

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

Diseño de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para la línea de buses
Volvo B5RH del plan de mantenimiento oro de la empresa Volvo Group Colombia S.A.S.

Alan Eduardo Ruesta Zambrano

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director

Jabid Eduardo Quiroga Méndez

Doctor en Ingeniería Civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

A mis padres, siempre le daré gracias a Dios por ustedes. Madre, eres la mayor motivación que hay en mi vida para ser mejor cada día. Padre, fuiste y sigues siendo el mayor ejemplo del hombre que quiero ser.

A mis hermanos, los amo más de lo que puedo expresar.

A mis tíos Cristina y Gabriel, su apoyo y amor son más de lo que cualquiera puede pedir en la vida.

Agradecimientos

Al Ingeniero Jabid Eduardo Quiroga Méndez, su guía en este proyecto fueron fundamentales para darle forma.

A la Universidad Industrial de Santander y los profesores de la Cohorte XXXVIII de Bogotá por toda su colaboración y la oportunidad de crecer profesionalmente.

A mis compañeros de posgrado de la Cohorte XXXVIII de Bogotá quienes hicieron de esto una increíble experiencia.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	12
1. Objetivos	14
1.1. Objetivo General	14
1.2. Objetivos Específicos.....	14
2. Materiales y métodos	14
2.1. Generalidades de la empresa.....	15
2.2. Misión	15
2.3. Visión.....	15
2.4. Plan de Mantenimiento Oro	15
3. Desarrollo.....	21
3.1. Investigación Preliminar.	21
3.2. Evaluación del estado actual.....	22
3.3. Identificación de componentes críticos.....	28
3.3.1. Batería de Tracción.....	33
3.3.2. Inyector	33
3.3.3. Convertidor	34
3.3.4. Compresor de aire eléctrico.	35
3.3.5. Batería 12V	35
3.3.6. Unidad bomba.....	36
3.3.7. Compresor.....	37

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

3.3.8. Motor eléctrico.....	38
3.3.9. Bomba de alta presión.....	38
3.3.10. Conjunto.....	39
3.3.11. Modulador Trasero.....	39
3.3.12. Tubo	40
3.3.13. Válvula pie de freno.....	40
3.3.14. Disco de embrague.....	41
3.3.15. Radiador	41
3.3.16. Cilindro	41
3.3.17. Sensor.....	42
3.3.18. Enfriador de aceite	42
3.3.19. Motor hidráulico	43
3.3.20. Juego regulador.....	43
3.4. Análisis de Modos y Efectos de falla (FMEA).....	43
3.5. Diseño del nuevo plan de mantenimiento.....	45
4. Conclusiones	52
5. Recomendaciones	53
Apéndices.....	55

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Flota Volvo B5RH de Consorcio Express S.A.S.</i>	16
Tabla 2 <i>Fallas por sistema</i>	23
Tabla 3 <i>Fallas por subsistema</i>	25
Tabla 4 <i>Costos de mantenimiento</i>	27
Tabla 5 <i>Repuestos de mayor afectación</i>	29
Tabla 6 <i>Distribución de repuestos utilizados por sistema</i>	30
Tabla 7 <i>Distribución de repuestos utilizados por subsistema</i>	31
Tabla 8 <i>Distribución de repuestos utilizados por subsistema correspondientes al 80% de las novedades de la flota B5RH</i>	32
Tabla 9 <i>Rutinas de mantenimiento actuales flota Volvo B5RH</i>	45
Tabla 10 <i>Actividades de mantenimiento propuestas para la flota Volvo B5RH</i>	49

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Pareto de fallas por sistema</i>	24
Figura 2 <i>Pareto de fallas por subsistema</i>	26
Figura 3 <i>Pareto de repuestos</i>	29
Figura 4 <i>Curva de confiabilidad Inyectores</i>	34
Figura 5 <i>Curva de confiabilidad Compresor de aire eléctrico</i>	35
Figura 6 <i>Curva de confiabilidad Unidad bomba (Bomba Pucu) Posición N°1</i>	36
Figura 7 <i>Curva de confiabilidad Unidad bomba (Bomba Pucu) Posición N°2</i>	37
Figura 8 <i>Curva de confiabilidad Compresor</i>	37
Figura 9 <i>Curva de confiabilidad Bomba de alta presión</i>	39
Figura 10 <i>Curva de confiabilidad Válvula pie de freno</i>	40
Figura 11 <i>Curva de confiabilidad Disco de embrague</i>	41
Figura 12 <i>Curva de confiabilidad Cilindro</i>	42
Figura 13 <i>Curva de confiabilidad Motor hidráulico</i>	43

