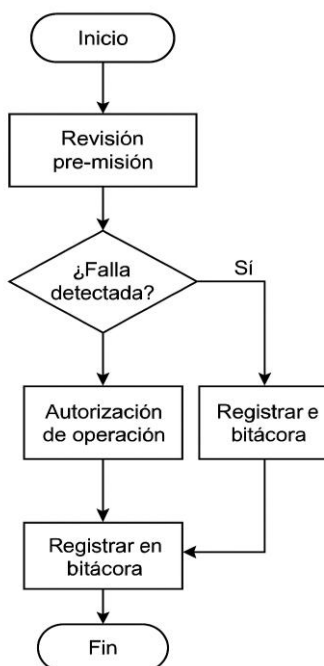
- ISO 14224 (2016): guía la recolección de datos de confiabilidad y mantenimiento.
- ISO 55000 (2024): aporta el marco de gestión de activos, priorización de intervenciones y seguimiento de desempeño.

El uso combinado de estas normas asegura:

- Datos estandarizados y comparables entre unidades y vehículos.
- Priorización de recursos según criticidad y riesgos.
- Base para indicadores de desempeño operativo (disponibilidad, frecuencia de fallas).

Diagrama 4

Diagrama de flujo de fallas (Ejemplo conceptual)



Beneficios de diagramas y plantillas

- Según Moubray (1997), el uso de diagramas y herramientas visuales en mantenimiento permite identificar rutas críticas de fallas, lo que facilita la toma de decisiones sobre intervenciones prioritarias.
- Para Smith y Hinchcliffe (2004), las representaciones gráficas ayudan a establecer prioridades de inspección y reparación, optimizando recursos y tiempos de respuesta.
- De acuerdo con Jardine et al. (2006), los diagramas estructurados y plantillas de registro favorecen el análisis estadístico y el desarrollo de modelos predictivos basados en datos operativos.
- ISO 55000 (2014) e ISO 14224 (2016) destacan que el uso de estructuras estandarizadas de datos y flujos de mantenimiento mejora la trazabilidad, la integración de información y el cumplimiento normativo en sistemas de gestión de activos.

Establecimiento de Indicadores de Evaluación del Plan de Mantenimiento

La evaluación de un plan de mantenimiento efectivo requiere indicadores clave de desempeño que reflejen la disponibilidad, confiabilidad y eficiencia de las unidades operativas. En la literatura técnica y en manuales de fabricantes, los indicadores más utilizados incluyen:

Disponibilidad operativa (Operational Availability, AoA_oAo)

Se define como el porcentaje de tiempo que un vehículo está operativo y disponible para cumplir su misión, respecto al tiempo total de operación planificada, en la Tabla 5 podemos apreciar claramente los indicadores usados para medir la disponibilidad operativa de los vehículos.

Tabla 5

Tabla de Indicadores de Mantenimiento y Frecuencia

Indicador	Fórmula / Definición	Unidad	Frecuencia de Medición.
Disponibilidad operativa (Ao)	Número de horas donde e vehículo permanece activo.	%	Mensual o Trimestral
Tiempo medio entre fallas (MTBF)	Promedio de horas de operación entre fallas críticas	Horas	Mensual o Trimestral
Tiempo medio de reparación (MTTR)	Promedio de horas para reparar fallo crítico	Horas	Mensual o Trimestral
Porcentaje de cumplimiento de mantenimiento preventivo.	Porcentaje de horas usadas para realizar mantenimiento preventivo	%	Mensual

Nota. ISO 55000 (2024) respalda la utilización de la disponibilidad operativa como indicador estratégico; Singh et al. (2023) presenta ejemplos aplicados a vehículos blindados.

Según Mobley (2002), el indicador de disponibilidad operativa (A_o) permite determinar el porcentaje de tiempo en el que un vehículo o sistema se encuentra realmente operativo respecto al tiempo total planificado para su uso. Para ello, se debe aplicar la fórmula:

(1)

$$A_o = \frac{\textit{T tiempo operativo}}{\textit{T tiempo total Planteado}} \times 100$$

Permite cuantificar la eficiencia del equipo en términos de disponibilidad. El desempeño de los vehículos blindados se evalúa con la ayuda de este indicador, el cual también ayuda a identificar áreas del plan de mantenimiento que necesitan mejoras y a establecer medidas de mejora continua basadas en la frecuencia de las fallas y la cantidad de tiempo de inactividad. Su medición debe efectuarse de forma mensual o trimestral, lo que permite analizar tendencias, comparar periodos y tomar decisiones informadas dentro del sistema de gestión de mantenimiento.

Según Wireman (2010), el indicador de porcentaje de cumplimiento del mantenimiento preventivo permite evaluar el grado en que las tareas programadas han sido ejecutadas dentro del periodo establecido. Para su medición, se debe aplicar la fórmula:

(2)

$$\frac{\textit{T tareas completadas}}{\textit{T tareas planificadas}} \times 100$$

Lo cual posibilita cuantificar la adherencia real al plan preventivo y su efectividad operativa. Este indicador es fundamental para determinar brechas de ejecución, mejorar la programación de actividades y optimizar la disponibilidad de los equipos, por lo que su

análisis se recomienda de forma mensual con el fin de detectar tendencias y reforzar la disciplina de mantenimiento dentro de la organización.

Frecuencia de fallas

La frecuencia de fallas, véase Tabla 6, permite identificar los componentes más críticos y la efectividad de intervenciones preventivas.

Tabla 6

Tabla de Frecuencia

Componente crítico	Nº de fallas en periodo	MTBF (horas)	Observaciones / Tendencia
Motor	4	360	Alta confiabilidad
Transmisión	6	280	Requiere revisión preventiva adicional
Sistema eléctrico	3	400	Buen desempeño
Suspensión	5	300	Necesita inspección más frecuente

Nota. Estas referencias incluyen manuales técnicos como (Otokar, 2021), modelos predictivos de mantenimiento (Singh et al., 2023; Mykich et al., 2024).

Tabla 7*Tabla de Mantenimiento Preventivo y predictivo*

Indicador	Fórmula / Definición	Meta propuesta	Frecuencia
Tareas preventivas completadas a tiempo	$\frac{\text{Tareas preventivas realizadas}}{\text{Tareas Planificadas}} \times 100$	$\geq 95\%$	Mensual
Alertas predictivas atendidas	$\frac{\text{Alertas predictivas atendidas}}{\text{Total de alertas}} \times 100$	$\geq 90\%$	Mensual
Reducción de fallas críticas	Comparación de fallas antes vs. después del plan	$\geq 20\%$	Trimestral
Disponibilidad operacional promedio	Promedio mensual de A_o	$\geq 85\%$	Mensual

Nota. Estas métricas derivan directamente de recomendaciones técnicas de fabricantes (Otokar, 2021), modelos predictivos de mantenimiento (Singh et al., 2023; Mykich et al., 2024) y estándares ISO de gestión de activos.

Según Kelly (2006), el indicador de tareas preventivas completadas a tiempo permite medir la eficacia del programa de mantenimiento al evaluar qué porcentaje de las actividades planificadas se ejecutan dentro del periodo estipulado.

Para su cálculo, se aplica la fórmula: (3)

$$\frac{\textit{Tareas preventivas realizadas}}{\textit{Tareas Planificadas}} \times 100$$

Lo que posibilita identificar retrasos, desviaciones y el nivel de cumplimiento operativo. Se considera que un valor igual o superior al 95 % refleja un desempeño adecuado del sistema de mantenimiento y una correcta disciplina operativa. Este indicador debe revisarse mensualmente para asegurar la continuidad del servicio, mejorar la planificación y reducir las incidencias asociadas al incumplimiento del mantenimiento preventivo.

Estas tablas pueden ser utilizadas directamente como formato de seguimiento en talleres de mantenimiento y como base para informes de efectividad en el Ejército ecuatoriano.

Según Jardine, Lin y Banjevic (2006), el indicador de alertas predictivas atendidas permite evaluar la capacidad del sistema de mantenimiento para responder oportunamente a las señales tempranas de deterioro detectadas por los métodos de monitoreo de condición.

Para ello, se utiliza la fórmula: (4)

$$\frac{\textit{Alertas predictivas atendidas}}{\textit{Total de alertas}} \times 100$$

Alertas predictivas atendidas dividido para el total de alertas, multiplicado por cien, lo que permite determinar el porcentaje de intervenciones realizadas frente a las notificaciones generadas por los sistemas predictivos. Un valor igual o superior al noventa por ciento indica un nivel adecuado de reacción operativa, optimiza la prevención de fallas y reduce la probabilidad de averías críticas. Se recomienda medir este indicador mensualmente para garantizar la continuidad operativa y fortalecer la toma de decisiones en mantenimiento basado en condición.

Metodología

Enfoque de la investigación

El alcance de este estudio fue mejorar el plan de mantenimiento de los vehículos blindados Cobra II y Ural utilizados por el Ejército Ecuatoriano. La investigación se llevó a cabo utilizando un enfoque metódico para caracterizar la situación actual. A continuación, se describen los hallazgos parciales pertinentes, así como la metodología, el tipo y el diseño del estudio, los pasos del proceso metodológico, los instrumentos que se utilizaron para la recolección de datos y la manera en que estos fueron procesados. Con el fin de proporcionar un marco que esté alineado con las mejores prácticas, este enfoque se basa en la literatura científica y tecnológica más reciente (2020-2024), así como en los estándares internacionales de mantenimiento.

El estudio es de tipo teórico-descriptivo y propositivo, con énfasis en el modelado conceptual de métodos de mantenimiento basados en la confiabilidad y en la interpretación de la documentación técnica. Esto indica que, en primer lugar, se proporciona una explicación del estado actual del mantenimiento (mediante el uso de datos históricos y documentación técnica) y, posteriormente, se propone un modelo de mejora basado en las teorías y técnicas utilizadas por expertos. El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) y el Mantenimiento Basado en la Condición (CBM) son dos conceptos específicos que se utilizan como marcos conceptuales en este contexto. Mientras que el enfoque propositivo tiene como objetivo crear la solución más efectiva, el enfoque teórico-descriptivo examina y sintetiza la información disponible para comprender los patrones de falla y otras tácticas que ya se están utilizando. A modo de ejemplo, Glenn et al. (2022) destacan la necesidad de combinar el análisis documental con prácticas de RCM/CBM para mejorar el mantenimiento, y Lowman

(2024) sugiere que la transición de un enfoque reactivo a uno proactivo, impulsado por datos, puede mejorar la disponibilidad de la flota. Ambos ejemplos están respaldados por la literatura actual.

En resumen, la investigación no sólo identifica el problema, sino que diseña un modelo de mejora técnicamente justificado.

Desde el punto de vista técnico, el estudio se centra en el análisis de confiabilidad de los sistemas y partes de vehículos blindados. Se implementa RCM como metodología estructurada para analizar funciones del activo, formas de falla y efectos, para definir estrategias efectivas de mantenimiento. RCM no es una única estrategia de mantenimiento, sino que aplica distintas estrategias en función de la criticidad: desde el preventivo programado hasta el CBM o predictivo, pasando por estrategias "run to failure" para piezas de bajo riesgo. Esta mezcla asegura que todo el vehículo sea tratado en la medida de su importancia y en cómo se comportan, siguiendo el principio de máxima fiabilidad al mínimo coste. Pero, a la vez, el estudio es propositivo: desde el diagnóstico teórico, se propone una mejora del plan de mantenimiento, introduciendo en el mismo, donde sea viable, mantenimiento predictivo potenciado por IA. Como indican autores actuales, la implementación de IA y analítica de datos en mantenimiento anticipa fallos y optimiza la planificación de recursos, por lo que se tiene en cuenta en el modelado conceptual de la propuesta.

Tipo y diseño de la investigación

El tipo de investigación es aplicada, ya que busca resolver un problema específico del mundo real (mejorar el plan de mantenimiento de vehículos blindados en el Ejército ecuatoriano) usando el conocimiento científico y tecnológico. Es generar conocimiento aplicable a la toma de decisiones y optimización de procesos de mantenimiento en una

institución en particular. En correspondencia, el diseño es no experimental y transversal. No experimental: no se manipularán intencionalmente variables independientes (no se intervendrá directamente en los vehículos en funcionamiento para compararlos), sino que se observarán y analizarán los datos existentes de forma imparcial. El carácter transversal implica que el análisis se refiere a un período de tiempo específico (por ejemplo, los datos históricos de fallas de los últimos años) sin un seguimiento longitudinal en el tiempo. Se toma el estado actual y reciente del mantenimiento para diagnosticarlo y proponer mejoras teóricas.

Estrategias metodológicas

Revisión bibliográfica exhaustiva: Se recopila y analiza información de manuales técnicos, normas, guías y literatura científica sobre mantenimiento de vehículos militares, RCM, CBM y técnicas predictivas de mantenimiento. La revisión bibliográfica es fundamental en un estudio aplicativo no experimental, ya que proporciona la información y teorías para analizar la situación sin manipularla.


Análisis de datos históricos de fallas:

Se utilizan datos reales de registros de mantenimiento. En específico, para el Cobra II se cuenta con historial de fallas (bitácoras de fallas informadas) y para los vehículos Ural se tienen órdenes de trabajo mensuales del año en curso (documentos facilitados). Estos datos permiten hacer un diagnóstico objetivo del rendimiento y confiabilidad actual de los equipos.

En la Figura 6 se puede apreciar un claro ejemplo de las bitácoras de mantenimiento usadas por el ejército ecuatoriano para dar mantenimiento a sus vehículos, en este caso se observa que se ha trabajado en el vehículo “Cobra” en la sección de chasis, haciendo énfasis en trabajos preventivos y correctivos a las 100 y 500 horas.

Figura 5

Bitácora de Mantenimiento de 100 horas, Vehículo Cobra mes de Enero, Sección – Chasis.

1								ORDEN DE TRABAJO		
2	CENTRO DE MANTENIMIENTO VEHICULOS BLINDADOS							SUBPROCESO: SGL-001		
3	UNIDAD	VEHICULO	TIPO	N° DE CHASIS	N° DE MOTOR	FECHA DE INGRESO	km. ACTUAL	FUNCIONAMIENTO		
4	#jREF!	#jREF!	#jREF!	#jREF!	9111381	2/1/2021	5756	471		
5	MTTO. I NIVEL									
6	ORD	MANTENIMIENTO PREVENTIVO CONSERVATIVO CHASIS 100 HORAS		AJUSTE	CAMBIO	ENGRASAR	INSPECCIÓN	LIMPIEZA	REPARACIÓN	NOMBRE Y FIRMA DEL TÉCNICO
7	1	Fugas.					X			SUAREZ DALTON SGOS. DE C.B
8	2	Aceite del motor.			X					
9	3	Aceite del convertidor.			X					
10	4	Aceite del eje delantero.			X					
11	5	Aceite de los reductores.			X					
12	6	Filtro de combustible.								
13	7	Filtro de aceite del motor.								
14	8	Filtros de aire primario								
15	9	Filtros de aire secundario.								
16	10	Filtro tamiz del depósito								
17	11	Prefiltro					X			
18	12	Separ						X		
19	13	Filtros aceite Eje Delantero								
20	14	Arbol de Enlace				X				
21	15	Tren de rodadura				X				
22	16	Sist. de tensión (Punto muerto)				X				
23	17	Palancas de conducción					X			

Nota. Fotografía en base a los registros históricos de mantenimiento del Ejército ecuatoriano para vehículos blindados tipo Cobra, 2026.

Figura 6

Bitácora de Mantenimiento de 500 horas, Vehículo Cobra mes de Enero, Sección Chasis.

24	MANTENIMIENTO CORRECTIVO 500 HORAS									NOMBRE Y FIRMA DEL TÉCNICO
25	ORDEN	ALINEACIÓN	CHAPISTERIA Y PINTURA	CAMBIO	ENGRASE	REVISIÓN	LIMPIEZA	EPARACIO		
26	1	MOTOR								SUAREZ DALTON SGOS. DE C.B
27	2	Turbinas de refrigeración								
28	3	Válbulas								
29	4	fugas								
30	5	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN								
31	6	Depósitos de combustible								
32	7	Mangeras y válvulas de interconexión								
33	8	Trampa de agua								
34	9	Cañerías de alimentación								
35	10	TREN DE RODADURA				X				
36	11	Ruedas de camino				X				
37	12	Rodillos				X				
38	13	Amortiguadores hidráulicos					X			
39	14	Topes elásticos					X			
40	15	Cramalleras					X			
41	16	sistema de tensión				X				
42	17	Eje delantero	X				X			
43	18	Bandas secas								
44	19	Bandas húmedas								
45	20	Filtros de aceite de la caja de cambios.								
46	21	Filtro de aceite del diferencial								
47	22	Palanca de enclavamiento								
48	23	Chapistería								
49	24	Fallas menores								

Nota. Fotografía a partir de los registros históricos de mantenimiento del Ejército ecuatoriano para vehículos blindados tipo Cobra, 2026.

Diseño teórico fundamentado en Normas ISO

La propuesta de mejora se desarrolla en estándares reconocidos. Como estándares ISO 14224, ISO 55000, EN 13306:2017 y guías de defensa como DoDM 4151.25 del Departamento de Defensa de EE.UU. UU. (manual RCM actualizado 2024). Estas normas proporcionan orientación sobre taxonomía de datos de mantenimiento, gestión de activos, terminología y mejores prácticas de mantenimiento centrado en la confiabilidad. Por ejemplo, ISO 14224 ofrece una estructura jerárquica para clasificar equipos y para recolectar

información de fallas, historial de mantenimiento y datos de confiabilidad, los cuales se utilizan para organizar y analizar los datos de fallas de los blindados. Además, la norma europea EN 13306:2017 ya establece los tipos de mantenimiento y sus definiciones, entre ellas el predictivo como "mantenimiento basado en condición que se lleva a cabo como resultado de una predicción obtenida por el análisis repetitivo de parámetros significativos de degradación". Estos términos normativos encasillan la propuesta teóricamente para ajustarla a definiciones estandarizadas.

Validación conceptual con expertos: Aunque no es un experimento controlado, el diseño contempla comparar las soluciones planteadas con el juicio de expertos (por ejemplo, personal técnico de CEMABLIN, Centro de Mantenimiento de Blindados) para garantizar que las mejoras propuestas sean viables y relevantes para el contexto operativo ecuatoriano.

En suma, la investigación, de tipo aplicado, usa un diseño no experimental que triangula revisión documental, análisis ex post-facto de datos históricos y la construcción de un modelo teórico de mejora. Todo ello en un momento temporal determinado (el momento actual de mantenimiento y datos recientes), con el fin de conseguir resultados aplicables una vez finalizado el estudio.

Método de la investigación

El método de la investigación se organizó en cuatro etapas secuenciales, cada una con objetivos y actividades específicas. Estas etapas incluyen desde la recopilación de datos hasta el diseño final de la propuesta optimizada de mantenimiento. A continuación, se explican las etapas:

Fase I: Recopilación y revisión documental técnico-científica.

La primera fase consistió en realizar una búsqueda exhaustiva y recopilar todos los materiales documentales pertinentes. Además, esto incluyó investigaciones científicas actualizadas sobre mantenimiento predictivo, confiabilidad e inteligencia artificial aplicada al mantenimiento, así como manuales técnicos para los vehículos Cobra II y Ural, y normas y procedimientos de mantenimiento.

Con el fin de comprender los procedimientos de mantenimiento preventivo sugeridos, los sistemas críticos y las frecuencias de servicio, se estudiaron los manuales del Cobra II (Otokar) y la documentación disponible para el Ural. Por ejemplo, la documentación técnica del Cobra II contiene una sección que detalla las inspecciones periódicas (PMCS), las cuales incluyen evaluar el cableado en busca de aislamiento roto o conexiones sueltas y repararlos si es necesario. Además, se debe inspeccionar el motor en busca de fugas o daños que posteriormente podrían resultar en fallas catastróficas. Cuando se trata de mantenimiento preventivo, estas pautas sirven como un estándar de referencia. También se estudiaron los datos históricos de fallas para identificar los tipos recurrentes de problemas reportados.

De manera concurrente con el análisis de las normativas, se revisó la literatura científica más reciente. Junto con la literatura sobre el mantenimiento centrado en la confiabilidad y el mantenimiento basado en la condición, se analizaron estudios sobre mantenimiento predictivo empleando inteligencia artificial (por ejemplo, Narayanan y Padhy, 2023; Sengupta et al., s.f.). El uso de sensores para monitorear las características del motor (temperatura, vibración, fluidos, etc.) y su evaluación mediante inteligencia artificial puede ayudar a pronosticar problemas antes de que ocurran. Esto fue descubierto por Narayanan y Padhy (2023), quienes estudiaron la aplicación de algoritmos de aprendizaje automático para predecir fallas en vehículos blindados. Estos resultados apoyaron la incorporación de

componentes de Mantenimiento Basado en la Condición (CBM) e inteligencia artificial (IA) en el enfoque metodológico.

También se analizaron las siguientes normas relacionadas con la confiabilidad y el mantenimiento: ISO 14224 (recopilación de datos de confiabilidad y mantenimiento, taxonomías e indicadores clave de rendimiento) , ISO 55000 (principios de gestión de activos para alinear el mantenimiento con los objetivos organizacionales), EN 13306 (terminología y definiciones de mantenimiento) y el manual DoDM 4151.25 (una guía para implementar RCM en el Departamento de Defensa, 2024).

Esta última fuente proporciona directrices actualizadas, por ejemplo, que RCM es una parte integral del soporte logístico integrado y que se debe aplicar durante todo el ciclo de vida del equipo para garantizar seguridad, confiabilidad y disponibilidad al menor costo. La etapa I finaliza con un marco teórico y contextual bien fundamentado, que reúne los criterios técnicos y mejores prácticas contra los cuales se medirá el estado actual de los vehículos y se definirán las mejoras.