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

Lista de Apéndices

Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS

Apéndice A. Análisis Weibull

Apéndice B. Análisis de Modos y Efectos de falla (FMEA) Flota Volvo B5RH

Glosario

FMEA (Siglas en inglés): Análisis de Modos y Efectos de Falla. Es una técnica sistemática utilizada para identificar y evaluar los modos de falla potenciales de un producto o proceso, así como sus efectos, para priorizar las acciones correctivas necesarias

Híbrido: Vehículo propulsado por dos motores, uno diésel y otro eléctrico

RCM (Siglas en inglés): Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Es una metodología que se utiliza para garantizar que los sistemas continúen operando de manera efectiva

Resumen

Título: Diseño de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para la línea de buses volvo B5RH del plan de mantenimiento oro de la empresa Volvo Group Colombia S.A.S.*

Autor: Alan Eduardo Ruesta Zambrano**

Palabras Clave: RCM, FMECA, confiabilidad, disponibilidad

Descripción:

Volvo Group Colombia S. A. S. ha decidido enfocar su plan de mantenimiento Oro en asegurar que se realicen todos los servicios de mantenimiento necesarios para los chasis de autobuses de sus clientes al 100%. A pesar de seguir los estándares preventivos establecidos, se ha notado una disminución en la confiabilidad y disponibilidad de la flota Volvo B5RH. Con el objetivo de abordar esta problemática, se plantea la elaboración de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) como propuesta dentro de este proyecto. Para identificar patrones y áreas de mejora, se ha examinado el historial de mantenimiento de la flota. También, se ha llevado a cabo un análisis de confiabilidad en los componentes clave de los buses para evaluar su rendimiento y duración utilizando la técnica FMEA que analiza los modos de falla y sus efectos.

La elaboración del nuevo plan de mantenimiento se fundamenta en la información recopilada y las técnicas más efectivas en cuanto a fiabilidad. El objetivo del enfoque RCM es maximizar la eficiencia de las rutinas de mantenimiento preventivo, aumentar la confiabilidad y disponibilidad de la flota. Se espera que el plan resultante también tenga como efecto prolongar la vida útil de los componentes críticos. El objetivo de implementar este plan es mejorar la gestión del mantenimiento y lograr una flota de buses operativa, eficiente y económica. Volvo Group Colombia S. A. S. tiene como objetivo mejorar la eficiencia operativa y la satisfacción del cliente a través de su nuevo plan de mantenimiento enfocado en confiabilidad, brindando así un servicio más sólido y seguro para sus clientes.

* Trabajo de Grado

**Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Jabid Eduardo Quiroga Méndez.

Abstract

Title: Design of a Reliability-Centered Maintenance (RCM) Plan for the Volvo B5RH Bus Line of the Gold Maintenance Plan of Volvo Group Colombia S.A.S.*

Author(s): Alan Eduardo Ruesta Zambrano**

Key Words: RCM, FMECA, reliability, availability

Description:

Volvo Group Colombia S.A.S. has decided to focus its Gold maintenance plan on ensuring that all necessary maintenance services for the bus chassis of its customers are performed at 100%. Despite following the established preventive standards, a decrease in the reliability and availability of the Volvo B5RH fleet has been observed. To address this issue, the development of a reliability-centered maintenance (RCM) plan is proposed within this project. To identify patterns and areas for improvement, the maintenance history of the fleet has been examined. Additionally, a reliability analysis of the key components of the buses has been carried out to evaluate their performance and lifespan using the FMEA technique, which analyzes failure modes and their effects.

The development of the new maintenance plan is based on the collected information and the most effective reliability techniques. The goal of the RCM approach is to maximize the efficiency of preventive maintenance routines, increase the reliability and availability of the fleet. It is expected that the resulting plan will also prolong the lifespan of critical components. The aim of implementing this plan is to improve maintenance management and achieve an operational, efficient, and economical bus fleet. Volvo Group Colombia S.A.S. aims to enhance operational efficiency and customer satisfaction through its new reliability-focused maintenance plan, thus providing a more robust and safe service for its customers.

* Degree Work

** School of Mechanical Engineering. Specialization in Maintenance Management. Advisor: Jabid Eduardo Quiroga Méndez.

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

Introducción

El enfoque principal de Volvo Group Colombia S. A. S. es garantizar que los servicios de mantenimiento requeridos para los chasis de los autobuses de sus clientes se lleven a cabo completamente dentro del plan Oro de mantenimiento. No obstante, a pesar de seguir los estándares establecidos se ha observado una reducción de la confiabilidad en la línea Volvo B5RH. La flota se ve afectada negativamente en términos de eficiencia operativa debido a un aumento de fallos y tiempos de inactividad más prolongados, lo que resulta en costos imprevistos adicionales. Con el fin de solucionar estas deficiencias, se plantea la idea de diseñar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).

Asegurar la operación continua y eficiente de los vehículos es fundamental, por lo que el mantenimiento de las flotas de transporte resulta imprescindible. Históricamente, se ha dado prioridad a los enfoques preventivos en la gestión de flotas; sin embargo, cada vez más se reconoce que estos métodos podrían no ser completamente eficaces para asegurar una confiabilidad y disponibilidad óptimas. Estrategias como el análisis de modos de falla y efectos (FMEA) y el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) se han desarrollado como métodos avanzados que ofrecen un enfoque más preciso y personalizado para cada componente del vehículo. En este escenario, Volvo Group Colombia S. A. S. tiene la intención de implementar estas metodologías con el fin de incrementar el rendimiento de su flota.

La finalidad de este proyecto consiste en diseñar un RCM para los autobuses Volvo B5RH, con el fin de mejorar la confiabilidad y disponibilidad de dichos vehículos, disminuir el tiempo en que se encuentran inactivos y optimizar los gastos derivados del mantenimiento. Se fundamenta en un estudio minucioso del historial de mantenimiento de la flota y una evaluación detallada de la confiabilidad de los componentes clave utilizando la metodología FMEA.

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

El proyecto se justifica en la necesidad de mejorar las prácticas actuales de mantenimiento preventivo. Identificar fallas recurrentes y componentes críticos que necesitan atención especial se logra a través del análisis de datos históricos y el estudio de confiabilidad. El enfoque RCM proporciona una metodología bien definida para crear estrategias de mantenimiento que no solo eviten fallos, sino también alarguen la vida útil de los componentes críticos, lo cual resulta en una mejora significativa en la eficiencia operativa.

Tanto la gestión de flotas como el ámbito social se verán significativamente afectados por la implementación de un plan de mantenimiento RCM. En términos operativos, se busca aumentar la disponibilidad y confiabilidad de la flota para lograr una mayor eficiencia operativa y disminuir los gastos relacionados con averías imprevistas. Desde una perspectiva social, una flota de transporte público más confiable y disponible garantiza un servicio más seguro y eficiente para los usuarios. Esto a su vez aumentará la satisfacción del usuario y generará mayor confianza en el sistema de transporte. El objetivo de este proyecto es solucionar la falta de confiabilidad y disponibilidad que se ha observado, a través del uso de técnicas avanzadas en el mantenimiento.

Para llevar a cabo este proyecto, se utilizará un enfoque que implica recopilar y analizar datos históricos de mantenimiento, evaluar la confiabilidad de los componentes utilizando FMEA y crear un plan de mantenimiento basado en los principios de RCM. Gracias al enfoque meticuloso y respaldado por datos, es posible diseñar un plan de mantenimiento que atienda directamente las causas de los fallos, mejore las rutinas preventivas y optimice la eficiencia operativa de los autobuses Volvo B5RH.

1. Objetivos

Los objetivos generales y específicos de esta monografía se presentan a continuación.

1.1. Objetivo General

Diseñar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para la línea de buses Volvo B5RH del plan de mantenimiento Oro de la empresa Volvo Group Colombia S.A.S.

1.2. Objetivos Específicos

Identificar patrones y áreas de mejoras mediante el análisis del historial del mantenimiento.

Realizar un estudio de confiabilidad de los componentes clave de los buses, evaluando su desempeño y vida útil.

Diseñar un plan de mantenimiento, considerando las rutinas de mantenimiento preventivo establecidos, los hallazgos del análisis y las mejores prácticas en confiabilidad.

2. Materiales y métodos

Para el desarrollo de esta monografía, se recopiló el historial de mantenimiento de la flota durante un período de cinco años para obtener una base de datos representativa. La recopilación y análisis inicial de datos se llevó a cabo utilizando herramientas como Microsoft Excel. En este proceso, también tuvieron un papel esencial los documentos técnicos de Volvo, como los manuales de servicio y mantenimiento, así como sus estándares para la prevención de averías.