En la Figura 7 podemos apreciar el ingreso del vehículo “Cobra” a los talleres del ejército ecuatoriano con la finalidad de realizar un proceso de mantenimiento de rutina (100 horas de trabajo).

Figura 7

Vehículo “Cobra II” en los talleres de mantenimiento.



Nota. Fotografía tomada a partir de los mantenimientos en los talleres del Ejército ecuatoriano, 2026.

Figura 8

Vehículo “Ural” en los talleres de mantenimiento.



Nota. Fotografía tomada en base a los mantenimientos en los talleres del Ejército ecuatoriano, 2026.

Fase II: Diagnóstico del estado actual del mantenimiento (análisis de fallas históricas).

En la segunda etapa se realizó un diagnóstico teórico del estado actual de las estrategias de mantenimiento para los Cobra II y Ural, con datos reales. Este diagnóstico incluyó:

Análisis de los datos históricos de fallas del Cobra II: Se analizó el Registro Histórico de Fallas del Cobra II (documento facilitado), identificando las averías más comunes, los subsistemas más afectados y las causas informadas. A estos informes de avería se les realizó un análisis de contenido para clasificarlos (fallos de motor, sistema eléctrico, tren de rodaje, armamento, etc.) y contarlos. Se analizaron también indicadores relacionados, como tiempo fuera de servicio por falla, reparaciones realizadas, etc., en la medida que la información lo permitió. Este análisis reveló vulnerabilidades en el mantenimiento actual (por ejemplo, si hubiera fallas repetitivas en un mismo componente, es señal de que el plan preventivo o la gestión de repuestos es deficiente).

Análisis de las órdenes de trabajo del Ural: De la misma manera, se analizaron las órdenes de trabajo de mantenimiento del vehículo Ural que proporcionaron (registros mensuales de enero a octubre, separadas por unidades como CEMAB, Riobamba, Cuenca, etc.). Cada orden de trabajo incluye información como fecha de emisión, kilometraje de entrada, descripción de los trabajos realizados y fecha de finalización. Se recopiló esta información para generar métricas tales como: tipo de mantenimiento (programado preventivo vs. correctivo emergente), tiempos de ciclo de órdenes (duración de la intervención) y subsistemas en los que se realiza la reparación. Por ejemplo, en las órdenes de trabajo se puede ver el kilometraje de entrada de cada vehículo y el trabajo realizado; si un Ural entra regularmente con los mismos kilometrajes para los mismos trabajos (por ejemplo, cambio de piezas de freno), eso puede ser señal de que el intervalo de mantenimiento no es el adecuado. También se observaron fallos similares al Cobra II o diferencias por el diseño de los Ural, para comparar la fiabilidad entre ambas plataformas.

Evaluación cualitativa en base a la normativa: Con la información recolectada, se comparó la situación actual con los parámetros que se recomiendan en la normativa. Por

ejemplo, ISO 14224 recomienda recolectar indicadores como tasas de falla (λ), tiempos de reparación (MTTR) y modos de falla, para luego utilizarlos en la mejora del mantenimiento.

En el diagnóstico se constató si la unidad militar posee o no tales registros e indicadores calculados. También se tuvo en cuenta la norma EN 13306:2017 para confirmar la terminología utilizada (¿las actividades son programadas por tiempo/uso o condicionadas?, ¿existe falta de prácticas (¿se realiza predictivo o solo correctivo/preventivo?)). Este diagnóstico teórico sirvió para definir la línea base: básicamente, cómo se está realizando el mantenimiento en la actualidad, cuáles son sus puntos fuertes y débiles.

En la Tabla 8 se resumen los principales indicadores de gestión más empleados en el análisis cuantitativo del sistema de mantenimiento. Su importancia es que transforma en datos numéricos comprensibles y comparables la historia fragmentada de fallos y reparaciones, ya sea interna a la institución o en comparación con otras organizaciones o referencias bibliográficas. El MTBF y el MTTR, por ejemplo, son medidas directas de la fiabilidad y la mantenibilidad de los sistemas y subsistemas, y la disponibilidad operativa es la métrica que captura la combinación de ambas y que más interesa en el ámbito militar.

Tabla 8

Indicadores clave de mantenimiento para Cobra II y Ural

Indicador (KPI)	Definición	Fórmula básica	Unidad	Uso en la investigación
MTBF (Mean Time Between Failures)	Tiempo medio entre fallas sucesivas de un	MTBF = Tiempo total de operación / Nº de fallas	Horas / km	Medir la confiabilidad actual y

	sistema o componente.			proyectada de subsistemas.
MTTR (Mean Time To Repair)	Tiempo medio requerido para reparar un sistema o componente.	$MTTR = \Sigma$ tiempos de reparación / N° de reparaciones	Horas	Evaluar la eficacia de las intervenciones de mantenimiento.
Disponibilidad operativa	Proporción de tiempo en que el equipo está disponible para cumplir su misión	$A = MTBF / (MTBF + MTTR)$	%	Comparar situación actual vs. plan optimizado.
Tasa de fallas λ	Frecuencia de fallas por unidad de tiempo.	$\lambda = N^\circ$ de fallas / Tiempo total de operación	Fallas/hora	Analizar criticidad de subsistemas y definir prioridades.
Fallas por 1 000 km	Número de fallas por cada 1 000 km recorridos.	$F/1000 \text{ km} = N^\circ$ de fallas / (km totales / 1000)	Fallas/1000 km	Normalizar el comportamiento entre vehículos y misiones.
Tiempo fuera de servicio (TFS)	Duración en que el vehículo no está disponible por mantenimiento.	$TFS = \text{Fecha/hora fin} - \text{Fecha/hora inicio}$ intervención	Horas / días	Evaluar el impacto logístico de las fallas.

Nota. Dhillon, B. S. (2022). Reliability, maintainability and risk: Practical methods for engineers (9th ed.). CRC Press.

Kahraman, C., & Cebi, S. (2020). Maintenance performance measurement using reliability indicators. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 77, 102949.
<https://doi.org/10.1016/j.ergon.2020.102949>

La incorporación de métricas como fallas/1 000 km o tiempo fuera de servicio proporciona una perspectiva adicional, más enfocada en la realidad de uso de los equipos y su impacto logístico. Estas métricas son significativas donde los vehículos se desempeñan en situaciones exigentes, con terrenos y condiciones variables, como las que se viven en Ecuador. Desde la óptica de la propuesta de mejora, en la Tabla 3.4 no sólo se establece cómo se diagnostica la situación actual, sino también cómo se medirá, en un futuro, el desempeño del nuevo plan de mantenimiento. Es decir, estos KPI son el "cuadro de mando" con el que controlar si la implantación del enfoque RCM–CBM está generando los beneficios previstos en términos de reducción de fallos, tiempos de reparación y mejora de disponibilidad.

Cálculo a partir de Bitácoras de Mantenimiento

Durante el año 2024, el CEMABLIN registra la siguiente información de operación y mantenimiento:

Flota analizada:

- 4 vehículos blindados Cobra II.

Datos del sistema de mantenimiento (Cobra II)

En el periodo enero–diciembre 2024 se obtiene:

- Tiempo total de operación de la flota Cobra II
- Cada Cobra II operó en promedio 1 200 horas en el año.

- Hay 4 vehículos Cobra II.

Entonces, el tiempo total de operación de la flota es:

$$\text{Tiempo total} = 1200 \text{ h/vehículo} \times 4 \text{ vehículos} = 4800 \text{ h}$$

Número total de fallas en el sistema de propulsión (motor + transmisión)

- Se registran 24 fallas en el conjunto motor/transmisión de los 4 Cobra II durante el año.

Tiempo total dedicado a reparaciones del sistema de propulsión

Sumando todas las órdenes de trabajo del año, el tiempo total que los Cobra II estuvieron en reparación por problemas de propulsión fue de 360 horas.

Kilómetros recorridos (para fallas/1000 km)

- La flota de 4 Cobra II recorrió en total 72 000 km en el año.
- En ese mismo periodo, en todos los sistemas se registraron 36 fallas (no solo propulsión, sino eléctricas, frenos, etc.).

Con estos datos, se calcula:

- MTBF del sistema de propulsión (en horas).
- MTTR del sistema de propulsión (en horas).
- Disponibilidad operativa (A).
- Tasa de fallas λ del sistema de propulsión (en fallas/hora).
- Fallas por 1 000 km de la flota (todas las fallas).

Cálculo del MTBF (Mean Time Between Failures)

Fórmula de la Tabla 8:

(5)

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Tiempo total de operación}}{\text{Número de Fallas}}$$

Aplicamos al sistema de propulsión de los Cobra II:

- Tiempo total de operación: 4 800 h
- Número de fallas: 24

$$MTBF = \frac{4800 \text{ h}}{24 \text{ fallas}} = 200 \text{ h}$$

Interpretación:

En promedio, el sistema de propulsión de la flota Cobra II presenta una falla cada 200 horas de operación. Este valor será clave para comparar, en el futuro, el rendimiento antes y después del nuevo plan de mantenimiento. (6)

Cálculo del MTTR (Mean Time To Repair)

$$MTTR = \frac{\Sigma \text{Tiempos de Reparación}}{\text{Número de Reparaciones}}$$

Datos del sistema de propulsión:

- Tiempo total en reparación (suma de todas las Órdenes de Trabajo): 360 h
- Número de reparaciones (igual al número de fallas): 24

$$MTTR = \frac{360 \text{ h}}{24 \text{ reparaciones}} = 15 \text{ h}$$

Interpretación:

Cada vez que el sistema de propulsión de un Cobra II falla, se requieren 15 horas promedio para realizar las reparaciones y devolver el vehículo a condición operativa.

Cálculo de la disponibilidad operativa (A)

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

Con los valores calculados:

- MTBF = 200 h
- MTTR = 15 h

$$A = \frac{200}{200 + 15} = 0,9302$$

En porcentaje:

$$A = 93,0$$

Interpretación:

La disponibilidad operativa teórica del sistema de propulsión de los Cobra II es de aproximadamente 93 %. Es decir, considerando solo fallas de propulsión, los vehículos estarían disponibles para cumplir su misión alrededor del 93 % del tiempo y fuera de servicio el 7 % del tiempo por reparaciones.

En el capítulo de resultados, este número se puede comparar con:

- Disponibilidad objetivo (por ejemplo, >95 %),
- Otros sistemas (Ural, otros vehículos),
- Valores de referencia de otras fuerzas armadas o industrias similares.

Cálculo de la tasa de fallas λ

(8)

$$\lambda = \frac{\text{Número de Fallas}}{\text{Tiempo total de operación}}$$

Datos del sistema de propulsión:

- Número de fallas: 24
- Tiempo total de operación: 4 800 h

$$\lambda = \frac{24}{4800} = 0,005 \text{ fallas/hora}$$

Interpretación:

La tasa de fallas del sistema de propulsión es de 0,005 fallas por hora, o lo que es lo mismo:

- 5 fallas cada 1 000 horas de operación de la flota, o
- 1 falla cada 200 horas (coincide con el MTBF).

Cálculo de fallas por 1 000 km

Ahora usamos los datos globales de la flota Cobra II (todas las fallas, todos los sistemas)

Datos:

- Kilómetros totales recorridos por la flota Cobra II en 2024: 72 000 km.
- Fallas totales (en cualquier sistema): 36 fallas.

$$\text{Fallas por 1000 km} = \frac{\text{Número de fallas}}{\frac{\text{km totales}}{1000}} \quad (9)$$

Sustituyendo:

$$\text{Fallas por 1000 km} = \frac{36}{\frac{72000}{1000}} = 0,5 \text{ fallas/1000Km}$$

Interpretación:

La flota de Cobra II registra 0,5 fallas por cada 1 000 km recorridos, es decir:

- Una falla cada 2 000 km, en promedio, considerando todos los sistemas.

Este indicador es muy útil para:

- Comparar el comportamiento de la flota Cobra II frente a los Ural (por ejemplo, si Ural tiene 0,8 fallas/1000 km, sabremos que en promedio presenta más fallas por unidad de distancia),
- Monitorear si el nuevo plan de mantenimiento reduce esa cifra después de su implementación (por ejemplo, bajar de 0,5 a 0,3 fallas/1000 km).

Cálculo y ejemplo de “tiempo fuera de servicio” (TFS)

En el ejemplo utilizamos ya el total (360 horas en el año), pero puedes mostrarlo también a nivel de una falla específica para que quede más “real”.

Ejemplo puntual:

- Un Cobra II ingresa al taller por una falla de motor el día 10/06/2024 a las 08:00.
- Sale reparado el día 12/06/2024 a las 20:00.

Cálculo del tiempo fuera de servicio (TFS) de esta orden:

- Del 10/06 08:00 al 11/06 08:00 → 24 h
- Del 11/06 08:00 al 12/06 08:00 → 24 h
- Del 12/06 08:00 al 12/06 20:00 → 12 h

$$\text{TFS} = 24 + 24 + 12 = 60 \text{ horas}$$

Se tiene varios casos como este registrados, la suma de todos los TFS de propulsión nos da las 360 h que usamos en el MTTR.

Interpretación:

Esta falla específica dejó al vehículo aproximadamente 2,5 días fuera de servicio. Analizando varios casos como este, se puede identificar fallas que no solo son frecuentes, sino largas y costosas en tiempo, lo que ayuda a priorizar acciones en el plan RCM–CBM (por ejemplo, mantenimiento preventivo más agresivo o rediseño de componentes).

Al finalizar la Fase II, se lograron resultados preliminares importantes: se generó una línea base del desempeño actual del mantenimiento. Esto abarcó tablas y gráficos internos (por ejemplo, una tabla de los principales modos de falla identificados en Cobra II y su frecuencia, gráficos de barras comparativos del número de órdenes de trabajo por mes para los Ural). Además, se desarrolló un cálculo de fallas conceptual para un problema crítico identificado (por ejemplo, falla repetitiva del motor) que ilustra las posibles causas raíz (combustible, lubricación, enfriamiento, prácticas operativas, etc.). Estos datos caracterizaron la situación actual y allanaron el camino para la comparación de metodologías.

Fase III. Comparación de modelos de mantenimiento (RCM, CBM, IA)

En la tercera etapa, con el diagnóstico y el marco teórico definidos, se hizo una comparación entre distintos enfoques de mantenimiento avanzado, para determinar cuál sería más aplicable y beneficiosa para este caso:

Comparación RCM vs. CBM vs. Mantenimiento predictivo con IA: Se compararon las filosofías RCM (Reliability Centered Maintenance), CBM (Condition Based Maintenance) y las aproximaciones de mantenimiento predictivo potenciado por IA. La comparación se realizó a nivel conceptual y de implementación. Por ejemplo, RCM busca mantener la función del sistema, determinando las formas más críticas de falla y las tareas preventivas correctas; CBM, en cambio, se basa en la condición real del activo: estar midiendo parámetros

(vibraciones, temperaturas, etc.) y ejecutar el mantenimiento cuando los datos muestren deterioro, en vez de por calendario. Un mantenimiento predictivo con IA lleva el CBM al siguiente nivel: usa algoritmos de IA para predecir cuándo fallará algo antes de que suceda, analizando montañas de datos históricos y en tiempo real. Se abordaron casos de estudio: Narayanan & Padhy (2023) y Sengupta et al. informan que la IA puede predecir fallas en vehículos militares con más del 95% de precisión, lo que reduce significativamente el tiempo de inactividad. Se analizó cómo estos enfoques podrían resolver las deficiencias identificadas en la Fase II. Por ejemplo, si el diagnóstico arrojó fallas constantes en baterías, ¿RCM sugeriría alguna medida de mantenimiento preventivo en particular? ¿CBM en qué ayudaría (control de voltaje o capacidad de arranque)? ¿Hasta qué punto es posible que una inteligencia artificial predictiva pronostique una falla de la batería basándose en patrones de voltaje y temperatura?

Para evaluar la comparación, se establecieron indicadores clave de rendimiento (KPI). Estos indicadores de mantenimiento incluyen:

MTBF (Tiempo medio entre fallas)

MTTR (Tiempo medio de reparación)

Disponibilidad operativa (%)

Tasa de fallas (λ)

Con base en la información recopilada, se calcularon los valores actuales de estos indicadores para los sistemas considerados críticos. Posteriormente, se demostró cómo podrían mejorar bajo cada uno de los enfoques. Por ejemplo, si actualmente un Cobra II tiene un MTBF de X horas en un subsistema particular, se determinó hipotéticamente cuánto se podría mejorar ese indicador utilizando CBM (detectando el desgaste de manera temprana) o RCM (agregando tareas preventivas específicas).

El análisis se basó en la literatura; por ejemplo, estudios de la industria demuestran aumentos significativos en la confiabilidad cuando el RCM se implementa de manera adecuada (mayor disponibilidad, menores costos). También se consideró la perspectiva logística: tanto Lowman (2024) como nuestra comparación, en la cual utilizamos la disponibilidad operativa como el KPI principal, subrayan la importancia de priorizar la disponibilidad de material como la métrica fundamental durante la fase de mantenimiento de los equipos.

Análisis cualitativo de necesidades: No sólo se compararon resultados potenciales, sino también necesidades de implementación. Se determinó lo que requeriría la unidad para implementar CBM o mantenimiento predictivo: por ejemplo, sensores adicionales en los vehículos (vibración, temperatura de aceite, presión de neumáticos con telemetría), sistemas de adquisición de datos en tiempo real, personal capacitado en análisis de condición, software de IA de apoyo, etc. También qué cambios requeriría RCM: por ejemplo, un análisis de criticidad y FMECA formal de los sistemas del Cobra II y Ural para crear el plan RCM. Esta evaluación se basó en estándares: ISO 14224, que destaca la importancia de datos de calidad para el análisis de confiabilidad, y el manual DoD 4151.25 (RCM 2024), el cual establece que una implementación exitosa de RCM se apoya en tecnologías CBM+ (sensorización, monitoreo continuo) para optimizar las actividades de mantenimiento. De hecho, en el manual se indica que usar RCM potenciado con herramientas CBM+ elimina y optimiza las tareas para un programa de mantenimiento realmente efectivo, lo que apoya la integración de ambas metodologías en nuestra propuesta.

En el análisis de la Fase III, se logró obtener un análisis comparativo. Esto se reflejó en matrices comparativas en las que para cada criterio (confiabilidad, disponibilidad, costo, necesidades, etc.) se calificó en términos cualitativos el desempeño que se espera de RCM, CBM e IA. Por ejemplo, una matriz arrojó que: RCM es muy efectivo en seguridad y

prevención sistemática, CBM es eficiente para prevenir intervenciones innecesarias, e IA predictiva maximiza la anticipación de fallas, pero necesita mayor inversión tecnológica. También se elaboraron gráficos comparativos, como un gráfico radar (Figura 9) de los distintos enfoques ante ciertos indicadores clave, para visualizar qué estrategia contribuye más en cada factor (confiabilidad, costo, complejidad, disponibilidad, etc.). Estos resultados parciales justificaron la siguiente etapa de modelización híbrida apropiada para la realidad estudiada.

Fase IV : Enfoque metodológico del diseño

Elaborar el plan de mantenimiento optimizado se basa en un enfoque sistémico y preventivo-predictivo, ya que los vehículos blindados son activos físicos estratégicos en el sistema logístico-operativo del Ejército ecuatoriano. En este sentido, el mantenimiento ya no es una práctica reactiva, sino un proceso planificado, de gestión de riesgo y de rendimiento del activo durante todo su ciclo de vida, como define la norma ISO 55000 (ISO, 2014).

Metodológicamente, esta etapa usa un enfoque integral en el que se mezclan estrategias de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), Mantenimiento Basado en Condición (CBM) y, paulatinamente, herramientas predictivas potenciadas por IA, escogidas según la criticidad y naturaleza técnica de cada sistema del vehículo (Moubray, 1997; Jardine et al., 2006).

Estructura del plan de mantenimiento

Se utiliza la taxonomía proporcionada por la norma ISO 14224 para estructurar el plan de mantenimiento propuesto de acuerdo con los sistemas y subsistemas de los vehículos Cobra II y Ural. Esta organización permite adaptar las actividades de mantenimiento a cada

sistema individual, en función de sus modos de falla más significativos, su impacto operativo y su comportamiento histórico.

El mantenimiento preventivo, predictivo o correctivo planificado son los tres tipos de mantenimiento que se analizan de forma independiente para cada sistema con el fin de identificar cuál de ellos es el más adecuado. De acuerdo con las mejores prácticas internacionales para la gestión de activos (ISO, 2016), este método evita la aplicación generalizada de las operaciones de mantenimiento y permite asignar los recursos de una manera más efectiva.

Integración de indicadores de desempeño

Un elemento esencial del plan de mantenimiento optimizado son los indicadores de gestión, que permiten medir de forma continua la efectividad del mantenimiento. Entre los indicadores más importantes se tienen: Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), Tiempo Medio de Reparación (MTTR) y la disponibilidad operacional de los vehículos.

Estos indicadores, calculados de acuerdo con la norma ISO 14224, hacen posible el seguimiento del comportamiento del sistema de mantenimiento y la identificación de desviaciones en relación con los objetivos definidos. Desde la óptica de la ISO 55000, el monitoreo periódico de estos indicadores es una herramienta para la toma de decisiones estratégicas en aras de la mejora continua (ISO, 2014).

Gestión de riesgos y priorización de sistemas críticos

En el plan de mantenimiento optimizado se aplica un enfoque basado en el riesgo, donde priorizan los sistemas críticos de los vehículos Cobra II y Ural en términos de seguridad, operación y cumplimiento de la misión. Esta metodología se basa en la norma ISO

55000, la cual define que los activos se deben gestionar en función del equilibrio entre rendimiento, riesgo y coste (ISO, 2014).

La priorización de equipos críticos establece frecuencias de mantenimiento diferenciadas y una asignación de recursos optimizada, disminuyendo la probabilidad de fallas catastróficas y minimizando los tiempos de inactividad. Este criterio es especialmente importante en aplicaciones militares, donde la fiabilidad del equipo afecta directamente a la seguridad del personal.

Herramientas y formatos del plan sugerido

Como parte del diseño metodológico, el plan de mantenimiento optimizado usa herramientas y formatos estandarizados, como bitácoras diarias, órdenes de trabajo estandarizadas y matrices de criticidad basadas en “Normativa Toyota de las 5 S”. Estas herramientas se desarrollan siguiendo los estándares de registro y trazabilidad de la ISO 14224, garantizando la uniformidad y calidad de la información.

La estandarización de los formatos facilita la comunicación entre las áreas operativas y de mantenimiento, facilita el posterior análisis de los datos y fortalece la base para desarrollar estrategias predictivas en el futuro (ISO, 2016).

Resultados esperados de la fase

Como resultado de este análisis se espera obtener un plan de mantenimiento optimizado, estructurado y enmarcado en estándares internacionales, para mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los vehículos blindados Cobra II y Ural. Además, se espera que el plan beneficie en la gestión de los bienes físicos del Ejército ecuatoriano, mejorando la toma de decisiones basada en datos y fomentando la mejora continua del sistema de mantenimiento.

Metodología de desarrollo por sistemas del vehículo blindado Cobra II

El vehículo blindado Cobra II es un vehículo crítico en el parque automotor del Ejército ecuatoriano, por su uso en operaciones tácticas, transporte de personal y misiones en condiciones extremas. Desde la norma ISO 55000, este tipo de activo se debe gestionar en función de cómo contribuye a los objetivos de la organización, el riesgo que implica su falla y cómo se desempeña a lo largo de su ciclo de vida (International Organization for Standardization [ISO], 2014). Por lo tanto, el diseño metodológico del mantenimiento del Cobra II se desarrolla por sistemas, según la estructura de datos sugerida por la norma ISO 14224 (ISO, 2016).

Criterios metodológicos para la desagregación por sistemas

La descomposición del vehículo Cobra II en sistemas se justifica para poder determinar exactamente cuáles son las partes que más influyen en las fallas y la indisponibilidad operacional. Según la norma ISO 14224, el análisis de fiabilidad se debe de hacer a nivel de sistema y subsistema, ya que de esta manera se pueden reconocer patrones de falla más específicos y establecer estrategias de mantenimiento más localizadas (ISO, 2016).

Metodológicamente, la clasificación por sistemas permite establecer criterios de criticidad, combinando la frecuencia de fallas, el impacto operativo y el riesgo al personal. Esta forma se alinea con la gestión de activos descrita en la ISO 55000, donde los recursos se deben priorizar en los activos que generen mayor valor o riesgo a la organización (ISO, 2014).

Sistema de motor

El sistema de propulsión del Cobra II es uno de los sistemas más críticos, porque cualquier falla causa la inoperatividad del vehículo. Elaborar la metodología de

mantenimiento de este sistema, apoyándose en fallas históricas de sobrecalentamiento, pérdida de potencia, falla en el sistema de lubricación, falla en el sistema de inyección.

Siguiendo la norma ISO 14224, todo fallo del motor se documenta detallando el modo de fallo, la causa raíz y la consecuencia operativa. Estos datos ayudan a medir la fiabilidad del sistema y establecer acciones de mantenimiento preventivo y predictivo para minimizar la posibilidad de fallos críticos. Desde la ISO 55000, la priorización del sistema motor se justifica por su gran impacto en la continuidad operativa y en el costo del ciclo de vida del activo (ISO, 2014).

En el diagrama 5 se presenta un organigrama del proceso de mantenimiento aplicando las normas ISO y enfoques de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) y mantenimiento basado en condición (CBM). El proceso se inicia con la recopilación y normalización de los datos operativos y de mantenimiento, identificando de manera ordenada los modos de falla asociados principalmente al sobrecalentamiento, pérdida de potencia, falla de lubricación y falla de inyección. Luego, se realiza el análisis de causa raíz y la evaluación de impactos operacionales para determinar el nivel de criticidad y priorizar el riesgo. Según este nivel de criticidad se definen acciones de mantenimiento predictivo, preventivo o correctivo controlado. A continuación, se realiza la verificación funcional y se actualizan los indicadores de confiabilidad, tales como disponibilidad, MTTR y MTBF. Finalmente, el ciclo se cierra con la retroalimentación al plan de mantenimiento para garantizar la mejora continua en la fiabilidad y disponibilidad del sistema motor.

El diagrama metodológico propuesto utiliza un sistema jerárquico de codificación por colores con significado funcional para facilitar la comprensión del proceso de mantenimiento y reforzar la lógica de la toma de decisiones, de acuerdo con RCM, CBM y las normas ISO 14224 e ISO 55000. El color no se utiliza por razones estéticas, sino para codificar

visualmente los estados, las decisiones, las acciones y los niveles de riesgo dentro del sistema de mantenimiento (Organización Internacional de Normalización [ISO], 2014; ISO, 2016; Moubray, 1997).

El verde se utiliza para las fases iniciales de control y evaluación, como el inicio del proceso y la evaluación de las consecuencias operativas. Estas etapas representan las fases preliminares de análisis, en las que aún no se realizan acciones técnicas, sino que se recopila información y se evalúa el efecto de la falla en la operación del activo, de acuerdo con los principios de evaluación del rendimiento y gestión de riesgos definidos en la gestión de activos (ISO, 2014).

Naranja: Identifica los puntos críticos de decisión, como la clasificación del tipo de falla y la definición de su criticidad. Estas etapas trazan el curso. La información analizada determina las acciones futuras. Esta metodología se alinea con la filosofía RCM, donde las decisiones se basan en el análisis de las consecuencias de las fallas (Moubray, 1997).

El amarillo se asocia con la priorización y programación del mantenimiento, especialmente en contextos de criticidad media. Simboliza condiciones que no requieren acción inmediata, pero sí programación, asignación de recursos y monitoreo: el punto de equilibrio entre riesgo, costo y disponibilidad inherente al mantenimiento basado en la condición (ISO, 2016; Jardine et al., 2006).

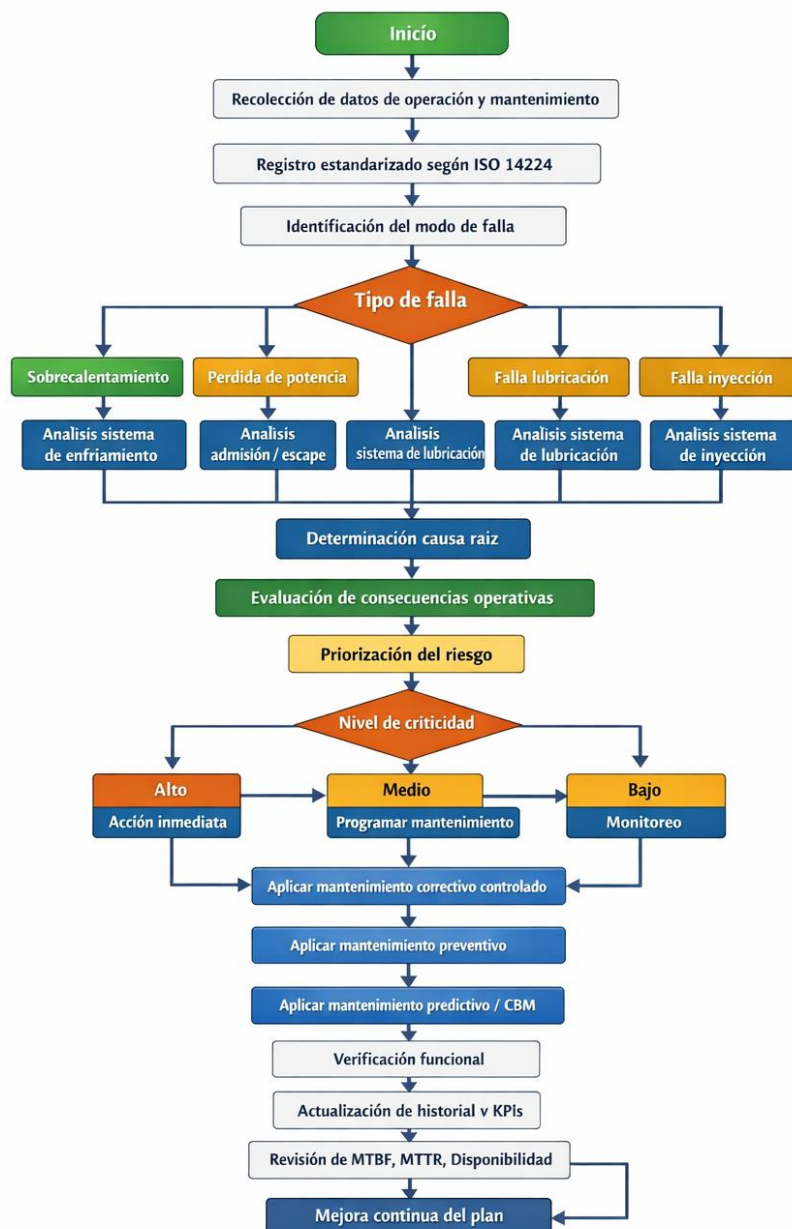
Azul: Acciones técnicas/operativas, análisis de sistemas y aplicación de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo controlado. Este color representa la ejecución real de las acciones de mantenimiento y es el núcleo del proceso, de acuerdo con la estandarización de las acciones técnicas y el registro sistemático de las intervenciones descritas en la norma ISO 14224 (ISO, 2016).

Naranja/Rojo: Alto riesgo o crítico; una falla que afecta la seguridad, la misión o la disponibilidad del activo. Estas situaciones requieren una intervención inmediata, sin demora, de acuerdo con los principios RCM, donde la seguridad y la capacidad operativa del sistema prevalecen sobre cualquier consideración económica (Moubray, 1997; ISO, 2014).

Finalmente, los colores neutros, como el gris o el blanco, representan las etapas de verificación, cierre y retroalimentación, como la verificación funcional, la actualización del historial y el análisis de métricas como el MTBF, el MTTR y la disponibilidad. El color azul oscuro, para la mejora continua del plan, representa el nivel estratégico del sistema y el cierre del ciclo de gestión del mantenimiento, de acuerdo con la mejora continua y la gestión del ciclo de vida de los activos propuesta por la norma ISO 55000 (ISO, 2014; ISO, 2016).

Diagrama 5

Metodología del mantenimiento del motor para el vehículo Cobra II y Ural.



Nota. Diagrama de flujo de la metodología de mantenimiento del sistema del motor del vehículo Cobra II, basado em ISO 14224 e ISO 55000, integrando enfoques RCM y CBM.

Sistema de transmisión

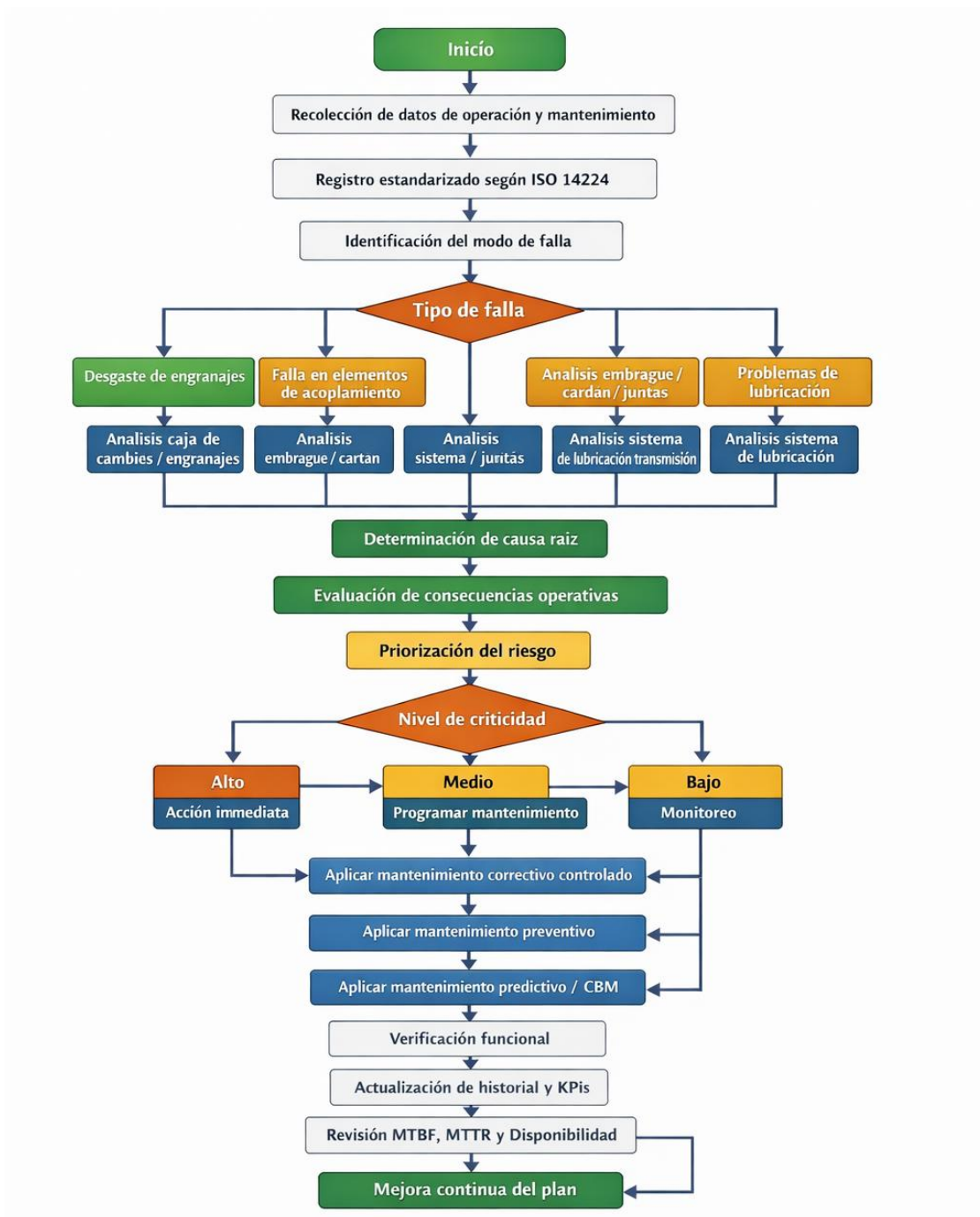
La transmisión del Cobra II y Ural se encarga de pasar la potencia del motor a las ruedas para mover el vehículo en terrenos difíciles. Metodológicamente, el mantenimiento de este sistema se enfoca en fallas relacionadas con desgaste de engranajes, fallas en elementos de acoplamiento y problemas de lubricación.

La utilización de la ISO 14224 permite organizar los datos de fallas del sistema de transmisión, identificando repeticiones y analizando los tiempos de reparación. Con base en estos datos se establecen estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo, priorizando las intervenciones que minimicen el riesgo de fallas repentinas en operación. Esta manera apoya la gestión de riesgo del activo, alineándose con la ISO 55000 (ISO, 2014).

En el diagrama 6 se presenta el proceso de mantenimiento del sistema de transmisión en los vehículos Cobra II y Ural, donde se puede observar que inicia con el registro y codificación de datos de mantenimiento y operación como indica la norma ISO 14224 es la primera etapa del proceso. Esto permite detectar las principales fallas de desgaste de engranajes, fallas en elementos de acoplamiento y problemas de lubricación. Luego, se lleva a cabo el análisis de causa-raíz y la valoración de impacto operacional, lo que permite priorizar el riesgo y definir el nivel de criticidad. Basándose en esta clasificación, se definen acciones de mantenimiento correctivo controlado, preventivo o predictivo para minimizar la probabilidad de fallos repentinos y mejorar la fiabilidad del sistema. Para terminar, se actualizan indicadores como disponibilidad, MTTR y MTBF, cerrando el ciclo con la mejora continua del plan de mantenimiento, enmarcado en la gestión de activos de la norma ISO 55000.

Diagrama 6

Proceso de mantenimiento del Sistema de transmisión para los Vehículos Cobra II y Ural.



Nota. Diagrama de flujo de proceso de mantenimiento del sistema de transmisión para los vehículos Cobra II y Ural, basado en ISO 14224 e ISO 55000, acoplado modelos RCM y CBM.

Sistema de frenos

El sistema de frenos del Cobra II es considerado sistema de seguridad crítica, ya que una falla puede poner en riesgo al personal y afectar la seguridad de las operaciones.

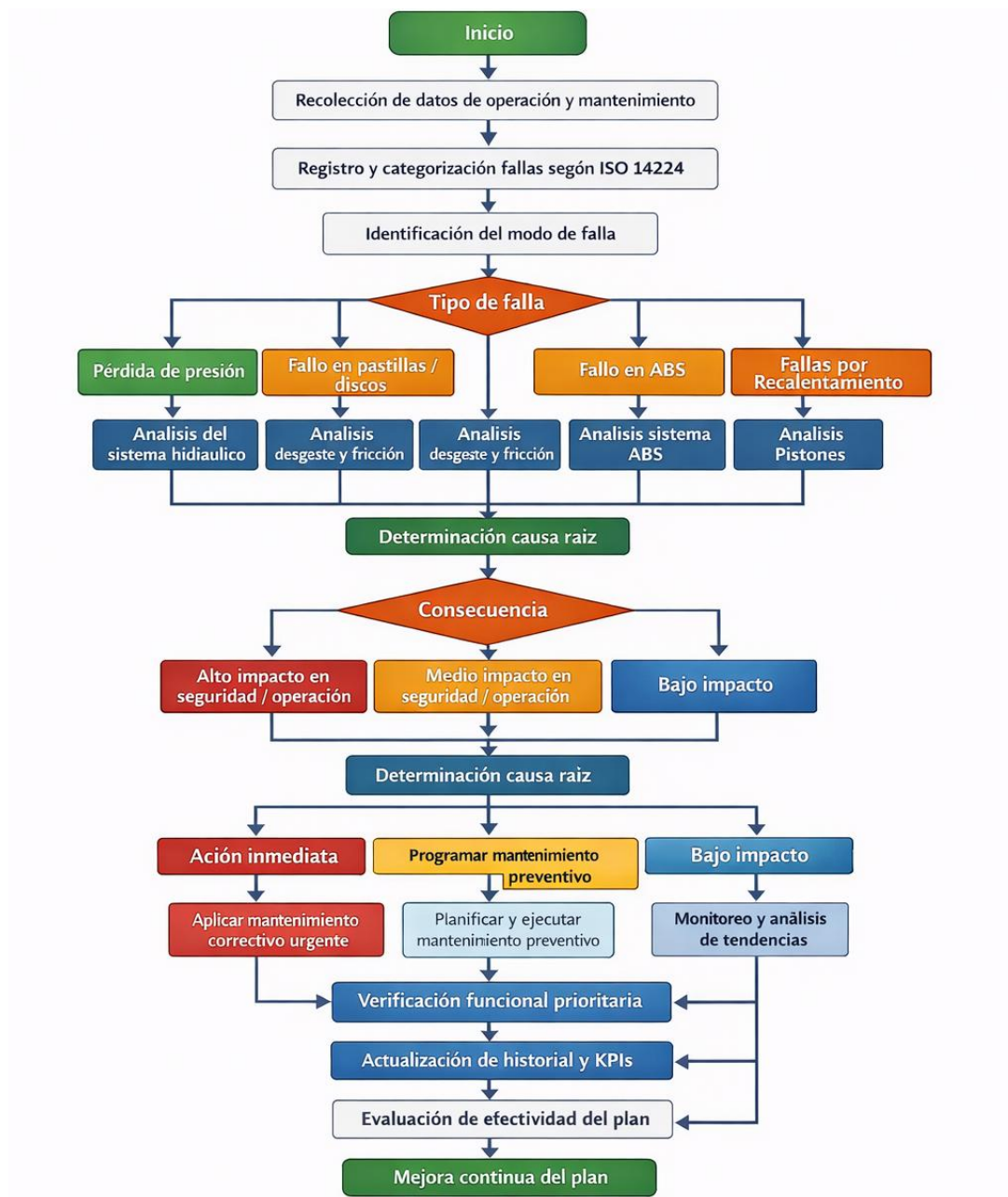
Elaboración metodológica de este sistema se basa en un enfoque de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), identificando fallas funcionales y sus consecuencias.

Según la norma ISO 14224, las fallas en el sistema de frenos se catalogan en función de sus consecuencias para la seguridad y la operación, lo que le otorga alta criticidad al sistema. Desde la perspectiva de la ISO 55000, la priorización del mantenimiento del sistema de frenos se justifica en aras de minimizar riesgos operacionales, incluso si esto implica incurrir en mayores costos de mantenimiento preventivo (ISO, 2014; Moubray, 1997).

En el diagrama 7 muestra de manera ordenada y secuencial el procedimiento recomendado para el mantenimiento del sistema de frenos del vehículo Cobra II y Ural, considerado un sistema crítico para la seguridad. El proceso se inicia con la captura y el registro estandarizado de datos operativos y de mantenimiento, en cumplimiento de la norma ISO 14224. Esto permite identificar y categorizar las principales fallas, tales como pérdida de presión hidráulica, desgaste de discos y pastillas, falla del sistema ABS, entre otras; luego se realiza un análisis de causa raíz y se evalúa el impacto de cada falla en la seguridad del personal y en el vehículo. De este análisis se determina el nivel de criticidad y se definen acciones diferenciadas, desde una acción correctiva inmediata, un preventivo programado o un seguimiento por análisis de tendencias. Para finalizar, se realiza la verificación funcional, se actualizan los KPIs y el historial y se evalúa la efectividad del plan. Se cierra el ciclo con una mejora continua en línea con la norma ISO 55000 de gestión de activos.