Durante el análisis de modos de falla y efectos (FMEA), se llevó a cabo la identificación de componentes clave del chasis, donde se evaluaron tanto los posibles modos de fallo como sus

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

respectivos efectos y causas. Se utilizó una matriz de riesgos para dar prioridad a las fallas, clasificándolas en función de su gravedad, probabilidad y facilidad de detección. Según estos resultados, se establecieron estrategias de mantenimiento adaptadas a cada componente esencial, las cuales incluyen procedimientos preventivos y predictivos.

Cualquier profesional en el área de mantenimiento de flotas puede replicar la metodología descrita, siempre y cuando dispongan de los materiales y herramientas de análisis utilizados. Contar con conocimientos básicos de análisis FMEA y RCM, así como habilidades en el manejo de los softwares específicos como Microsoft Excel, es esencial. Esta metodología es adaptable a otras flotas y contextos operativos, lo que demuestra su aplicabilidad en diversos escenarios de mantenimiento vehicular.

2.1. Generalidades de la empresa

La empresa Volvo Group Colombia nace en 2009 como empresa de comercio de buses y camiones nuevos para el mercado colombiano en Bogotá D.C. En 2014 se funda la red de concesionarios Volvo Andina como concesionario propio de la marca, el cual es el encargado de la venta de partes y servicios para buses y camiones de la marca Volvo y Renault Trucks.

2.2. Misión

Impulsar la prosperidad a través de soluciones de transporte e infraestructura.

2.3. Visión

Ser el proveedor de soluciones de transporte e infraestructura más deseado y exitoso del mundo.

2.4. Plan de Mantenimiento Oro

Como parte de los servicios que presta Volvo Group Colombia a sus clientes, se encuentra el plan de mantenimiento oro el cual está enfocado en la ejecución del 100% de los

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

mantenimientos de los chasis fabricados por Volvo. Este plan contempla tanto personal técnico Volvo como repuestos genuinos manufacturados por la marca con la finalidad de que los propietarios de los chasis sean los encargados de operar los vehículos sin la necesidad de repartir sus esfuerzos entre el mantenimiento y la operación.

Actualmente la empresa Consorcio Express S.A.S. tiene un contrato de plan de mantenimiento Oro en sus chasis B5RH, el cual es un chasis de autobús híbrido – eléctrico de un piso fabricado por Volvo a partir de 2013. Este chasis es propulsado por medio de un motor de combustión interna y un motor eléctrico el cual se utiliza en las operaciones de la Empresa de Transporte de Tercer Milenio, TRANSMILENIO S.A. quien es el ente gestor del Sistema de transporte público de la ciudad de Bogotá D.C., Colombia. Esta flota actualmente se encuentra en un kilometraje promedio de 600.000 Km recorridos desde el inicio de su operación y según lo establecido en el contrato de concesión con Transmilenio S.A. su vida útil es de 1.000.000 Km y según cláusulas del contrato se cuenta con la posibilidad de extensión a 1.300.000 Km en caso de que Consorcio Express S.A.S. lo solicite y demuestre que los vehículos se encuentran en condiciones óptimas de operación y mantenimiento al completar el 1.000.000 de km recorridos.

En la tabla 1 se presenta la relación de vehículos con chasis Volvo B5RH

Tabla 1

Flota Volvo B5RH de Consorcio Express S.A.S.

N°	ID	Chasis	Tipología	Tipo de servicio	Carrocero	Emisiones
1	D500	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
2	D501	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
3	D502	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
4	D503	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
5	D504	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
6	D505	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
7	D506	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

8	D507	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
9	D508	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
10	D509	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
11	D510	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
12	D511	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
13	D512	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
14	D513	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
15	D514	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
16	D515	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
17	D516	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
18	D517	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
19	D518	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
20	D519	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
21	D520	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
22	D521	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
23	D522	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
24	D523	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
25	D524	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
26	D525	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
27	D526	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
28	D527	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
29	D528	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
30	D529	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
31	D530	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
32	D531	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
33	D532	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
34	D533	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
35	D534	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
36	D535	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
37	D536	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
38	D537	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
39	D538	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
40	D539	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
41	D540	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
42	D541	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
43	D542	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
44	D543	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
45	D544	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
46	D545	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
47	D546	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
48	D547	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

49	D548	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
50	D549	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
51	D550	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
52	D551	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
53	D552	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
54	D553	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
55	D554	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
56	D555	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
57	D556	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
58	D557	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
59	D558	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
60	D559	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
61	D560	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
62	D561	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
63	D562	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
64	D563	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
65	D564	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
66	D565	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
67	D566	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
68	D567	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
69	D568	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
70	D569	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
71	D570	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
72	D571	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
73	D586	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
74	D587	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
75	D588	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
76	D589	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
77	D590	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
78	D591	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
79	D592	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
80	N531	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
81	N532	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
82	N533	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
83	N534	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
84	N535	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
85	N536	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
86	N537	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
87	N538	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
88	N539	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
89	N540	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

90	N541	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
91	N542	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
92	N543	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
93	N544	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
94	N545	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
95	N546	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
96	N547	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
97	N548	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
98	N549	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
99	N550	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
100	N551	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
101	N552	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
102	N553	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
103	N554	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
104	N555	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
105	N556	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
106	N557	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
107	N558	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
108	N559	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
109	N560	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
110	N561	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
111	N562	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
112	N563	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
113	N564	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
114	N565	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
115	N566	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
116	N567	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
117	N568	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
118	N569	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
119	N570	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
120	N571	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
121	N572	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
122	N573	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
123	N574	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
124	N575	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
125	N576	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
126	N577	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
127	N578	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
128	N579	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
129	N580	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
130	N581	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

131	N582	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
132	N583	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
133	N584	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
134	N585	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
135	N586	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
136	N587	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
137	N588	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
138	N589	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
139	N590	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
140	N591	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
141	N592	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
142	N593	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
143	N594	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
144	N595	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
145	N596	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
146	N597	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
147	N598	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
148	N599	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro VI
149	N600	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
150	N601	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
151	N602	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
152	N603	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
153	N604	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
154	N605	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
155	N607	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
156	N608	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
157	N609	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
158	N610	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
159	N611	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
160	N612	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
161	N613	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
162	N614	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
163	N615	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
164	N616	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
165	N617	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
166	N618	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
167	N619	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
168	N620	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
169	N621	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
170	N622	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
171	N623	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

172	N624	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
173	N625	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
174	N626	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
175	N627	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V
176	N628	B5RH	Hibrido	DUAL	Busscar	Euro V

Nota: Esta tabla representa la cantidad de vehículos que compone la flota de la empresa Consorcio Express S.A.S. utilizada en las operaciones de Transmilenio S.A.

3. Desarrollo.

En este capítulo, se implementa la metodología propuesta, la cual consta de seis (6) etapas en las que se desarrolla la investigación para cumplir con los objetivos propuestos.

3.1. Investigación Preliminar.

Para realizar la investigación preliminar, se revisó la literatura existente tanto en bases de datos académicas como estudios relevantes en la industria del transporte. En particular, el foco estuvo puesto en el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). Con este enfoque, se pueden identificar las prácticas más sobresalientes y ajustar las estrategias más eficaces para adaptarlas al proyecto según su contexto específico.

Holvein, E., & Gonzalez, A. (2022) en su trabajo de grado Diseño del plan de mantenimiento basado en RCM para los camiones de transporte de fruto de la empresa Palmar de Altamira S.A.S. Desarrollan un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para los camiones Volkswagen 31.330 utilizados en el transporte de frutas por la empresa Palmar de Altamira S. A. S., basado en RCM. La empresa Palmar de Altamira S. A. S., para lo que se lleva a cabo un análisis exhaustivo tanto de los sistemas como subsistemas involucrados en esta actividad. Este estudio se centra especialmente en las funciones esenciales de los camiones utilizados. Se consideró la experiencia de la operación en la empresa al determinar los intervalos de mantenimiento y al diseñar una estrategia que busca incrementar la disponibilidad y

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

confiabilidad de los camiones, a su vez reducir los costos relacionados con el mantenimiento y operación para aumentar la productividad en dicha empresa.

En la revisión de literatura se destacan diversas prácticas superiores en lo que respecta al mantenimiento centrado en la confiabilidad. Para lograr la identificación de los equipos críticos, se utiliza el análisis de Pareto para determinar cuáles son los componentes del equipo que ocasionan la mayor cantidad de fallos. El enfoque se focaliza en los equipos clave que tienen un impacto directo tanto en la disponibilidad operativa como en la eficiencia de toda la flota.