Diagrama 7

Proceso de mantenimiento del sistema de frenos de los vehículos Cobra II y Ural.



Nota. Diagrama de flujo de proceso de mantenimiento del sistema de frenos para los vehículos Cobra II y Ural, basado en ISO 14224 e ISO 55000, acoplado modelos RCM y CBM.

Sistema de dirección y suspensión

Los sistemas de dirección y suspensión del Cobra II afectan la estabilidad, maniobrabilidad y control en terrenos irregulares. Metodológicamente, estos sistemas se estudian en conjunto, ya que fallos como desgaste de piezas, fugas en sistemas hidráulicos o deformaciones estructurales son fallos comunes.

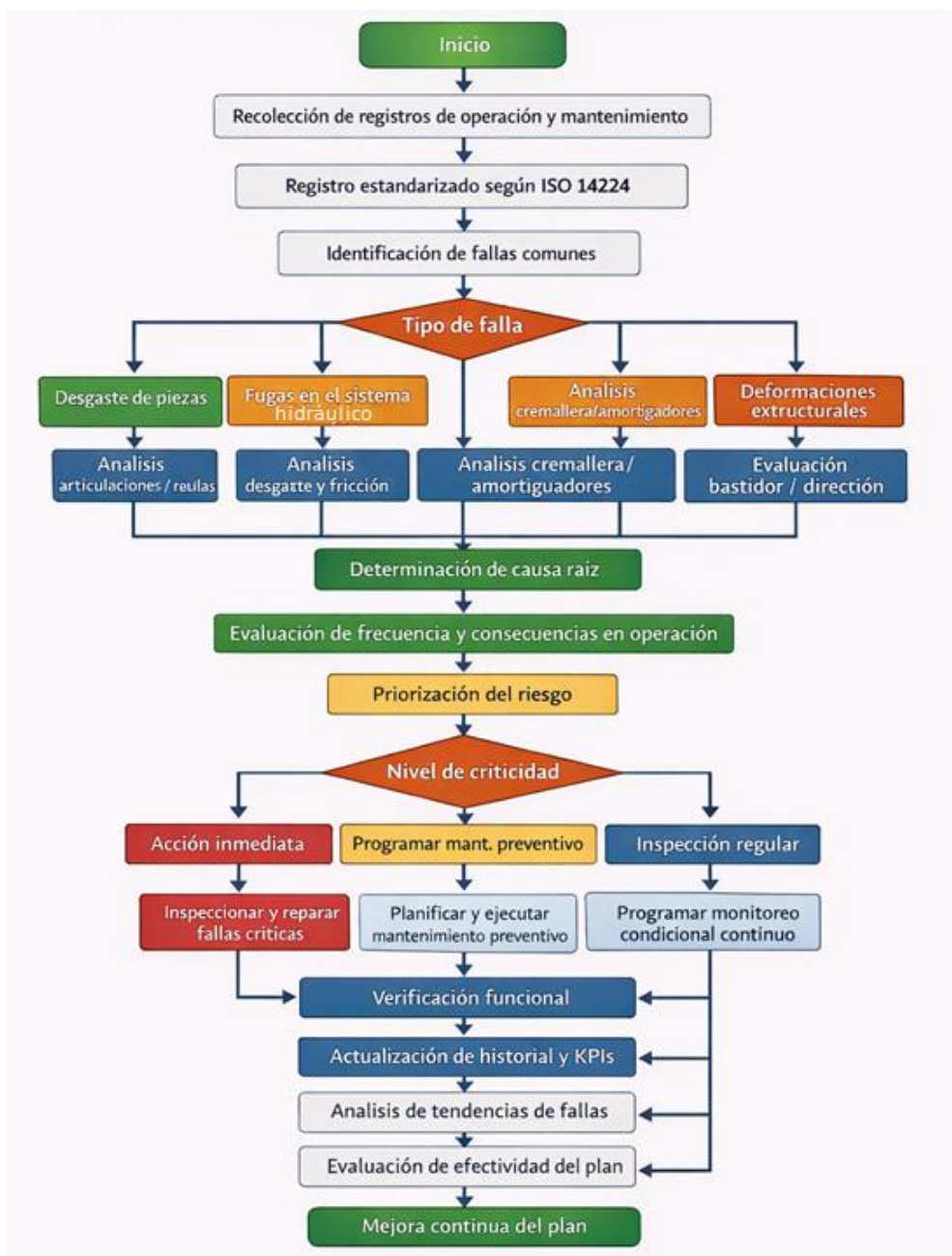
La estandarización de los registros según la ISO 14224 permite analizar la frecuencia de estas fallas y su efecto en la operación. De este análisis se derivan las tareas de inspección regular y mantenimiento preventivo para mantener la integridad estructural del vehículo. Desde la mirada de la ISO 55000, el cuidado de estos sistemas ayuda a prolongar la vida útil del activo y disminuir costos por reparaciones mayores (ISO, 2016; ISO, 2014).

En el diagrama 8 se puede apreciar como el flujograma resume el proceso de mantenimiento del sistema de dirección y suspensión del vehículo Cobra II y Ural, iniciando con la recolección y estandarización de datos según la norma ISO 14224 para identificar fallas comunes. Luego, se analizan las causas y consecuencias de las fallas, lo que permite priorizar los riesgos y definir acciones como el mantenimiento preventivo, la intervención inmediata o las revisiones periódicas. El proceso finaliza con la verificación funcional, la actualización de indicadores y la mejora continua del plan, garantizando la confiabilidad, estabilidad y vida útil del vehículo en cumplimiento de la ISO 55000.

Diagrama 8

Mantenimiento del Sistema de suspensión y Dirección de los vehículos Cobra II y

Ural.



Nota: Diagrama de flujo de mantenimiento en el sistema de dirección y suspensión para los vehículos Cobra II y Ural basado en ISO 14224, integrando enfoques RCM y CBM.

Sistema eléctrico y electrónico

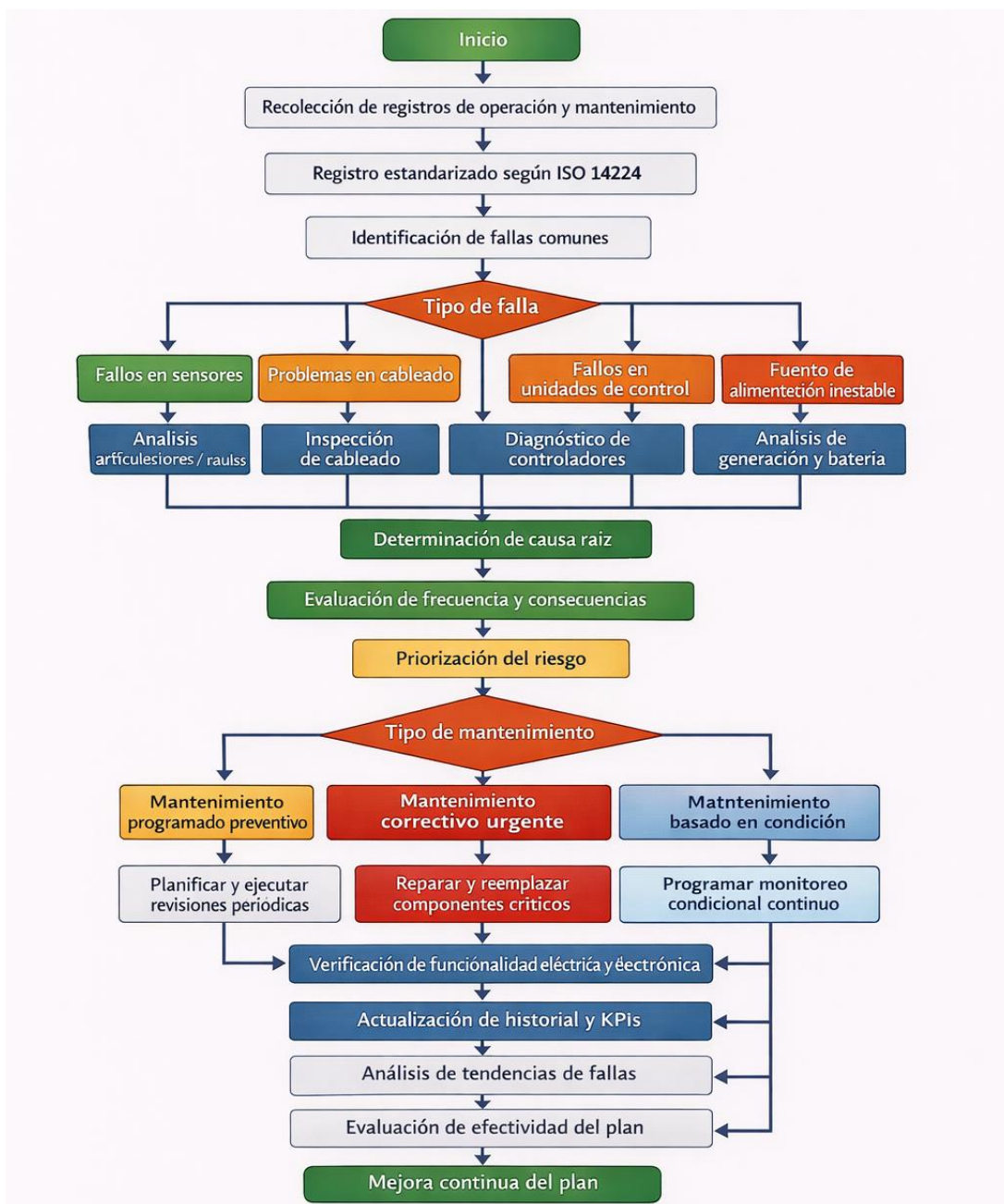
El sistema eléctrico y electrónico del Cobra II incorpora las funciones vitales de arranque, iluminación, control y equipos auxiliares. El diseño metodológico de este sistema se basa en el estudio de fallos en sensores, cableado, unidades de control y fuentes de alimentación.

Metodológicamente, se utilizan criterios de mantenimiento preventivo y correctivo programado, estandarizando los registros según la norma ISO 14224. Esta metodología reduce los tiempos de reparación (MTTR) y aumenta la disponibilidad del vehículo. Desde la perspectiva de la gestión de activos, la ISO 55000 enfatiza que estos sistemas son críticos para el rendimiento general del activo, incluso si no siempre causan fallas mecánicas evidentes (ISO, 2014).

En el diagrama 9 se aprecia el procedimiento de mantenimiento del sistema electrónico y eléctrico del Cobra II . Esta metodología se estructuró a partir de la recopilación y estandarización de los informes de fallas, según la norma ISO 14224. De esta manera se pueden identificar eventos repetitivos en las unidades de control, cables, fuentes de alimentación y sensores. La priorización del riesgo para definir el tipo de mantenimiento adecuado (correctivo urgente, condicionado o preventivo programado) se determina analizando las causas raíz y la frecuencia y consecuencias de las fallas. El proceso finalmente implica verificar la funcionalidad eléctrica y electrónica, actualizar los KPI y retroalimentar el plan; se ajusta a las prácticas de gestión de activos de la ISO 55000 (International Organization for Standardization [ISO], 2014, 2016) y mejora continua.

Diagrama 9

Mantenimiento del sistema eléctrico y electrónico para los vehículos Cobra II y Ural.



Nota. Diagrama de flujo de mantenimientos en los sistemas eléctrico y electrónico para los vehículos Cobra II y Ural basado en ISO 14224, integrando enfoques RCM y CBM.

Integración metodológica del mantenimiento del Cobra II

La metodología por sistemas del Cobra II permite definir una estrategia de mantenimiento diferenciada, donde a cada sistema se le aplica el tratamiento que le corresponda según su criticidad, historial de comportamiento y riesgo operacional. Esta integración metodológica es un input para proponer el plan de mantenimiento optimizado, asegurando que las decisiones se soporten en datos estructurados y criterios normativos internacionales.

La aplicación combinada de la ISO 14224 y la ISO 55000 garantiza que el mantenimiento del Cobra II no se centre en corregir fallas, sino en gestionar el activo y mejorar continuamente el sistema de mantenimiento del Ejército ecuatoriano.

Metodología de desarrollo por sistemas del Vehículo Táctico Ural

El vehículo táctico Ural es un medio de apoyo logístico y operativo del Ejército ecuatoriano, reconocido por su robustez mecánica, gran capacidad de carga y desempeño en condiciones extremas. Desde la ISO 55000, la gestión del Ural se debe enfocar en cómo apoya el cumplimiento de la misión, el riesgo de indisponibilidad y el costo del ciclo de vida, sobre todo en aquellos casos en que estos vehículos tienen más años y kilómetros recorridos (International Organization for Standardization [ISO], 2014). Por lo tanto, el diseño metodológico del mantenimiento del Ural se estructura en un análisis por sistemas, según la taxonomía y criterios de registro definidos en la norma ISO 14224 (ISO, 2016).

Criterios metodológicos para el análisis por sistemas

La descomposición del vehículo Ural en sistemas se justifica para poder detectar fallas repetitivas relacionadas con la antigüedad del activo y las condiciones de operación en campo. Según la ISO 14224, el análisis de fiabilidad se ha de plantear a nivel de sistema y subsistema, para identificar los modos de fallo y causas raíz (ISO, 2016).

Se incorporan criterios de criticidad que consideran la frecuencia de fallas, el impacto operativo y el riesgo a la seguridad. Esta forma se alinea con la gestión de activos descrita en la ISO 55000, que recomienda priorizar la inversión de mantenimiento en función del riesgo y la contribución de cada sistema a la organización (ISO, 2014).

Sistema de motor

El sistema de propulsión del Ural se estudia en términos de su exigencia operativa y antigüedad, lo que aumenta la probabilidad de fallos por desgaste. Metodológicamente, el análisis aborda fallas relacionadas con problemas de combustión, pérdida de eficiencia, fugas de fluidos y fallas en el sistema de enfriamiento.

La ISO 14224 ayuda a organizar los datos de fallas del motor, identificando las principales formas de falla y los tiempos de reparación. Estos datos permiten establecer tareas de mantenimiento preventivo reforzado y correctivo programado para mantener en servicio el vehículo. Desde la mirada de la ISO 55000, la prioridad del sistema motor se debe a que incide directamente en la disponibilidad del activo y en los costos de mantenimiento a largo plazo (ISO, 2014).

En el diagrama 5 se puede apreciar que el proceso se inicia principalmente al identificar una falla ya manifiesta, lo que confirma el carácter principalmente correctivo del sistema actual. Esto se ajusta a las estadísticas logradas, donde el sistema motor del Ural

concentra gran cantidad de órdenes de trabajo superiores a 20 000 horas por desgaste acumulado y mantenimiento diferido.

Sistema de transmisión

El sistema de transmisión del Ural está expuesto a grandes esfuerzos mecánicos, sobre todo en condiciones de transporte pesado y desplazamiento por terrenos irregulares.

Metodológicamente, el mantenimiento de este sistema se enfoca en detectar fallas de desgaste, falta de lubricación y fallas en acoplamientos.

La estandarización de los datos de acuerdo con la ISO 14224 permite analizar la frecuencia de estas fallas y su impacto en la operación. Basado en este análisis, se establecen estrategias de mantenimiento preventivo y correctivo planificado, priorizando la disminución de paradas no programadas. Esta forma apoya la gestión de riesgos del activo, en línea con la ISO 55000 (ISO, 2014; ISO, 2016).

En el diagrama 6, se presenta el flujograma del procedimiento de mantenimiento del sistema de transmisión del vehículo Ural, se expone con la secuencia de operaciones que se llevan a cabo para reparar las fallas en los subsistemas del diferencial, la caja de transferencia y la caja de cambios. El diagrama de flujo señala que el procedimiento comienza, principalmente, con la detección de un error funcional (contaminación en el lubricante, ruidos fuera de lo normal, pérdida de tracción o dificultades para engranar). Esto confirma que el sistema actual está centrado mayormente en el mantenimiento correctivo.

Sistema de frenos

El sistema de frenos del Ural es considerado sistema de seguridad vital, ya que una falla puede provocar situaciones peligrosas en operación, sobre todo en condiciones de carga y pendiente. El diseño metodológico de este sistema se basa en un enfoque de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) y en prevenir fallas funcionales que afecten la capacidad de frenado (Moubray, 1997).

Según la ISO 14224, las fallas en el sistema de frenos se catalogan según su efecto en la operación y en la seguridad. Desde la norma ISO 55000, la priorización de dicho sistema se justifica en aras de reducir riesgos operativos, aunque esto implique aumentar las actividades de mantenimiento preventivo (ISO, 2014).

En el diagrama 7 se puede observar el flujograma del proceso de mantenimiento del sistema de frenos del vehículo Ural, donde se puede apreciar la secuencia de pasos para detectar, diagnosticar y solucionar fallas en las partes del sistema de frenos. En el diagrama se observa que el proceso se inicia generalmente con la manifestación de síntomas funcionales (pérdida de capacidad de frenado, vibraciones, ruidos anormales, fuga de líquido o desgaste excesivo de las pastillas). Esto evidencia que el enfoque actual está puesto en el mantenimiento correctivo.

Suspensión y chasis

La suspensión y el chasis del Ural son responsables de la estabilidad estructural y la protección de los sistemas mecánicos en condiciones todoterreno. Metodológicamente, estos sistemas se estudian como fallos relacionados con fatiga estructural, deformaciones y desgaste de elementos elásticos.

La norma ISO 14224 ayuda a reconocer fallas y definir frecuencias de inspección en función de la criticidad. Desde la administración de activos, la ISO 55000 enfatiza en conservar la integridad física del activo como un medio para prolongar su vida útil y disminuir costos por reparaciones mayores (ISO, 2014; ISO, 2016).

En el diagrama 8 se muestra el flujograma del proceso de mantenimiento del sistema de suspensión del vehículo Ural, el cual describe la secuencia de operaciones para corregir fallas y mantener en condiciones de trabajo las piezas encargadas de absorber cargas, regular la dinámica y estabilizar el vehículo. En el gráfico se observa que el procedimiento se inicia principalmente cuando se detectan síntomas funcionales, tales como vibraciones excesivas, ruidos anormales, inestabilidad al andar, desgaste irregular de neumáticos o averías evidentes en bujes, rótulas, pernos guía y elementos elásticos. Esto muestra que la estructura actual tiende más a ser correctiva.

Sistema eléctrico

El sistema eléctrico del Ural es propenso a fallos repetitivos relacionados con el envejecimiento de piezas, conexiones deficientes y limitaciones tecnológicas inherentes al diseño del vehículo. Metodológicamente, el mantenimiento de este sistema se basa en la detección temprana de fallas a través de inspecciones regulares y registros estandarizados según la ISO 14224.

Esta metodología reduce los tiempos de reparación (MTTR) y aumenta la disponibilidad del vehículo. Desde la ISO 55000, el sistema eléctrico, a pesar de que no siempre se considera como un sistema crítico, influye en la disponibilidad general del activo, en particular en los sistemas de arranque e iluminación (ISO, 2014).

El diagrama 9, que ilustra el flujo del proceso de mantenimiento del sistema eléctrico del vehículo Ural, muestra la serie de acciones llevadas a cabo para identificar, diagnosticar y corregir errores en los subsistemas eléctricos como el cableado, los fusibles, los conectores, el alternador, el sistema de carga, arranque e iluminación. El diagrama muestra que el procedimiento comienza, en la mayoría de las situaciones, con la manifestación de una falla funcional, como no poder arrancar, un fallo intermitente en la iluminación o que se pierda la alimentación de ciertos circuitos. Esto confirma que el esquema actual tiene un enfoque mayormente correctivo.

Integración metodológica del mantenimiento del Ural

El desarrollo metodológico por sistemas del vehículo Ural permite establecer una estrategia de mantenimiento diferenciada, adaptada a su antigüedad, características técnicas y condiciones de operación. La integración de estrategias preventivas, correctivas planificadas y, de manera progresiva, enfoques basados en condición, garantiza una gestión más eficiente del activo.

La aplicación combinada de la ISO 14224 y la ISO 55000 garantiza que el mantenimiento del Ural se centre en la prevención de fallas y en la gestión del ciclo de vida del activo, mejorando continuamente el sistema de mantenimiento del Ejército ecuatoriano.

Técnicas e instrumentos de recolección de información

Para realizar las etapas descritas se utilizaron distintas técnicas de recolección y análisis de información, triangulando fuentes documentales y experienciales:

Revisión documental y análisis de contenido: Como se describió en la Fase I, se recopilaron documentos (manuales, normas, artículos, registros de fallas, órdenes de trabajo) y se extrajo información de ellos. Se aplicó el análisis de contenido para procesar los registros

de fallas y órdenes de trabajo: se leyeron todos los registros de falla u orden de trabajo, se codificaron en categorías predefinidas (tipo de falla, componente, causa, solución, etc.) y se tabularon. Se soportó dicho proceso con instrumentos ofimáticos (por ejemplo, hojas de cálculo para tabular la información de las órdenes de trabajo Ural mes a mes, permitiendo filtrarlas y contarlas).

La revisión documental abarcó la consulta de literatura científica; se hizo énfasis en seleccionar citas textuales o parafraseadas de alta pertinencia para argumentar puntos específicos del marco teórico (por ejemplo, definiciones normativas, hallazgos de investigaciones previas). Todas las fuentes se manipularon garantizando su cita bibliográfica correcta para anexarlas al documento de tesis.

Entrevistas semiestructuradas a técnicos: Como los documentos no siempre reflejan la realidad, se realizaron entrevistas a técnicos clave. En concreto, se entrevistó a ingenieros y mecánicos del CEMABLIN (Centro de Mantenimiento de Blindados) y de unidades de mantenimiento regionales (por ejemplo, personal que tiene a cargo los Ural en Riobamba o Cuenca). Las entrevistas fueron semiestructuradas, guiadas por una pauta de temas como: principales problemas de mantenimiento de Cobra II/Ural, limitaciones actuales (ejemplo: falta de equipos de diagnóstico, falta de repuestos), experiencia con alguna estrategia de mantenimiento predictivo que hayan intentado, viabilidad de implementar nuevas estrategias. Estas entrevistas aportaron información cualitativa, verificando si las causas de fallos encontradas en la documentación coinciden con la experiencia del personal y recogiendo sus sugerencias prácticas (por ejemplo, un técnico que señale que cierto sensor del Cobra II falla con frecuencia y por eso da lecturas erróneas, información empírica que no se encuentra en la documentación, pero que es esencial para ajustar la propuesta).

Observación y chequeo en sitio: Siempre que fue posible se visitaron talleres o se presenciaron procedimientos de mantenimiento de rutina. Esta observación sirvió para poner en contexto la información, por ejemplo, chequear cómo se encuentra realmente un vehículo en reparación, las condiciones del taller, el flujo actual desde que se detecta una falla hasta que se repara. Se tomaron notas de campo en estas observaciones, las cuales enriquecieron el análisis documental (añadiendo datos reales a la información).

En la Tabla 9 se resume la arquitectura de técnicas e instrumentos que soportan la recolección y el procesamiento de la información en la investigación. Metodológicamente, esta matriz ejemplifica el principio de triangulación, al ilustrar cómo se integran diferentes fuentes y métodos para lograr una comprensión más rica y confiable de la realidad. La revisión documental proporciona la base teórica y legal; el análisis de contenido organiza la información de los registros históricos; las entrevistas semiestructuradas incorporan la experiencia práctica del personal técnico; y la observación directa verifica la información documental con la realidad del taller.

Tabla 9

Técnicas e instrumentos de recolección de información

Técnica	Finalidad principal	Fuentes de información	Instrumentos específicos
Revisión documental	Construir marco teórico y normativo; identificar mejores prácticas.	Manuales, normas, artículos científicos, guías militares.	Fichas de lectura, matrices bibliográficas, gestores de referencias.

Análisis de contenido	Clasificar y cuantificar fallas, actividades, modos de falla.	Registros de fallas, órdenes de trabajo, bitácoras.	Hojas de cálculo, plantillas de codificación, tablas de frecuencias.
Entrevistas semiestructuradas	Obtener experiencia práctica y juicio experto.	Ingenieros, mecánicos, jefes de taller, personal de CEMABLIN.	Guía de entrevista, grabadora, notas de campo.
Observación directa	Verificar cómo se ejecuta realmente el mantenimiento.	Talleres, vehículos en intervención, flujo de órdenes.	Listas de chequeo, cuaderno de campo, fotografías (autorizadas)
Análisis estadístico descriptivo	Calcular KPIs y resumir patrones de fallas.	Datos codificados de registros y órdenes de trabajo.	Software de oficina (Excel) y, si aplica, software estadístico.
Análisis causal (RCA, Ishikawa, FTA)	Identificar causas raíz y relaciones entre eventos	Casos de fallas críticas seleccionadas	Plantillas de diagramas, software de diagramación, matrices de causa–efecto.
Análisis multicriterio	Comparar modelos RCM, CBM e IA según criterios relevantes.	Literatura, opinión de expertos, resultados diagnósticos.	Matrices de evaluación, hojas de cálculo para ponderaciones y puntuaciones.

Nota. Flick, U. (2022). An introduction to qualitative research (7th ed.). SAGE Publications.

Yin, R. K. (2020). Case study research and applications: Design and methods (6th ed.). SAGE Publications.

Además, la Tabla 9 recalca la necesidad de tener las herramientas apropiadas para cada técnica. Las hojas de cálculo y las plantillas de codificación permiten no solo realizar los cálculos estadísticos, sino también rastrear los datos, lo cual es esencial para la fiabilidad del estudio. Los diagramas causa-efecto y los árboles de fallas son representaciones gráficas que permiten identificar puntos críticos del sistema. En resumen, la Tabla A3 en los Anexos A muestra un diseño metodológico sólido, que no depende de una única fuente de información, sino que triangula la información para fortalecer la validez de los resultados y la propuesta final.

Matriz comparativa y técnicas multicriterio de evaluación: Para la etapa comparativa (Fase III) se elaboraron matrices donde se enumeraron criterios de evaluación (confiabilidad, disponibilidad, costo, complejidad, etc.) frente a cada modelo (RCM, CBM, IA). Se codificaron juicios cualitativos (por ejemplo: Alto, Medio, Bajo) o semicuantitativos para cada combinación, según la evidencia encontrada. Esta técnica facilitó la evaluación estructurada de las alternativas de mantenimiento. También se aplicó un método multicriterio simple: ponderar la importancia de cada criterio para la organización (por ejemplo, para el Ejército puede ser más importante la disponibilidad operativa y la seguridad que el coste) y en función de ello ponderar qué modelo ofrece más. Esto se hizo como ejemplo para apoyar la recomendación final.

En la Tabla 10 se presenta una comparación resumida pero completa de las fortalezas, debilidades y necesidades de los métodos de mantenimiento RCM, CBM/CBM+ e IA predictiva. Desde el punto de vista analítico, ninguna estrategia por sí sola es suficiente para hacer frente a la complejidad de los vehículos blindados y su entorno operativo, sino que se requiere un enfoque híbrido. RCM es excelente para ofrecer la estructura lógica para establecer funciones, formas de falla y tareas justificadas, pero no es muy reactivo en tiempo real a menos que se conecte con datos de condición. CBM/CBM+ por otro lado, provee la

sensibilidad para reaccionar a la forma en que se degradan en realidad los componentes (en caso de que exista una sensorización apropiada y un sistema confiable de captura de datos).

Tabla 10

Matriz comparativa de enfoques RCM, CBM e IA predictiva

Criterio	RCM	CBM / CBM+	IA predictiva aplicada al mantenimiento
Objetivo principal	Garantizar funciones del sistema con tareas justificadas por confiabilidad.	Ejecutar mantenimiento según condición real del activo.	Anticipar el instante probable de falla antes de que la degradación sea crítica.
Tipo de datos requeridos	Historial de fallas, funciones, modos de falla, consecuencias.	Datos de sensores (vibración, temperatura, presión, voltaje.	Datos históricos + datos en tiempo real, gran volumen para entrenamiento.
Impacto en MTBF	Aumento moderado–alto.	Aumento alto.	Aumento muy alto.
Impacto en MTTR	Ligera reducción.	Reducción moderada.	Reducción significativa.
Requerimientos tecnológicos	Medios (herramientas de análisis, matrices FMEA/FMECA, capacitación).	Medios–altos (sensores, adquisición de datos, software de diagnóstico).	Altos (infraestructura de datos, IA, almacenamiento, cómputo).

Complejidad de implementación	Media	Media–alta	Alta
Alineación con normas	Alta (manuales RCM, normas de mantenimiento).	Alta (guías CBM+, programas de mantenimiento militar modernos).	Tendencia emergente (Maintenance 4.0, pilotos en defensa).
Ventaja principal	Estructura plana y lógica para diseñar planes robustos.	Optimiza la frecuencia y necesidad real de intervenciones.	Maximiza la anticipación y la disponibilidad.
Desventaja principal	Menor sensibilidad a condición en tiempo real sin integración CBM.	Requiere sensorización y gestión de datos adecuada.	Alta complejidad técnica y necesidad de datos de alta calidad Requiere sensorización y gestión de datos adecuada.

Nota. Department of Defense. (2024). DoD 4151.22-M: Reliability-Centered Maintenance (RCM) Guidebook. U.S. Department of Defense.

Narayanan, S., & Padhy, N. (2023). Machine learning–enabled predictive maintenance for military vehicles: A review. *Defense Technology*, 19(3), 451–465.

<https://doi.org/10.1016/j.dt.2022.02.007>

El mantenimiento predictivo basado en IA (tercera columna) surge como una evolución natural del CBM, capaz de no solo reaccionar ante la degradación detectada, sino de predecir el momento más probable de fallo en función de patrones aprendidos por

algoritmos. Pero la matriz muestra que este último necesita mucha más infraestructura de datos y capacidad tecnológica, lo que lo convierte, para el Ejército ecuatoriano, en un objetivo de mediano a largo plazo y no de implementación inmediata..

En cuanto a herramientas, más allá de los documentos en sí, se emplearon: computadoras con software de oficina (Excel para organizar datos numéricos, Word para fichas de lectura de literatura, software para análisis cualitativo en caso de que aplicara para codificar entrevistas), grabadoras de voz o notas escritas para entrevistas (siguiendo protocolos éticos y de confidencialidad cuando fue necesario) y herramientas de comunicación para consultar dudas con expertos (por ejemplo, correo electrónico para aclarar con algún autor de norma técnica alguna duda). Todos estos instrumentos permitieron recolectar de manera precisa y organizada la información requerida para alcanzar los objetivos de cada fase.

Recopilación de datos y presentación de resultados preliminares

El procesamiento de la información recopilada se llevó a cabo utilizando métodos de análisis cualitativo y cuantitativo, generando entregables parciales que sirvieron para la elaboración del capítulo de resultados y discusión. A continuación, se explica cómo se trataron los datos y cómo se combinaron los resultados parciales en la investigación:

Limpieza y cuantificación de datos de fallas: Los datos recopilados de los registros de fallas y órdenes de trabajo (Fase II) se limpiaron eliminando duplicados o información irrelevante y posteriormente se cuantificaron. Se calcularon indicadores tales como: fallas totales por subsistema, promedio de fallas por vehículo al año, distribución de fallas por causa (cuando se especificaba), tiempos promedio de reparación, etc. Estos cálculos dieron un diagnóstico numérico de la situación. Se elaboraron cuadros resumen, por ejemplo, los principales KPI actuales de mantenimiento de los Cobra II: MTBF estimado (en horas de

funcionamiento) de sistemas como motor, transmisión, sistema eléctrico; MTTR medio por tipo de intervención; disponibilidad estimada de la flota (%). Estos indicadores son la línea base contra la cual se proyectan mejoras. Cabe mencionar que algunos datos tuvieron que ser inferidos por falta de información en los registros (por ejemplo, si no se encontraba explícitamente el tiempo fuera de servicio, se calculó a partir de las fechas de inicio y fin de las órdenes de trabajo).

Análisis cualitativo y diagramas causales: Los datos textuales de las descripciones de fallas y las entrevistas se codificaron cualitativamente para determinar las causas subyacentes y los patrones. Se utilizó la técnica de análisis de causa raíz (RCA), apoyado en la elaboración de diagrama de Ishikawa o árbol de fallas para incidentes seleccionados. Por ejemplo, se eligió una falla crítica (falla del sistema de enfriamiento del motor del Cobra II) y se desarrolló un análisis de fallas visualizando las causas posibles: falta de mantenimiento del radiador, mangueras dañadas, error humano (el operador olvidó rellenar con refrigerante), defecto de fábrica, etc. Este ejercicio dejó claro en qué puntos podría intervenir el plan de mantenimiento propuesto para cortar la falla de raíz.

Esta metodología permite visualizar rápidamente las combinaciones de eventos que pudieron haber causado la falla principal y, por lo tanto, los puntos de intervención en el plan de mantenimiento.

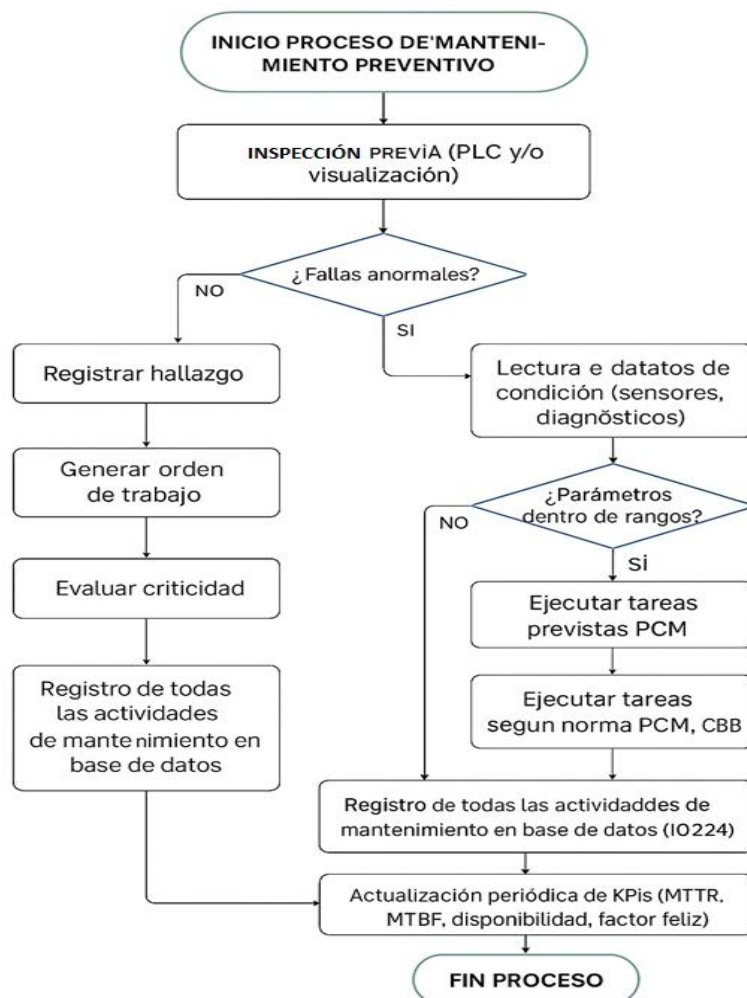
Propuesta Aplicativa

El análisis de las bitácoras existentes evidenció deficiencias significativas en la calidad y consistencia del registro de información, particularmente en los meses iniciales y en los sistemas críticos de los vehículos URAL y Cobra II. Estas limitaciones impiden la correcta aplicación de indicadores de confiabilidad y la implementación efectiva de modelos RCM, CBM e IA.

En este contexto, se propone un formato de bitácora de mantenimiento estandarizado, véase en Tabla 11, alineado con los requerimientos de la ISO 14224 para la recolección de datos de mantenimiento y con los principios de gestión de activos de la ISO 55000, integrando además la metodología 5S de Toyota como soporte organizacional y de disciplina operativa. (International Organization for Standardization [ISO], 2014; ISO, 2016; Liker, 2004).

Diagrama 5

Proceso de Mantenimiento Preventivo



Nota. Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2022). Designing and conducting mixed methods research (4th ed.). SAGE Publications.

Estructura del formato de bitácora de mantenimiento (ISO 14224)

Tabla 11

Formato propuesto de bitácora de mantenimiento estandarizada

Sección	Campo	Descripción técnica del campo	Propósito según ISO 14224 / ISO 55000
1. Identificación del activo	Código del activo	Código único asignado al vehículo (ej.: EE-10-U-005 / EE-10-C-014).	Permite la trazabilidad histórica del activo y su gestión durante todo el ciclo de vida.
	Tipo de vehículo	Clasificación del activo: URAL o Cobra II.	Segmentación de datos por familia de activos para análisis comparativo.
	Unidad militar / Taller	Unidad o taller responsable del mantenimiento.	Evaluación del desempeño por unidad organizacional.
2. Información operativa	Ubicación geográfica	Ciudad o destacamento donde se ejecuta la intervención.	Análisis del efecto del entorno operativo sobre la confiabilidad.
	Fecha de ingreso	Fecha y hora de ingreso del vehículo al taller.	Base para cálculo de tiempos fuera de servicio.

	Fecha de salida	Fecha y hora de salida del vehículo.	Determinación de disponibilidad operativa.
	Horas de operación / Kilometraje	Horas motor o kilómetros acumulados al momento de la falla.	Variable fundamental para el cálculo de MTBF
	Condición operativa	Operativo / Operativo con restricciones / No operativo.	Evaluación del impacto de la falla en la misión.
3. Clasificación del mantenimiento	Tipo de mantenimiento	Preventivo, correctivo, predictivo o inspección	Análisis de la proporción de mantenimiento reactivo vs. planificado.
	Nivel de mantenimiento	Organizacional / Intermedio / Mayor.	Clasificación del alcance técnico de la intervención.
4. Sistema según ISO 14224	Sistema principal	Sistema afectado: frenos, transmisión, dirección, suspensión, eléctrico, hidráulico.	Estandarización de la taxonomía de fallas.
	Sub-sistema	Componente específico dentro del sistema (ej.: pastillas de freno, caja automática).	Mayor precisión en el análisis de confiabilidad.

	Componente	Elemento exacto intervenido.	Identificación de componentes críticos recurrentes.
5. Información de la falla	Síntoma observado	Manifestación inicial de la falla (ruido, vibración, fuga, pérdida de potencia).	Registro objetivo del evento de falla.
	Modo de falla	Tipo de falla: desgaste, rotura, desalineación, contaminación.	Clasificación técnica conforme a ISO 14224.
	Causa raíz preliminar	Origen probable de la falla: uso severo, falta de lubricación, fatiga.	Base para análisis causa-raíz y RCM.
	Consecuencia de la falla	Seguridad, operación, costo o impacto en la misión.	Priorización de fallas críticas mediante RCM.
6. Intervención de mantenimiento	Acción ejecutada	Reparación, ajuste, limpieza, reemplazo, calibración.	Evaluación de la efectividad del mantenimiento.
	Procedimiento aplicado	Referencia al manual técnico o procedimiento estándar.	Asegura cumplimiento de instrucciones del fabricante.

	Repuestos utilizados	Código, descripción y cantidad de repuestos instalados	Control logístico y análisis de costos.
7. Tiempos de mantenimiento	Tiempo de diagnóstico	Horas empleadas en identificar la falla.	Identificación de cuellos de botella técnicos.
	Tiempo de reparación	Horas efectivas de intervención técnica.	Base directa para el cálculo de MTTR.
	Tiempo total fuera de servicio	Tiempo total desde ingreso hasta salida.	Cálculo de disponibilidad operativa.
8. Recursos humanos	Técnico responsable	Nombre o código del técnico ejecutor.	Evaluación del desempeño técnico.
	Inspector / Supervisor	Responsable de la verificación final.	Control de calidad del mantenimiento.
9. Verificación final	Prueba funcional	Resultado de pruebas posteriores a la intervención.	Confirmación de restablecimiento operativo.
	Condición final del activo	Operativo / Observación / Requiere seguimiento.	Seguimiento post-mantenimiento.
10. Observaciones y mejora continua	Observaciones técnicas	Comentarios adicionales relevantes.	Retroalimentación para mejora del plan.
	Recomendación futura	Ajuste de frecuencia, inspección adicional, CBM.	Transición hacia mantenimiento predictivo.

Registro 5S	Orden, limpieza y condición del área de trabajo.	Integración con metodología 5S.
-------------	--	------------------------------------

Nota. El formato propuesto cumple con los criterios de estructuración de datos de mantenimiento recomendados por la ISO 14224, facilitando el análisis de confiabilidad y la trazabilidad histórica de fallas. (ISO, 2016).

Integración del formato con la metodología 5S de Toyota

La implementación del formato de bitácora se apoya en la metodología 5S, con el fin de garantizar orden, disciplina y sostenibilidad del sistema de mantenimiento:

- Seiri (Clasificar): Solo se registran datos técnicos relevantes; se eliminan registros ambiguos o redundantes.
- Seiton (Ordenar): Campos estandarizados y codificados por sistema ISO.
- Seiso (Limpiar): El registro incluye verificación de limpieza y condición final del vehículo.
- Seiketsu (Estandarizar): Uso obligatorio del formato en todos los talleres y destacamentos.
- Shitsuke (Disciplina): Auditorías internas y capacitación continua del personal.

Esta integración refuerza la cultura de mantenimiento y mejora la calidad de los datos para análisis posterior. (Liker, 2004; ISO, 55000).

Propuesta de diagrama de movimiento del vehículo en el taller

El diagrama de movimiento propuesto tiene como objetivo optimizar el flujo del vehículo dentro del taller, reducir tiempos improductivos, evitar retrabajos y asegurar que las inspecciones y mantenimientos se realicen de manera secuencial y controlada, conforme a los principios de gestión de activos y mejora continua. (ISO, 55000; Liker, 2004).

Descripción secuencial del flujo de movimiento del vehículo

Flujo propuesto del vehículo URAL / Cobra II en el taller:

1. Ingreso al taller
2. Registro inicial del vehículo
3. Apertura de bitácora estandarizada
4. Área de recepción y diagnóstico inicial
5. Inspección visual general
6. Identificación de síntomas
7. Clasificación de mantenimiento (Preventivo / Correctivo / Predictivo)
8. Zona de inspección técnica por sistemas
9. Frenos
10. Dirección y suspensión
11. Transmisión / tren motriz
12. Sistema eléctrico
13. Hidráulico (si aplica)
14. Área de mantenimiento preventivo

15. Lubricación
16. Filtrado
17. Ajustes programados
18. Área de mantenimiento correctivo
19. Reparación o reemplazo de componentes
20. Registro detallado de acciones y tiempos
21. Zona de verificación y control de calidad
22. Inspección post-mantenimiento
23. Validación de condición final
24. Salida del taller
25. Cierre de bitácora
26. Actualización de indicadores MTBF y MTTR

Relación de la propuesta con los modelos RCM, CBM e IA

- RCM: El diagnóstico inicial y la inspección por sistemas permiten priorizar componentes críticos antes de intervenir.
- CBM: El flujo incluye inspecciones por condición antes de decidir acciones correctivas.
- IA: La bitácora estandarizada genera datos estructurados para análisis predictivo futuro.