Para evitar que los problemas sigan ocurriendo en repetidas ocasiones, es crucial llevar a cabo un análisis exhaustivo de las novedades presentadas por la flota, el cual nos ayuda a identificar y comprender las falencias fundamentales y tomar medidas con base en dicho conocimiento para prevenir futuros contratiempos. Para mejorar la gestión del mantenimiento preventivo, es necesario crear un programa de actividades basado en el análisis de fallos anteriores y las condiciones operativas actuales. Se utilizarán datos históricos y registros detallados para ajustar y optimizar los intervalos de mantenimiento con el fin de maximizar su eficiencia.

La investigación inicial establece una sólida fundamentación para la elaboración de un plan de mantenimiento, el cual tiene como objetivo mejorar la disponibilidad del funcionamiento y disminuir los gastos asociados. Asimismo, se busca asegurar tanto la eficacia como la sostenibilidad a largo plazo del parque automotor.

3.2. Evaluación del estado actual.

En esta etapa, se busca entender la situación actual de los vehículos Volvo B5RH. Esto incluye analizar posibles problemas recurrentes, identificar novedades y detección de patrones en el mantenimiento realizado durante los últimos cinco años. Para recabar los datos, se ha prestado

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

especial atención a fuentes como los registros de novedades de la flota y el consumo de repuestos en los mantenimientos.

En lo que respecta al análisis de patrones de falla, el enfoque utilizado ha sido el análisis de Pareto para identificar las principales causas de fallos tanto en términos frecuencia como su impacto. Para esto se tomaron en cuenta los estándares de Volvo Group en los cuales el chasis se divide en seis (6) sistemas que son:

- Motor
- Eléctrico
- Transmisión
- Frenos
- Suspensión
- Dirección

Una vez identificados los sistemas se procede a analizar la cantidad de fallas por sistema durante un periodo de 5 años de operación comprendido desde el año 2019 al 2023. De esta forma se puede observar el comportamiento de las novedades por cada año de operación. En la Tabla 2 se muestran las fallas por sistema de los últimos 5 años.

Tabla 2

Fallas por sistema

Sistema	2019	2020	2021	2022	2023
Motor	20	89	123	88	82
Eléctrico	7	26	31	36	31
Transmisión	1	19	24	27	19
Frenos	1	9	31	8	18
Suspensión		5	1	4	5
Dirección	1	2		1	1
Total Anual	30	150	210	164	156

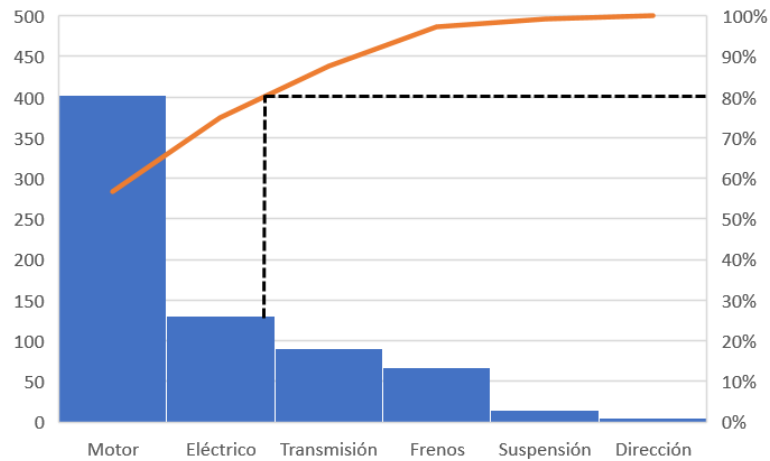
PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

Nota: Esta tabla representa las fallas por cada sistema durante un periodo de 5 años desde el año 2019 al 2023 para los 176 vehículos que conforman la flota B5RH.

Una vez identificadas las novedades por sistema se procede a realizar el Pareto de fallas para identificar en que sistemas se concentran la mayor cantidad de novedades. En la figura 1 se puede observar el Pareto de fallas por sistema.

Figura 1

Pareto de fallas por sistema



Nota: El sistema Motor no contempla el motor eléctrico debido a que este se contempla en el sistema eléctrico del chasis según lo establecido por el fabricante.