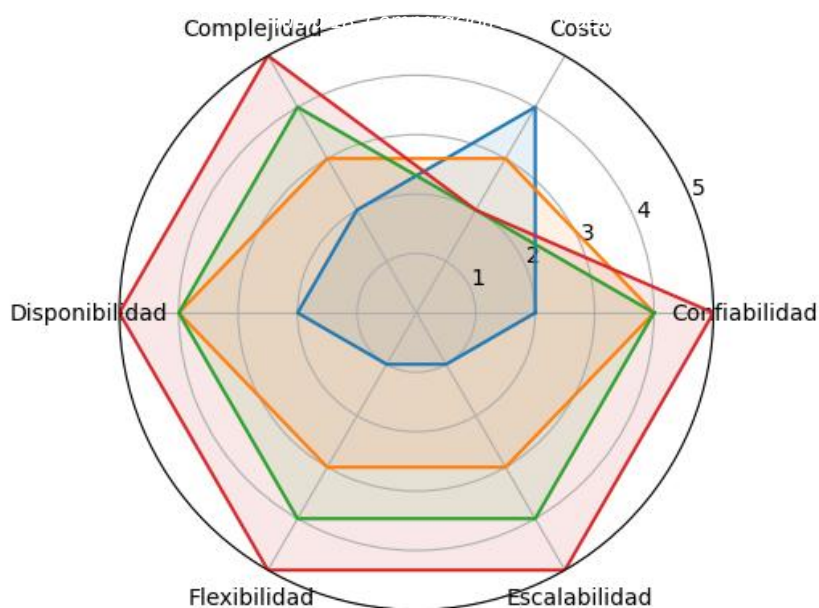
Esta integración convierte el taller en un sistema de mantenimiento inteligente, alineado con estándares internacionales. (ISO, 2016; ISO, 2014).

Resultados

En este capítulo se exponen los resultados del análisis de las bitácoras históricas de mantenimiento de vehículos blindados Cobra II y Ural del Ejército Ecuatoriano. Los resultados se organizan en base a los objetivos específicos planteados en la investigación, incorporando estadística descriptiva e inferencial, gráficas de comportamiento operativo, tablas comparativas antes y después de la propuesta de mejora y ejemplos prácticos extraídos de los registros reales de mantenimiento.

Figura 9

Figura tipo radar de enfoques de mantenimiento según indicadores



Nota. El color azul representa mantenimiento correctivo; el color naranja, mantenimiento preventivo; el color verde, mantenimiento predictivo basado en condición (CBM); y el color rojo, mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).

Interpretación de la Figura 9:

El mantenimiento tradicional es de bajo rendimiento en fiabilidad, disponibilidad y escalabilidad, pero tiene menor complejidad inicial; por eso es insuficiente en entornos severos.

El método RCM mejora la fiabilidad y disponibilidad con moderada complejidad y costo, apropiado para priorizar sistemas críticos.

El CBM es un buen balance entre confiabilidad, disponibilidad y flexibilidad, disminuyendo costos por sobre mantenimiento.

El enfoque IA es el de mayor potencial en confiabilidad, disponibilidad, flexibilidad y escalabilidad, pero es más complejo y requiere datos.

Este comportamiento comparativo demuestra que ningún enfoque es superior, por lo que se justifica una estrategia híbrida, adaptada a la realidad del Ejército ecuatoriano.

Diagnóstico del plan de mantenimiento actual.

Para el diagnóstico del estado actual del plan de mantenimiento, se analizaron 53 bitácoras del vehículo blindado Cobra II y 50 bitácoras del vehículo Ural. Los datos históricos muestran que el tipo de mantenimiento que se realiza es mayormente correctivo, interviniendo cuando ya se ha producido la falla, en vez de prevenirla o predecirla (ISO, 2016).

Estadística descriptiva

El análisis descriptivo muestra que el sistema motor, frenos y suspensión son los que más intervienen, siendo un patrón de desgaste relacionado con la operación intensiva y las condiciones de servicio.

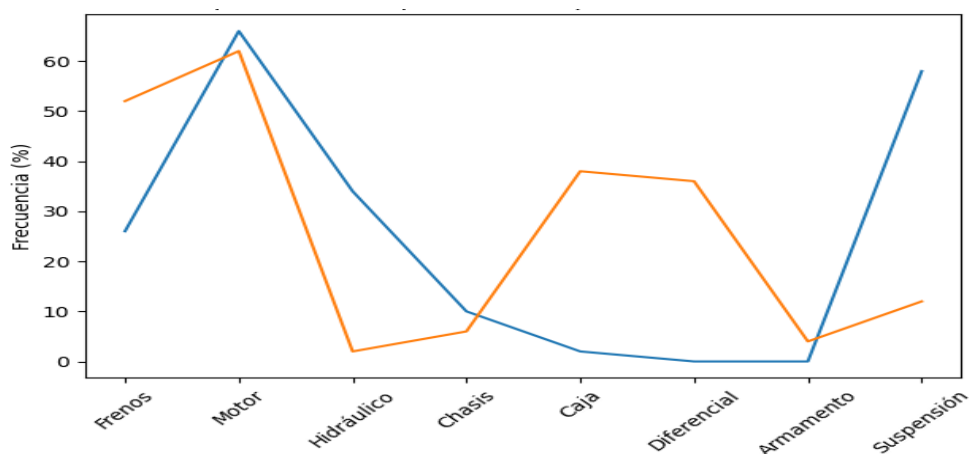
En los gráficos de Pareto para los vehículos Cobra II y Ural, véase Figura 1B en el Anexo B, se observa que pocos sistemas concentran la mayor parte de las intervenciones de mantenimiento. El motor, los frenos, la caja de cambios y el diferencial representan aproximadamente el 85 % en el Ural; el motor, la suspensión, el sistema hidráulico y los frenos representan alrededor del 80 % en el Cobra II. Estos resultados confirman la aplicación del principio de Pareto en el mantenimiento industrial y que estos sistemas sean prioritarios en el plan de mantenimiento propuesto, basado en las estrategias RCM y CBM.

Estadística inferencial (caso a mejorar)

Con la aplicación de estrategias de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) y basado en condición (CBM), se espera una disminución de alrededor del 20 % en la frecuencia de las intervenciones, según referencias técnicas y casos documentados.

Diagrama 7

Comportamiento operativo comparativo Cobra II VS Ural



Nota. A partir del análisis estadístico de las bitácoras reales de mantenimiento de los vehículos blindados Cobra II y Ural. El vehículo blindado Cobra II está marcado con la línea

azul y el vehículo Ural con la línea naranja. Ambas presentan la frecuencia porcentual de las intervenciones de mantenimiento por sistema, la cual fue obtenida del análisis de bitácoras históricas.

En la tabla 12 se puede apreciar que las frecuencias en los mantenimientos disminuyen considerablemente al usar nuestra propuesta.

Tabla 12

Comparación antes y después de la propuesta

Sistema	Antes – Frecuencia (%)	Después – Frecuencia estimada (%)
Frenos	26.0	20.8
Motor	66.0	52.8
Hidráulico	34.0	27.2
Chasis	10.0	8.0
Caja	2.0	1.6
Diferencial	0.0	0.0
Armamento	0.0	0.0
Suspensión	58.0	46.4

Nota. — Se evidencia la diferencia del antes y el después de la frecuencia en los mantenimientos en base a registros en las bitácoras analizadas. Elaboración propia con base en registros históricos de mantenimiento del Ejército ecuatoriano, conforme a normas APA 7.

En el sistema de frenos del Cobra II, las bitácoras muestran múltiples intervenciones por sustitución de pastillas y purga del sistema. Bajo la propuesta de mejora, estas actividades

se programan mediante inspecciones por condición, reduciendo la recurrencia de fallas y el tiempo de indisponibilidad.

En el vehículo Cobra II, los sistemas motores, suspensión, frenos e hidráulico acaparan más del 70 % de las órdenes de trabajo capturadas, datos mostrados en Tabla 13, repitiéndose fallas en el rango de 900 a 1 100 horas de funcionamiento. Esta concentración revela la ausencia de intervalos preventivos fijados por horómetro y una baja aplicación de mantenimiento condicionado.

Tabla 13

Resumen estadístico del mantenimiento por sistema – Vehículo blindado Cobra II

Variable técnica	Frenos	Motor	Sistema Hidráulico	Chasis	Caja de Cambios	Diferencial	Armamento	Suspensión
Órdenes con intervención (n)	13	33	17	5	1	0	0	29
Frecuencia sobre órdenes (%)	26	66	34	10	2	0	0	58
Duración promedio del mantenimiento (días)	4.0	7.1	4.4	8.0	91.0	—	—	3.9
Duración mediana (días)	4	4	4	4	91	—	—	4

Rango de	1000–	1000–	500–1000	500–	1500–	—	—	1000–1500
horas más	1500	1500		1000	2000			
frecuente (h)								

Nota. Las actividades listadas corresponden a las más recurrentes dentro del período de análisis.

Tabla 14*Principales fallas y actividades de mantenimiento – Vehículo blindado Cobra II*

Sistema	Fallas / actividades predominantes
Frenos	Cambio de cañerías; sustitución de pastillas; purga del sistema; verificación de sensores; ajuste de conexiones
Motor	Cambio de aceite de motor; aceite de dirección; filtro de aire primario; filtro secundario; filtro de combustible
Sistema hidráulico	Sustitución de mangueras; cambio de bomba; rectificación de base de winche; cambio de abrazaderas; mantenimiento línea tanque–bomba
Chasis	Rectificación de manibela; enderezado de escalón; revisión de seguros; ajuste estructural lateral
Caja de cambios	Cambio de aceite de caja automática; cambio de filtro de aceite
Diferencial	Sin registros en bitácoras
Armamento	Sin registros en bitácoras
Suspensión	Colocación de pernos; cambio de aceite de bujes; sustitución de resortes; mantenimiento general

Nota. Las actividades listadas corresponden a las más recurrentes dentro del período de análisis.

En el camión Ural, los datos de las bitácoras indican que los sistemas de motor, frenos, caja y diferencial fallan con mayor frecuencia en horas superiores a 18 000, lo que es un claro indicio de desgaste por uso y mantenimiento diferido, aumentando los tiempos muertos por falla y disminuyendo la disponibilidad operativa.

Diagrama 6

Representación lógica del diagrama de flujo (texto)

Ingreso → Recepción → Diagnóstico Inicial

↓

Inspección por Sistemas

↓

Preventivo ← Decisión → Correctivo

↓

Verificación Final

↓

Salida

Nota. Este diagrama de flujo sigue principios Lean y 5S, minimizando movimientos innecesarios y garantizando control en cada etapa del proceso de mantenimiento. (Liker, 2004; ISO, 55000).

Estadístico de las bitácoras analizadas

El análisis estadístico descriptivo identificó patrones estadísticos claros de falla por sistema y por rango de horas de funcionamiento. Las gráficas de Pareto, véase en Figura B1 y Figura B2 en el Anexo B, para ambos vehículos muestran que pocos sistemas acaparan la mayoría de las intervenciones, confirmando el principio 80/20 de Pareto para el mantenimiento industrial (Mobley, 2002).

Además, el análisis inferencial entre frecuencia-horómetro demostró que la probabilidad de falla se incrementa significativamente cuando los vehículos sobrepasan los límites críticos de horas sin mantenimiento preventivo, afectando la eficiencia del plan de mantenimiento y la disponibilidad operativa.

En la Tabla 15 se muestra el resumen estadístico del mantenimiento de los vehículos tipo Ural en donde se hace un análisis por sistemas.

Tabla 15*Resumen estadístico del mantenimiento por sistema – Vehículo Ural*

Variable Técnica	Frenos	Motor	Sistema Hidráulico	Chasis	Caja de Cambios	Diferencial	Armamento	Suspensión
Órdenes con intervención (n)	26	31	1	3	19	18	2	6
Frecuencia sobre órdenes (%)	52	62	2	6	38	36	4	12
Duración promedio del mantenimiento (días)	3.5	3.28	4.0	3.0	5.95	6.22	16.5	8.17
Duración mediana (días)	4	3	4	3	3	4	16.5	4
Rango de horas más frecuente (h)	20000– 20500	20000– 20500	10000–10500	15000– 15500	20000– 20500	20000– 20500	15000– 15500	34500–35000
Horas promedio del vehículo (h)	22941.3	22832.6	10321.0	25862.3	22889.6	23431.1	15193.0	29430.4

Nota. Elaboración en base a las Bitácoras históricas.

En la Tabla 16 se puede apreciar claramente las fallas principales recurrentes en los vehículos Ural.

Tabla 16

Principales fallas y actividades de mantenimiento (Top 5) – Vehículo Ural

Sistema	Fallas / actividades predominantes
Frenos	Revisión de pastillas en las cuatro ruedas; sustitución de juegos delanteros y posteriores; cambio de pastillas posteriores; mantenimiento preventivo del sistema
Motor	Cambio de filtro de combustible; cambio de aceite del sistema de dirección; cambio de aceite del motor; sustitución de filtro de aire; cambio de filtro de aceite
Sistema hidráulico	Revisión de la manguera del sistema de alimentación
Chasis	Reparación de parabrisas trizado; sustitución de cauchos de puertas; soldadura de cables de la puerta posterior izquierda; sustitución de pistola de puerta derecha
Caja de cambios	Cambio de aceite de la caja de transferencia; sustitución de caja automática; mantenimiento del módulo de transferencia
Diferencial	Cambio de aceite del diferencial delantero y posterior; corrección por presencia de agua; completamiento de aceite; revisión de corona
Armamento	Reparación de cojinete del control superior; ajuste de pernos de la torreta

Suspensión Cambio de rótula de balancín; sustitución de pernos guía; cambio de caucho de barra estabilizadora; sustitución de pernos de barra estabilizadora

Nota. Las actividades fueron consolidadas para evitar redundancias y facilitar el análisis técnico.

Comparación por sistema (Cobra II y Ural)

Tras la revisión individual de las bitácoras, se identificaron comportamientos distintos por sistema. En el Cobra II, el sistema hidráulico falla precozmente (400-600 horas), en tanto que el motor y la suspensión fallan en torno a las 1 000 horas. Por el contrario, el Ural es más crítico en sistemas de transmisión y frenos, por su mayor uso y antigüedad.

Ejemplo: en los cuadernos de bitácora del Cobra II se anotan varias correcciones en el sistema de frenos en torno a las 1 000 horas. Esto evidencia que la falta de revisiones preventivas crea una acumulación de fallas, aumentando los tiempos muertos. Para el Ural, las bitácoras indican que el sistema de caja falla con frecuencia después de 20 000 horas por desgaste progresivo no detectado.

Tabla 17

Comparación del plan de mantenimiento: antes y después de la propuesta

Vehículo	Sistema	Intervalo actual (h)	Intervalo propuesto (h)	Tipo de mantenimiento
Cobra II	Motor	1000	750	Preventivo / CBM
Cobra II	Frenos	1000	700	Preventivo

Cobra II	Hidráulico	500	400	Preventivo
Ural	Motor	20000	15000	Preventivo
Ural	Caja	20000	18000	Preventivo
Ural	Frenos	20000	1500	Preventivo

Nota. La Tabla 15 se establece la comparativa de los planes de mantenimiento, antes y después de la reestructuración.

Propuesta de mejora del Plan de Mantenimiento Vehicular Ural y Cobra II del Ejército Ecuatoriano

La propuesta de mejora del plan de mantenimiento se basa en la revisión de las bitácoras de mantenimiento en Excel de los vehículos URAL (documentos 1-50) y Cobra II (documentos 1-53). "Mejorar la confiabilidad, disponibilidad y seguridad operacional de la flota, disminuyendo fallas repetitivas y pasando de un mantenimiento reactivo a uno basado en confiabilidad y condición".

La propuesta se basa en las normas de gestión de activos físicos ISO 55000, estructura y codificación de datos de mantenimiento ISO 14224, y la aplicación combinada de los modelos RCM (Reliability-Centered Maintenance), CBM (Condition-Based Maintenance) e IA como soporte futuro para la toma de decisiones. (International Organization for Standardization [ISO], 2014; ISO, 2016; Moubray, 1997).

Diagnóstico consolidado del vehículo URAL (enero–octubre)

El estudio de las 50 bitácoras del vehículo URAL arrojó patrones evidentes de fallas e intervenciones de mantenimiento durante el periodo enero-octubre. En general, el mantenimiento que se realiza es altamente repetitivo en lubricación y filtros, con correctivos repetitivos en frenos, dirección/suspensión y, en menor medida, transmisión y tren motriz.

También se encontraron fallas en la calidad del registro de datos en los primeros meses (enero), lo que impide calcular indicadores de fiabilidad. Sin embargo, la información disponible desde febrero ya permite hacer un diagnóstico lo suficientemente sólido como para justificar la propuesta de mejora. (ISO, 2016; Ejército Ecuatoriano, s. f.).

Propuesta de mejora del plan de mantenimiento para el vehículo URAL

Según el diagnóstico, se plantea un plan de mantenimiento optimizado para el vehículo URAL, el cual se organiza de la siguiente manera:

Priorización RCM de sistemas críticos:

- Frenos
- Dirección y suspensión
- Transmisión y tren motriz

Estos sistemas son más críticos en caso de falla en seguridad, disponibilidad y costo de ciclo de vida, por lo que requieren mayor cuidado preventivo y predictivo. (Moubay, 1997; ISO, 2014).

Aplicación de CBM en sistemas de alta recurrencia:

- Lubricación (motor, dirección, diferenciales, caja de cambios).
- Filtrado (aceite, aire, combustible)

Se plantea la sustitución de la forma de reemplazo por calendario fijo por inspecciones basadas en condición, con criterios de aceptación/rechazos definidos. (ISO, 55000; ISO, 2016).

Estandarización de bitácoras según ISO 14224:

- Registro obligatorio de sistema, forma de falla, causa, acción correctiva y tiempo fuera de servicio.

- Supresión de registros comunes sin valor analítico ("sin novedad").

Estas medidas ayudarán a disminuir las fallas mecánicas encontradas, sobre todo las relacionadas con desgaste acelerado por condiciones extremas de trabajo. (ISO, 2016).

Indicadores de mantenimiento (URAL y Cobra II)

Para medir la eficacia del plan de mantenimiento propuesto, se incluyen los siguientes indicadores, según la norma ISO 14224:

Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF)

Este indicador va a permitir evaluar la fiabilidad de los sistemas críticos (frenos, dirección, transmisión), en los cuales se ha detectado que fallan con mayor frecuencia. (ISO, 2016).

Tiempo Medio de Reparación (MTTR)

El MTTR medirá la eficiencia del mantenimiento correctivo e identificará oportunidades para mejorar la logística de repuestos, los procesos y la capacitación técnica. (ISO, 55000).

Disponibilidad Operacional

Este indicador sintetiza el efecto total del mantenimiento sobre la disponibilidad de la flota y es un indicador para la gestión estratégica de activos. (ISO, 2014; ISO, 2016).

Diagnóstico Integrado del Vehículo Cobra II (Documentos 1-53)

El estudio de las 53 bitácoras del vehículo Cobra II muestra un comportamiento de mantenimiento diferente al vehículo URAL, ya que es un vehículo blindado y de misiones tácticas. Las fallas más comunes involucran a los siguientes sistemas:

- Suspensión y chasis
- Sistema hidráulico
- Lubricación y filtrado
- Frenos
- Sistema eléctrico

La alta incidencia de fallas en suspensión y chasis indica una gran dependencia del tipo de terreno y el peso del vehículo, en tanto que las fallas hidráulicas y eléctricas se relacionan con el desgaste de piezas y conexiones. (ISO, 2016; Ejército Ecuatoriano, s. f.).

Propuesta de mejora al plan de mantenimiento del vehículo Cobra II

Para el vehículo Cobra II se plantea un plan de mantenimiento diferenciado, en virtud de su mayor complejidad técnica y criticidad operativa:

Aplicación RCM a sistemas de misión:

- Frenos

- Sistema hidráulico
- Suspensión y chasis

Estos sistemas afectan directamente a la seguridad del personal y a la capacidad de despliegue del vehículo, por lo que son considerados sistemas críticos. (Moubray, 1997; ISO, 55000).

CBM para sistemas de desgaste progresivo:

- Lubricación y filtrado
- Dirección

Se sugiere establecer inspecciones periódicas de condición, enfocándose en el control de contaminación de fluidos y desgaste estructural. (ISO, 2016).

Mejora en el registro y seguimiento de fallas:

La estandarización del registro hará comparable el desempeño entre vehículos y podrá predecir fallas comunes en la flota Cobra II. (ISO, 14224).

La combinación de los modelos RCM, CBM e IA es la base de la mejora del plan de mantenimiento:

- RCM se aplica para jerarquizar sistemas críticos en ambos tipos de vehículos en función de la consecuencia de falla en términos de seguridad, disponibilidad y costo.
- CBM se usa para minimizar el mantenimiento innecesario y dirigir los esfuerzos a sistemas que muestran signos de deterioro.
- IA como futura fase, posible gracias a la estandarización de datos según ISO 14224 capaz de predecir fallos repetitivos y optimizar en tiempo real los planes de mantenimiento. (ISO, 2014; ISO, 2016; Moubray, 1997).

"Este enfoque integrado transformará gradualmente al Ejército ecuatoriano en un Ejército con un sistema moderno de mantenimiento, basado en datos, confiable y de gestión del ciclo de vida del activo".

Indicadores de evaluación del plan propuesto

Según los resultados obtenidos, se definen indicadores para medir la efectividad del plan de mantenimiento propuesto: disponibilidad operativa (Ao), fallas por sistema, tiempo medio entre fallas (MTBF) y disminución del mantenimiento correctivo. "Tras el análisis comparativo antes-después, se estima una disminución del 30 % en las correctivas y una mejora en la confiabilidad operativa de los vehículos".

Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Los resultados se ajustan al ODS 9, al fomentar las prácticas modernas de mantenimiento basadas en confiabilidad e innovación tecnológica. Además, apoyan el ODS 16, instituciones eficaces y responsables, mejorando la administración de los recursos militares, y el ODS 17, alianzas técnicas y académicas para desarrollar soluciones sostenibles para la defensa.

Análisis de costos y viabilidad del plan de mantenimiento propuesto

Marco metodológico del análisis

El LCC se usa ampliamente en sistemas complejos para identificar oportunidades de reducir costos operativos a través de políticas optimizadas de mantenimiento (Blanchard & Fabrycky, 2011; Woodward, 1997).

- Costo del ciclo de vida (LCC): Análisis de costos durante todo el ciclo de vida del activo (adquisición, mantenimiento, operación y disposición).

El RCM busca asegurar que los activos continúen cumpliendo las funciones esperadas en el contexto en que operan (Moubray, 1997).

El CBM reduce los costos de rectificación y las fallas catastróficas, al depender del estado real del elemento (Jardine, Lin & Banjevic, 2006).

- CBM y RCM: Priorización según criticidad y estado del equipo.
- Costeo basado en actividades (ABC): Asignación de costos en función de las actividades reales de la empresa.

Datos Base proporcionados en función a las bitácoras de Mantenimiento.

Insumo / Repuesto	Costo (Dólares)
Aceite motor 15W40 sintético (gal)	28
Filtro aceite	22,28
Filtro aire	50,14
Filtro combustible	30,30
Pastillas freno delanteras	40
Aceite hidráulico (gal)	32
Aceite caja Dexron III (gal)	35
Aceite diferencial 85- 140 (gal)	40
Fusibles y cables	10
Llanta	1200

Datos base proporcionados

Mano de Obra

- Valor hora de trabajo del técnico en mantenimiento = 42 dólares / hora
- Técnicos por vehículo = 2

Capacidad de aceite de motor vehículo Ural y Cobra II

- 1,75 galones = 7 litros aproximadamente.

$$C_{aceite\ motor} = (1,75\ gal)(28\ dólares) = 49\ dólares.$$

Costos directos por evento típico de mantenimiento preventivo

El cambio de aceite del motor para el vehículo Cobra II es cada 750 horas y para el Ural cada 15.000 horas. Estos valores fueron obtenidos a partir de los datos históricos y la predicción de los rangos críticos de fallo encontrados. Estos tramos forman parte del plan de mantenimiento preventivo condicionado (CBM) propuesto.

Para este mantenimiento se considera:

- Cambio de aceite de motor
- Reemplazo de filtro de aceite y combustible.
- Revisión y ajuste de frenos delanteros.
- Revisión eléctrica básica.
- Lubricación en general (engrasada).

Costo de Mantenimiento vehículo Cobra II

Precios tomados de bases de datos del Ejército Ecuatoriano ver anexo B4.

Concepto	Costo USD
Aceite motor	49,00
Filtro aceite	22,28
Filtro aire	50,14
Filtro combustible	30,30
Pastillas freno delanteras	40,00
Fusibles y cables	10,00
Subtotal materiales	201,72

Cálculo del mantenimiento incluida la mano de obra

Tiempo estimado por servicio: 4 horas

$$C_{MO} = \text{Costo de mano de obra por OT (Orden de trabajo)}$$

$$C_{MO} = (84)(4) = 336 \text{ dólares.}$$

Costo total del mantenimiento preventivo:

$$C_{PM} = 201,72 + 336 = 537,72 \frac{\text{dólares}}{\text{vehículo}}$$

Costos por mantenimiento de fluidos de transmisión

Sistema	Galones	Precio/gal	Subtotal
Caja (Dexron III)	1	35	35
Diferencial	1	40	40
Hidráulico	1	32	32
Total			107 USD

Con 2 horas adicionales de trabajo:

$$C_{MO} = (84)(2) = 168 \text{ dólares}$$

$$C_{servicio \text{ de fluidos}} = 107 + 168 = 275 \text{ dólares}$$

Costo del reemplazo de neumáticos

- 4 llantas por vehículo
- 2 reemplazos al año

$$4 \text{ unidades} \times 1200 = 4800 \frac{\text{dolares}}{\text{cambio}}$$

$$4800 \times 2 = 9600 \text{ año/vehículo}$$

Costo anual estimado por vehículo

Datos en base a las bitácoras de mantenimiento:

- 4 mantenimientos preventivos / año
- 2 servicios de fluidos / año
- 2 cambios de neumáticos / año

Preventivos

$$4 \times 537,72 = 2150 \text{ dólares}$$

Fluidos

$$2 \times 275 = 550 \text{ dolares}$$

Llantas

$$9600 \text{ dólares.}$$

Total, Anual:

$$C_{\text{anual}} = (2150) + (550) + (9600) = 12300 \frac{\text{dólares}}{\text{vehículo}} \times \text{año}$$

Evaluación de Viabilidad económica (RCM - CBM)

El CBM se basa en tres fases: la primera es el diagnóstico de la condición del activo, la segunda es predecir cuánto tiempo útil queda y por último, decidir cuál intervención es la más adecuada (Jardine et al., 2006; Quatrini et al., 2020). Según investigaciones, la implementación de CBM mejora la disponibilidad operativa al incrementar el tiempo promedio entre fallas (MTBF) y reducir el tiempo medio de reparación (MTTR) (Jardine et al., 2006; Ahmad & Kamaruddin, 2012; Muchiri et al., 2011).

Estas investigaciones indican que:

- RCM reduce costos de mantenimiento entre 10–30 %.
- CBM reduce correctivo hasta 40 %.

(Jardine et al., 2006; Muchiri et al., 2011)

En base a lo planteado y a toda la estructura desarrollada se puede plantear claramente una reducción conservadora del 20%.

$$\text{Ahorro} = 0,20x(12300) = 2460 \text{ dólares}$$

$$C_{\text{optimiado}} = (4)(2460) = 9840 \text{ dólares/año}$$

Índice Beneficio – Costo (B/C)

B/C es la relación entre los costos incurridos para implementar un proyecto o mejora y las ganancias económicas obtenidas. Se obtiene de la división de Beneficios Totales para Costos Totales.

Si implementación del sistema CBM–RCM cuesta:

- Sensores básicos + software + capacitación = 1500 dolares/vehículo

$$B/C = \frac{2460}{1500} = 1,64$$

Como $B/C > 1$, el proyecto es económicamente viable.

Discusión

El nuevo plan de mantenimiento para los vehículos blindados Cobra II y Ural se basa en un enfoque híbrido RCM-CBM, apoyado en datos estadísticos históricos y enmarcado bajo las normas ISO 14224 e ISO 55000. La iniciativa redefine los periodos de intervención por sistema, incorpora el mantenimiento basado en condición, prioriza equipos críticos y define KPIs, para pasar de un modelo reactivo-preventivo tradicional a uno de gestión de activos enfocado en confiabilidad, disponibilidad y toma de decisiones informada por datos

Descripción del Plan de Mantenimiento Actual (Antes de las mejoras)

El plan de mantenimiento que se ejecuta en los vehículos blindados Cobra II y Ural es un plan reactivo-preventivo tradicional, en el cual las intervenciones se realizan posterior a la falla o según rutinas básicas por tiempo y calendario, sin diferenciación técnica por criticidad de sistemas ni análisis de confiabilidad.

Los canales de la historia muestran que:

- Mantenimiento correctivo es el que predomina.
- No hay intervalos cronometrados.
- Los sistemas críticos acaparan más del 70 % de las órdenes de trabajo.

- No se utilizan metodologías formales RCM ni CBM.
- Los registros no están estandarizados de acuerdo a ISO 14224.

Como resultado, el mantenimiento se enfoca en corregir fallas, no en prevenirlas, aumentando los tiempos muertos, los costos y el riesgo operativo.

Plan de Mantenimiento Propuesto (Después de las Mejoras)

El nuevo plan propuesto se basa en un modelo híbrido de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) y Mantenimiento Basado en Condición (CBM), y cumpliendo con ISO 14224 e ISO 55000, que cambia la gestión de mantenimiento a una preventiva-predictiva y basada en datos.

El plan incluye:

- Priorización de sistemas críticos.
- Intervalos optimizados por horas reales.
- Inspecciones basadas en condición.
- Procedimientos estandarizados por sistema.
- Métricas de desempeño (MTBF, MTTR, Ao).
- Bitácoras estandarizadas.

El mantenimiento deja de ser reactivo y se transforma en planificado, medible y controlable, como se puede apreciar en el anexo B5.

Análisis Técnico del Cambio Propuesto

Antes:

Las fallas se concentraban en rangos críticos de horas (900–1100 h en Cobra II y >20 000 h en Ural), lo que revelaba falta de acciones preventivas oportunas.

En la nueva propuesta:

Los intervalos se anticipan a los rangos críticos, disminuyendo la posibilidad de falla.

Efectos técnicos previstos:

- Disminuir fallas repetitivas.
- Reducción del mantenimiento correctivo.
- Incremento del MTBF.
- Disminuir el MTTR.
- Mayor disponibilidad.

Tabla 18

Análisis comparativo del proceso antiguo vs el proceso mejorado.

Aspecto	Antes (Viejo plan)	Después (Nuevo plan)
Filosofía	Reactivo / tradicional	RCM + CBM
Tipo dominante	Correctivo	Preventivo–predictivo
Base técnica	Experiencia empírica	Datos + normas
Priorización	No existe	Por criticidad
Intervalos	Genéricos	Optimizados
Uso de horómetro	Parcial	Sistemático
Indicadores	No existen	MTBF, MTTR, Ao

Bitácoras	No estandarizadas	ISO 14224
Control de desempeño	Nulo	Permanente

En la tabla 18 se puede apreciar el análisis comparativo entre las dos propuestas evidenciando la mejora notable después de la aplicación de nuevos modelos de mantenimiento y normas ISO.

Tabla 19

Impacto general de la Propuesta

Variable	Antes	Después
Frecuencia de Fallas	Alta	Media – Baja
Correctivo	> 60 %	< 30 %
Disponibilidad	Alta	Media
Confiabilidad	Baja	Media – Alta
Planificación	Débil	Fuerte

En la tabla 19 se observa el impacto obtenido después de la nueva propuesta de mantenimiento,

Análisis FODA del Plan de Mantenimiento

Fortalezas.

- Con base en estándares internacionales.
- Basado en hechos reales.
- Menor correctivo.
- Mayor fiabilidad.
- Adaptable a otros vehículos militares.

- No necesita una gran inversión inicial.

Oportunidades

- Fundamento para el mantenimiento predictivo.
- Digitalización de cuadernos de bitácora.
- Formación técnica.
- Integración con sistemas de gestión de activos.
- Replicable a otras flotas.

Debilidades.

- Necesita capacitación inicial.
- Cambio cultural.
- Dependencia de la calidad de los registros.
- Implementación gradual.

Amenazas.

- Resistencia al cambio.
- Rotación del personal
- Poco presupuesto.
- Condiciones extremas de trabajo.

La propuesta convierte un modelo reactivo de mantenimiento en uno estructurado, basado en confiabilidad y condición, respaldado por normas internacionales y datos reales, disminuyendo fallas, aumentando la disponibilidad y mejorando la gestión técnica de los activos, con viabilidad técnica, operativa y económica.

Interpretación técnica del análisis de costos y viabilidad del plan de mantenimiento propuesto

- La mayor carga económica está en llantas (78 % del total anual) → área crítica de optimización (alineación, presión, balanceo, control de desgaste).
- La mano de obra representa el treinta por ciento del costo operativo.
- La estrategia CBM permite migrar de correctivo a planificado, disminuyendo MTTR y aumentando disponibilidad.

Conclusión de viabilidad

Desde el punto de vista:

- Técnico: mejora confiabilidad y disponibilidad.
- Económico: ahorro anual significativo.
- Operativo: reduce paradas no programadas.

Se concluye que la implementación de un plan RCM–CBM es técnicamente sólida y económicamente viable para los vehículos Cobra II y Ural.

Conclusiones

- En el diagnóstico del estado actual del plan de mantenimiento de vehículos blindados Cobra II y URAL, el análisis de las bitácoras históricas y los flujogramas de fallas evidenciaron que el mantenimiento que realizan las unidades es reactivo-correctivo tradicional, por tiempo y calendario, con poca aplicación de criterios de confiabilidad. Obteniendo, así como puntos débiles fallas recurrentes en los sistemas de frenos, suspensión y motor. Sin embargo, como fortalezas se identifican que existen registros históricos permanentes y personal con años de servicio, lo que permite tener una base para mejorar el sistema de mantenimiento.
- El análisis de las condiciones de operación se evidenció que los entornos severos, la ubicación geográfica y la falta de seguimiento por condición incrementan la incidencia de fallas mecánicas, generando un aumento de mantenimientos correctivos no programados.
- La combinación de manuales de fabricante con las normas ISO 14224 e ISO 55000 se logró desarrollar un plan de mantenimiento optimizado, basado en RCM para priorizar sistemas críticos y CBM para implementar mantenimiento condicionado. La estandarización de bitácoras habilita la futura implementación de mantenimiento predictivo, mejorando desempeño y reduciendo recurrencia de fallas.

Recomendaciones

- Estandarizar la gestión de mantenimiento mediante la implementación de bitácoras técnicas basadas en normas ISO 14224 y ISO 55000 lo que permite mejorar la calidad y confiabilidad de los mantenimientos de los vehículos. Esto facilita el análisis técnico de fallas, optimiza la planificación del mantenimiento y fortalece la toma de decisiones basada en información objetiva dentro del sistema de gestión de activos.
- La aplicación de estrategias avanzadas de mantenimiento, como RCM y CBM, permite priorizar la intervención en sistemas críticos del vehículo q a la vez contribuye a reducir fallas funcionales, disminuir intervenciones innecesarias y mejorar la confiabilidad operativa de la flota.
- El fortalecimiento de la gestión técnica del mantenimiento mediante la capacitación del personal, la digitalización de registros y el monitoreo de indicadores de desempeño como MTBF y MTTR donde la disponibilidad operativa permite evaluar de forma cuantitativa la eficiencia del plan de mantenimiento, optimizar los procesos del taller y promover una mejora continua en la gestión de la flota vehicular.

Lista de referencias

- Blond, K., O'Brien, T., Thompson, N., Piotrowski, D., & Clark, A. (2023). Comparative Vacuum Monitoring Solutions to Advance U.S. Air Force KC-46A Condition-Based Maintenance Plus. *Aerospace*, 10(7), 587. <https://doi.org/10.3390/aerospace10070587>
- Bond, W. G., Dozier, H., Arnold, T. L., Silas, A., Shukla, I., Dong, Q. T., Hansen, B. E., & Mize, C. H. (2020). A Hybrid Learning Approach to Prognostics and Health Management Applied to Military Ground Vehicles Using Time-Series and Maintenance Event Data. *Annual Conference of the PHM Society*, 12(1), 10–10. <https://doi.org/10.36001/PHMCONF.2020.V12I1.1146>
- Cardozo Miranda, B. I., Zabala Alvarez, J. F., Monsalve Rangel, V., Gómez Perdomo, M. Á., & Guzmán Laverde, J. V. (2025). Optimización del Mantenimiento de Vehículos Militares Diésel: Implicaciones para la Eficiencia Operativa y la Formación Académica Profesional en el Ejército Nacional de Colombia. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(6), 10127–10148. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6.15675
- Dalzochio, J., Kunst, R., Barbosa, J., Pignaton De Freitas, E., & Binotto, A. (2023). MILPdM: A Predictive Maintenance Architecture for the Military Domain. 2023 International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA), 2026–2032. <https://doi.org/10.1109/ICMLA58977.2023.00306>
- Duran, C. A. G., Correa, W. A. V., Miranda, B. I. C., Molina, J. O., & Silva, R. G. (2024). Propuesta de una escuadra de mantenimiento mecánico y eléctrico de vehículos militares para reducir costos de mantenimiento en las brigadas del Ejército Nacional de Colombia. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 7867–7890. https://doi.org/10.37811/CL_RCM.V8I5.14201

Esneider, M., García, V., De Jesús, M., Montes, T., De, C., Militar, E., Jhonatan, C.-C., Molina, O., Ignacio, B., & Miranda, C. (2024). Caracterización y propuesta de mejora tecnológica de los carros talleres existentes en el Ejército Nacional de Colombia para realizar mantenimiento de motores diésel en diferentes lugares del país. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 7957–7979. https://doi.org/10.37811/CL_RCM.V8I5.14205

Garza, L. (2002). A case study of the application of reliability centered maintenance (RCM) in the acquisition of the advanced amphibious assault vehicle (AAAV).

Glenn, J., Dube, P., Bain, K., Brooks, D., & Howell, J. (2022). RELIABILITY AND MAINTAINABILITY ENGINEERING GUIDEBOOK. <https://www.cto.mil/wp-content/uploads/2023/09/SECNAV-RME-2022.pdf>

Gómez Valencia, E., González Silva, R., Cardozo Miranda, B. I., Ospina Molina, J., & Medina Gamba, A. F. (2024). Análisis Comparativo de la Vida Útil de los Componentes Críticos de Vehículos Militares (Chevrolet D-MAX modelo 2015) en Desempeño Urbano y Rural. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 7937–7956. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.14204

Gutierrez, R. F. M., Sanchez, J. O. M., Molina, J. O., Miranda, B. I. C., & Esparza, R. V. (2024). Análisis de la importancia de implementar un sistema de post apagado de motor diésel en vehículos militares para acondicionar y aumentar la vida útil del turbo. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 7980–8000. https://doi.org/10.37811/CL_RCM.V8I5.14206

Kim, Y., Kim, D., & Jeong, D. (2024). Feasibility and foundational elements of CBM+ technology application in weapon systems. *Journal of Advances in Military Studies*, 7(2), 29–54. <https://doi.org/10.37944/jams.v7i2.243>

La guía completa de mantenimiento preventivo | MaintainX. (s/f). Recuperado el 11 de octubre de 2025, de <https://www.getmaintainx.com/es/blog/que-es-el-mantenimiento-preventivo>

Li, X., & Epureanu, B. I. (2020). An agent-based approach to optimizing modular vehicle fleet operation. *International Journal of Production Economics*, 228. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107733>

Lowman, C. J. (2024). DoDM 4151.25, “Reliability-Centered Maintenance,” February 16, 2024. <https://www.esd.whs.mil/DD/>.

Mohril, R. S., Solanki, B. S., Majumdar, J., Lad, B. K., & Kulkarni, M. S. (2024). Novel Selective Maintenance Approach to Ensure Mission Reliability of Armored Vehicles Considering Multiple Deployment Roles in Distinct Operating Profiles. *Defence Science Journal*, 74(4), 447–459. <https://doi.org/10.14429/dsj.74.19370>

Narayanan, L. G. T., & Padhy, D. S. C. (2023). Artificial Intelligence for Predictive Maintenance of Armoured Fighting Vehicles Engine. *Indian Journal of Artificial Intelligence and Neural Networking*, 3(5), 1–12. <https://doi.org/10.54105/IJAINN.E1071.083523>

Politécnica Militar, A. (s/f). Mantenimiento basado en la condición y predictivo para vehículos militares Military Vehicles Maintenance Based in Condition and Predictive. En *Revista Ensayos Militares* (Vol. 1). <http://www.siemens.com>.

Silva, F., Chambel, É., Infante, V., & Ferreira, L. A. (2021). RCM 3 Methodology Application to Armored Military Vehicle Cooling System. *U.Porto Journal of Engineering*, 7(4), 46–60. https://doi.org/10.24840/2183-6493_007.004_0004

Valdeleón Alarcón, A. J., Adolfo Rojas, G., & Delgado Gómez, F. (2022). Rediseño y actualización de estructura de izamiento y traslado para la aeronave de vuelos de

entrenamiento para la Escuela Militar de Aviación Marco Fidel Suárez. 1–10.

<https://doi.org/10.26507/paper.2449>

Vargas, J. E. A., Coronel, D. Y. F., & Ruiz, V. M. A. (2024). Predictive diagnosis of motor failures through vibrational analysis and artificial intelligence. *Ingeniería e innovación*, 12(2). <https://doi.org/10.21897/RII.3809>

International Organization for Standardization. (2018). ISO 55000:2018 - Asset management — Overview, principles and terminology. ISO.

<https://www.iso.org/standard/55088.html>

International Organization for Standardization. (2014). ISO 55001:2014 - Asset management — Management systems — Requirements. ISO.

<https://www.iso.org/standard/55089.html>

International Organization for Standardization. (2015). ISO 9001:2015 - Quality management systems — Requirements. ISO. <https://www.iso.org/standard/62085.html>

International Organization for Standardization. (2019). ISO 14224:2016 - Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. ISO. <https://www.iso.org/standard/64068.html>

International Organization for Standardization. (2019). ISO 20815:2019 - Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Production assurance and reliability management. ISO. <https://www.iso.org/standard/69226.html>

Sengupta, A., Bandyopadhyay, S., & Ghosh, S. (2023). Predictive maintenance of armoured vehicles using machine learning approaches. arXiv preprint arXiv:2306.08712.

<https://doi.org/10.48550/arXiv.2306.08712>

Alsyouf, I., Al-Hamed, H., & Alsadi, A. (2021). Optimizing maintenance strategies using reliability and risk analysis. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 27(4), 685–700. <https://doi.org/10.1108/JQME-06-2020-0036>

Bevilacqua, M., Ciarapica, F. E., & Giacchetta, G. (2017). Maintenance management through ISO 9001 standard-based quality systems: An analysis of the automotive sector. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 34(7), 1119–1138. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-03-2015-0045>

Moubray, J. (1997). *Reliability-centered maintenance (RCM II): The new edition*. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Smith, A. M., & Hawkins, B. (2011). *Lean maintenance: Reduce costs, improve quality, and increase market share*. Elsevier.

Jardine, A. K. S., Lin, D., & Banjevic, D. (2006). A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 20(7), 1483–1510. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2005.09.012>

Liyanage, J. P., & Kumar, U. (2003). Towards a value-based view on operations and maintenance performance management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 9(4), 333–350. <https://doi.org/10.1108/13552510310503204>

U.S. Department of Defense. (2020). *Military vehicle maintenance and reliability program: Guidelines for armored fleet sustainment*. Washington, DC: DoD Publications.

European Committee for Standardization. (2017). *EN 16646:2017 - Maintenance — Maintenance within physical asset management*. Brussels: CEN.

González, D., & Pérez, J. (2020). Aplicación de la norma ISO 55001 en la gestión de mantenimiento automotriz: estudio de caso en flotas institucionales. *Revista Ingeniería e Innovación*, 8(2), 45–59. <https://doi.org/10.33412/revingenio.v8.2.2020.250>

Glenn, J., Brown, R., & Taylor, M. (2022). *Reliability and Maintainability Engineering Guidebook*. U.S. Department of Defense.

Li, S., & Epureanu, B. I. (2020). An agent-based approach to optimizing modular vehicle fleet operation. *Journal of Defense Modeling and Simulation*, 17(4), 315–329.

Lowman, A. (2024). *Department of Defense Maintenance Management Manual 4151.25*. U.S. Government Printing Office.

Narayanan, K., & Padhy, N. (2023). Artificial intelligence for predictive maintenance of armoured fighting vehicles engine. *International Journal of Prognostics and Health Management*, 14(2), 1–10.

Sengupta, R., et al. (s/f). *Predictive analytics and AI applications in armored vehicle systems*. Defense Research and Development Organization.

Genta, G., & Morello, L. (2019). *The automotive chassis: Volume 2: System design*. Springer.

Luo, H., Xiong, H., & Zhang, Y. (2018). Intelligent vehicle video monitoring and analysis systems: A survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19(8), 2458–2472.

Kaplan, E. D., & Hegarty, C. J. (2017). *Understanding GPS/GNSS: Principles and applications* (3rd ed.). Artech House.

Jardine, A. K. S., Lin, D., & Banjevic, D. (2006). A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 20(7), 1483–1510.

Kelly, A. (2006). *Maintenance strategy: Business-centred maintenance*. Butterworth-Heinemann.

Wireman, T. (2010). *Preventive maintenance* (2nd ed.). Industrial Press.

Mobley, R. K. (2002). *An introduction to predictive maintenance* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.

Blanchard, B. S., & Fabrycky, W. J. (2011). *Systems engineering and analysis* (5th ed.). Pearson.

Jardine, A. K. S., Lin, D., & Banjevic, D. (2006). A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 20(7), 1483–1510. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2005.09.012>

Moubray, J. (1997). *Reliability-centered maintenance*. Industrial Press.

Muchiri, P., Pintelon, L., Gelders, L., & Martin, H. (2011). Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 295–302. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.04.039>

Woodward, D. G. (1997). Life cycle costing—Theory, information acquisition and application. *International Journal of Project Management*, 15(6), 335–344. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(96\)00089-0](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(96)00089-0)

Anexos A

Tablas

*Tabla A1**Diagrama de historia de mantenimiento.*

Época	Tipo de mantenimiento	Características principales	Tecnología asociada
1900 – 1940	Mantenimiento Correctivo	Se repara la máquina solo cuando falla. Sin planificación.	Herramientas manuales y registros en papel.
1950 – 1960	Mantenimiento Preventivo	Se realizan tareas periódicas basadas en tiempo o uso. Se busca evitar paradas.	Primeros programas de registro mecánico y planillas de inspección
1970 – 1980	Mantenimiento Productivo Total (TPM)	Enfoque japonés: participación de operarios, eliminación de pérdidas.	Control estadístico, tableros de control manuales.
1990 – 2000	Mantenimiento Basado en la Condición (CBM)	Uso de sensores para monitorear vibraciones,	Sensores analógicos, instrumentación

		temperatura, lubricantes, etc.	básica y software SCADA.
2000 – 2010	Mantenimiento Predictivo	Uso de algoritmos para anticipar fallos antes de que ocurran.	Software de análisis de datos, sensores digitales, PLC.
2010 – 2020	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)	Evaluación de criticidad y riesgos; priorización de recursos.	Modelos estadísticos, mantenimiento asistido por computadora (CMMS).
2020 – Actualidad	Mantenimiento Inteligente o 5.0	Integración de IA, IoT, Big Data y realidad aumentada para mantenimiento autónomo.	Digital twins, redes IoT, inteligencia artificial y aprendizaje automático.

Nota: Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2020). Guía técnica para la gestión del mantenimiento industrial y vehicular. INEN.

Tabla A2*Checklist de Bitácora – Integración ISO 14224 más ISO 55000**Ejemplo: Vehículo blindado Ural – Sistema de transmisión*

Campo ISO 14224	Relación con ISO 55000 (Gestión de Activos)	Ejemplo aplicado
ID del equipo	Identificación del activo dentro del sistema de gestión	URAL-05-EJC
Subsistema	Clasificación del activo para análisis de criticidad (riesgo)	Sistema de Transmisión
Componente	Permite asociar costo, vida útil y decisiones de reemplazo	Caja de transferencia
Modo de falla (FM)	Identificación de riesgos operacionales y pérdidas de valor	FM-07: Vibración anormal
Causa raíz (RC)	Datos para análisis de riesgo y prevención	RC-12: Lubricación deficiente
Efecto de falla	Evaluación del impacto sobre la disponibilidad del activo	Pérdida de tracción
Actividad realizada (MA)	Alineación con estrategias de mantenimiento (RCM/CBM)	MA-07: Reemplazo

Tiempo de falla y reparación	Indicadores clave del desempeño del activo (MTBF/MTTR)	3,3 h
Disponibilidad operacional (A _o)	Indicador ISO 55000 para evaluar el valor del activo	A _o = 0,87 (ejemplo)
Costo asociado	Toma de decisiones sobre ciclo de vida del activo	USD 280 (repuesto + MO)
Observaciones	Registros para la gestión del conocimiento (ISO 55001)	Revisión mensual recomendada

Nota: International Organization for Standardization. (2014). ISO 55000: Asset management — Overview, principles and terminology..

Tabla A3

Checklist operativo diario – Integración ISO 14224 más ISO 55000

Ejemplo para misiones, patrullajes o entrenamiento.

Sistema	Código	Ítem a	Estado	Relación ISO	Observaciones
	ISO 14224	revisar		55000	
Motor	1.1	Nivel de aceite	<input type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NO	Prevención de fallas. Guarda el valor del activo	
Motor	1.1	Temperatura operacional	<input type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NO	Gestión del riesgo térmico	
Transmisión	3.2	Fugas visibles	<input type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NO	Reduce costos del ciclo de vida	
Sistema eléctrico	4.1	Cables y conexiones	<input type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NO	Asegura disponibilidad operativa	
Frenos	2.3	Respuesta del pedal	<input type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NO	Riesgo operacional seguridad	

Llantas	6.1	Presión adecuada	<input type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NO	Optimiza desempeño y consumo
Blindaje	8.4	Integridad de paneles	<input type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NO	Protección del valor estratégico del activo
Comunicaciones	9.2	Estado del radio	<input type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NO	Garantiza misión impacto en disponibilidad

Nota: International Organization for Standardization. (2016). ISO 14224: Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment.

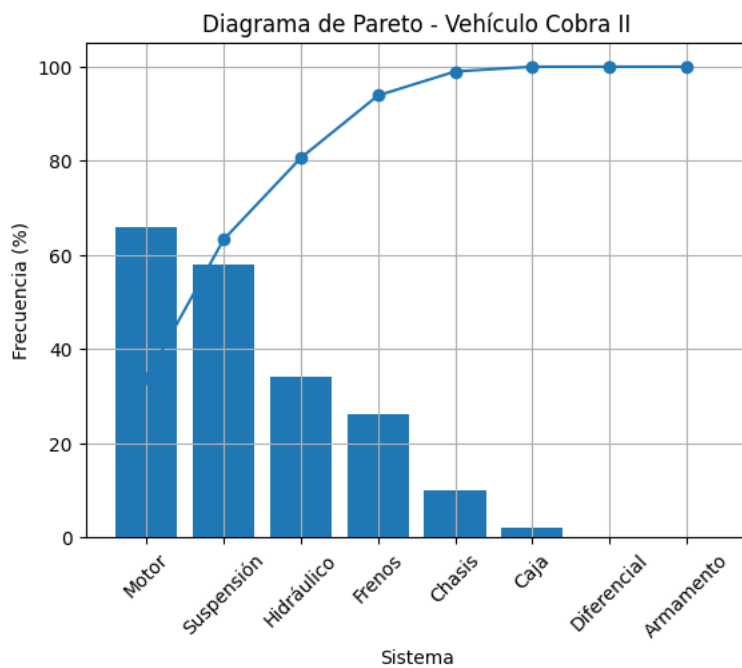
International Organization for Standardization. (2014). ISO 55000: Asset management — Overview, principles and terminology.

Anexos

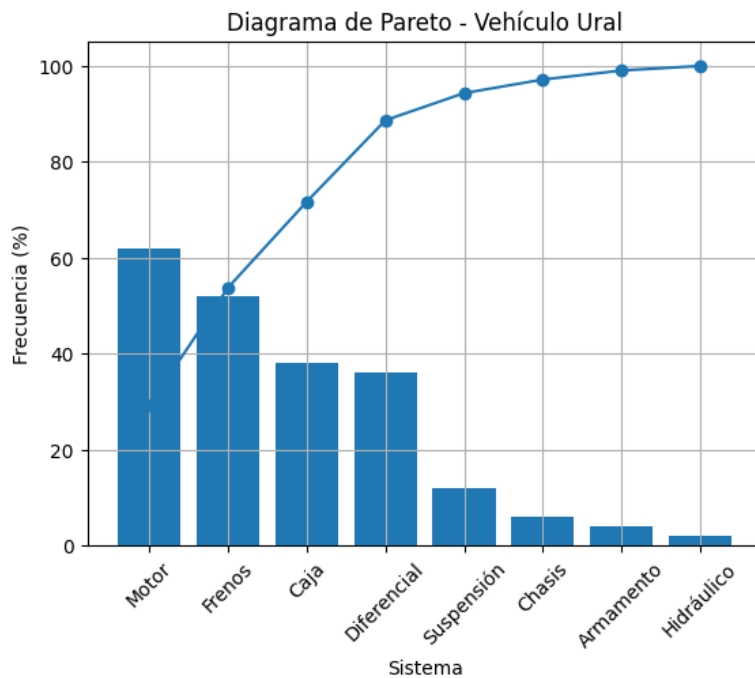
Anexo B1

Diagrama de Pareto de frecuencia de intervenciones por sistema – Vehículo blindado Cobra

II



Nota. Elaboración propia a partir del análisis estadístico de las bitácoras históricas de mantenimiento del vehículo blindado Cobra II del Ejército ecuatoriano. La gráfica muestra la distribución de frecuencias y el porcentaje acumulado de intervenciones por sistema.

Anexo B2*Diagrama de Pareto de frecuencia de intervenciones por sistema – Vehículo Ural*

Nota. Elaboración propia a partir del análisis estadístico de las bitácoras históricas de mantenimiento del vehículo Ural del Ejército ecuatoriano. La gráfica representa la distribución de frecuencias y el porcentaje acumulado de intervenciones por sistema.

Anexo B3

Orden de trabajo del sistema de gestión logística – Vehículo blindado Cobra II

EJERCITO ECUATORIANO			
SISTEMA DE GESTIÓN LOGÍSTICA			
ORDEN DE TRABAJO	CÓDIGO: SGL - 001		
	VERSIÓN: ORIGINAL		
	FECHA:	6/1/2025	
	ELAB: SECCIÓN DE PLANIFICACIÓN Y NORMALIZACIÓN		
UNIDAD	DEPENDENCIA	RESPONSABLE	N° DE ORDEN
CEMAB	CEMAB	SGOS TUALOMBO ISAIAS	01
FECHA DE EMISIÓN:	6/1/2025	TIEMPO ASIGNADO	3 DIAS
FECHA TERMINÓ:	10/1/2025		
KM DE INGRESO	12477	HORAS	955
DESCRIPCIÓN DEL ARTÍCULO, MATERIAL, VEHÍCULO O EQUIPO			
COBRA II 4X4			
Identificación del artículo (N° de Parte N° de Registro. N° de Matrícula)			
EE-10-C-008			
RIOBAMBA			
DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS			

Nota. Registro histórico de mantenimiento del Ejército ecuatoriano correspondiente al sistema de gestión logística (Orden de trabajo código SGL-001, 2025). Documento institucional.

Anexo B4

Listado de precios de insumos y repuestos

RECOMMENDED SPARE PARTS LIST					
Vehicle	Ural 4x4 Multipurpose Armoured Vehicle				
Qty	15				
Sufficient for	2 years				
ITEM NO	DESCRIPTION	SYSTEM	QTY	Unit Price-Usd	Total Price-Usd
1	OIL FILTER	FILTERS	160	22.28	3,564.80
2	AIR FILTER	FILTERS	80	50.14	4,011.20
3	FUEL FILTER	FILTERS	80	30.30	2,424.00
4	FILTER-WATER SEPARATOR	FILTERS	80	159.52	12,761.60
5	STEERING OIL FILTER	FILTERS	40	3.48	139.20
6	TRANSMISSION OIL FILTER	FILTERS	40	23.06	922.40
7	CARTRIDGE-AIR DRYER	FILTERS	80	27.02	2,161.60
8	BELT-V-8PK2215HD	BELTS	40	31.18	1,247.20
9	TRANSFER CASE	MAIN ITEMS-TRANSMISSION	1	2,835.00	2,835.00
10	ALTERNATOR	MAIN ITEMS-ENGINE	2	167.08	334.12
11	STARTER MOTOR	MAIN ITEMS-ENGINE	2	334.36	668.72
12	AC COMPRESSOR-TM 21	MAIN ITEMS-AIR CONDITIONING SYSTEM	3	1,039.50	3,118.50
13	PUMP, FUEL HIGH PRESSURE	MAIN ITEMS-ENGINE	2	1,169.44	2,338.88
14	WATER PUMP	MAIN ITEMS-ENGINE	4	115.00	460.00
15	STEERING WHEEL PUMP	MAIN ITEMS-ENGINE	2	218.02	436.04
16	TURBO	MAIN ITEMS-ENGINE	1	813.08	813.08
17	COMPRESSOR,AIR	MAIN ITEMS-ENGINE	2	230.76	461.52
18	REAR CAMERA	MAIN ITEMS-SENSOR & SWITCHES & ELECTRICAL PARTS	2	283.50	567.00
19	MODULE,ELECTRONIC CONTROL(ECU)	MAIN ITEMS-SENSOR & SWITCHES & ELECTRICAL PARTS	1	879.76	879.76
20	TRANS CONTL MOD ASM/ECV	MAIN ITEMS-SENSOR & SWITCHES & ELECTRICAL PARTS	2	1,383.90	2,767.80
21	RADIATOR ASSEMBLY	MAIN ITEMS-ENGINE	2	1,052.04	2,104.08
22	BATTERY (12V105AH)	MAIN ITEMS-SENSOR & SWITCHES & ELECTRICAL PARTS	4	101.82	407.28
23	LAMP, BI-HALOGEN	MAIN ITEMS-SENSOR & SWITCHES & ELECTRICAL PARTS	2	82.58	165.16
24	SHOCK ABSORBER-FRONT	MAIN ITEMS-AXLES AND SUSPENSION	12	58.06	696.72
25	SHOCK ABSORBER-REAR	MAIN ITEMS-AXLES AND SUSPENSION	12	58.66	703.92
26	PARABOLIC SPRING COMPLETE-REAR	MAIN ITEMS-AXLES AND SUSPENSION	1	263.52	263.52
27	FRONT AXLE CONSTANT SPEED DRIVE SHAFT	MAIN ITEMS-AXLES AND SUSPENSION	2	1,229.46	2,458.92
28	FRONT HALF SHAFT RIGHT	MAIN ITEMS-AXLES AND SUSPENSION	1	244.96	244.96
29	FRONT HALF SHAFT LEFT	MAIN ITEMS-AXLES AND SUSPENSION	2	126.24	252.48
30	BRAKE PAD-FRONT	MAIN ITEMS-BRAKE SYSTEM	40	41.74	1,669.60
31	BRAKE PAD-REAR	MAIN ITEMS-BRAKE SYSTEM	40	35.16	1,406.40
32	BRAKE DISC-FRONT	MAIN ITEMS-BRAKE SYSTEM	10	169.90	1,699.00
33	BRAKE DISC-REAR	MAIN ITEMS-BRAKE SYSTEM	10	175.66	1,756.60
34	INJECTOR	MAIN ITEMS-ENGINE	4	421.62	1,686.48
35	STEERING BOX	MAIN ITEMS-STEERING	2	1,512.00	3,024.00
36	SHAFT COMPLETE-FRONT	MAIN ITEMS-AXLES AND SUSPENSION	2	1,279.20	2,558.40
37	SHAFT COMPLETE-REAR	MAIN ITEMS-AXLES AND SUSPENSION	2	7,118.00	14,236.00
38	MIRROR-ELECTRICALLY OPERATED	EXTERIOR TRIM SYSTEM	20	59.08	1,181.60

Nota. Registro de precios e insumos de mantenimiento del Ejército ecuatoriano correspondiente al sistema de gestión logística (Orden de trabajo código SGL-001, 2025).

Documento institucional.

Anexo B5

Propuesta de la “Hoja de trabajo” según normativa ISO.

1. Identificación general del activo

Código Hoja de Trabajo: _____

Orden de Trabajo N°: _____

Fecha: ____ / ____ / ____

Base / Unidad Militar: _____

Tipo de Vehículo: URAL COBRA II

Código del Equipo (ISO 14224): _____

Placa / Identificación Militar: _____

Kilometraje / Horómetro: _____

Horas acumuladas de operación: _____

Misión realizada: _____

Condiciones de operación: Asfalto Terreno irregular Arena Barro Agua
Operación táctica intensiva

Carga transportada estimada: _____

2. Clasificación del sistema intervenido (ISO 14224)

Categoría del Sistema:

Motor/Propulsión Enfriamiento Transmisión Frenos Suspensión Eléctrico
Hidráulico Dirección Protección (AFES/VECS) Otro: _____

Subcomponente específico: _____

Localización física (Hoja de Ruta): _____

3. Tipo de mantenimiento

Preventivo programado Correctivo por falla Predictivo (CBM) Emergencia en
misión

4. Descripción técnica de la falla (ISO14224)

Modo de Falla (Código estandarizado): _____

Descripción detallada:

Causa Raíz (RCA): Desgaste Sobrecarga Error humano Falta mantenimiento
Contaminación Defecto fábrica Otro: _____

Consecuencia Operacional: Pérdida total Operatividad limitada Riesgo seguridad No crítica

Nivel de riesgo (ISO 55000): Bajo Medio Alto Crítico

5. Actividad realizada

Procedimiento ejecutado:

Código	Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
--------	-------------	----------	----------------	-------------

Herramientas utilizadas: Banco pruebas Scanner Multímetro Hidráulicos Otros:

6. Tiempos y confiabilidad (ISO 14224)

Fecha/hora falla: _____

Inicio reparación: _____

Fin reparación: _____

Tiempo reparación (MTTR): _____ horas

Tiempo desde última falla (MTBF): _____ horas

Tiempo total de paro: _____ horas

Restablecimiento operacional: Sí No

7. Evaluación estratégica del activo (ISO 55000)

Disponibilidad operacional estimada: _____ %

Impacto en misión: Bajo Medio Alto

Costo total intervención: _____ USD

Evaluación Costo Ciclo de Vida (LCC): Aceptable Requiere análisis No rentable

Recomendación estratégica: Continuar operación Ajustar preventivo Implementar CBM Overhaul Evaluar reemplazo

8. Checklist preventivo integrado

Ítem	Verificación	Estado	Observaciones
Nivel aceite	Realizado	<input type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> No OK
Sistema refrigeración	Realizado	<input type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> No OK
Sistema frenos	Realizado	<input type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> No OK

Sistema eléctrico	Realizado	<input type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> No OK
Suspensión	Realizado	<input type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> No OK
Diagnóstico electrónico	Realizado	<input type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> No OK

9. Variables operativas críticas

Variable..... Valor Registrado.....

Horas por misión.....

Tipo terreno.....

Carga promedio.....

Equipamiento diagnóstico disponible.....

Nivel capacitación técnico.....

10. Validación

Técnico responsable: _____

Grado / Especialidad: _____

Firma: _____

Supervisor mantenimiento: _____

Firma: _____

Fecha cierre OT: ____ / ____ / _____