Para identificar de manera más precisa las fallas, se realiza el análisis de las fallas por los subsistemas que componen el chasis como se muestran a continuación:

- *Motor:* Cuerpo del motor, Sistema de admisión y escape, Sistema de combustible, Sistema de lubricación, Sistema de refrigeración, Sistema de encendido y Mandos del motor.
- *Eléctrico:* Baterías, Cables y fusibles, Alternador y regulador, Instrumentos, Unidades de mando y Telemática.

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

- *Transmisión:* Motor eléctrico, Transmisión, Eje propulsor, Embrague y Árbol de transmisión.
- *Frenos:* Sistema neumático y Sistema mecánico.
- *Suspensión:* Eje delantero y Eje trasero,
- *Dirección:* Columna de dirección.

En la tabla 3 se muestran las fallas por subsistemas durante el mismo periodo de 5 años.

Tabla 3

Fallas por subsistema

Subsistema	2019	2020	2021	2022	2023
Refrigeración	8	30	35	23	18
Transmisión	2	22	24	28	19
Neumático	2	15	38	12	19
Combustible		11	32	23	16
Baterías	3	24	19	11	16
Cables y fusibles	1	8	21	20	23
Motor eléctrico		9	10	15	20
Cuerpo del motor	5	7	3	9	5
Admisión y escape	2	2	9	6	3
Eje delantero	2	5	4	2	
Unidades de mando			7	3	2
Alternador y regulador		3	1	4	3
Mandos del motor	2		2	3	2
Lubricación	1	4	2	1	
Instrumentos	2	2	1	1	1
Eje trasero				3	4
Encendido		4	1		1
Columna de dirección		3	1		1
Freno mecánico					3
Eje propulsor		1			
Total anual	30	150	210	164	156

Nota: Esta tabla representa las fallas por cada subsistema durante un periodo de 5 años desde el año 2019 al 2023 para los 176 vehículos que componen la flota Volvo B5RH.

Se realiza el diagrama de Pareto a las fallas por subsistemas para identificar cuales subsistemas son los que mayor número de fallas han presentado durante los últimos 5 años. Se

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

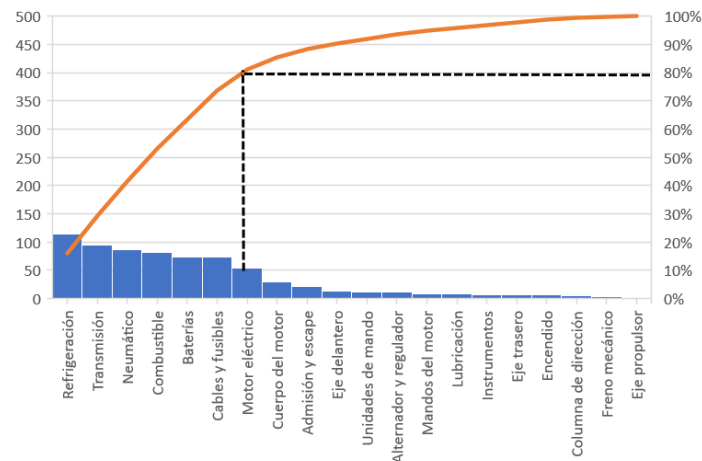
pudo observar que de los veinte (20) subsistemas que componen el chasis, el 80% de las fallas presentadas se concentran en siete (7) subsistemas, los cuales son:

- Refrigeración
- Transmisión
- Neumático
- Combustible
- Baterías
- Cables y fusibles
- Motor eléctrico

En la figura 2 se puede observar el diagrama de Pareto de fallas por subsistema.

Figura 2

Pareto de fallas por subsistema



Una vez identificados los sistemas y subsistemas en donde se concentran el mayor número de novedades, se realiza el análisis de los costos de los costos de mantenimiento durante el periodo comprendido desde el año 2019 al año 2023. Se hace especial énfasis en las

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

referencias de repuestos utilizados durante este periodo para identificar que componentes están presentando mayor afectación en la flota y en conjunto con los análisis realizados a las novedades de los sistemas y subsistemas poder identificar en donde se presentan las mayores oportunidades de mejora para garantizar la confiabilidad y disponibilidad de la flota.

Durante el transcurso de este periodo se han utilizado setecientos setenta y ocho (778) referencias diferentes en repuestos sin incluir los utilizados durante los mantenimientos preventivos como lubricantes y filtros los cuales ya tienen una frecuencia definida por la fábrica. El uso de estos repuestos represento una inversión de sesenta y cuatro mil setecientos ochenta y ocho millones doscientos veinticuatro mil setecientos sesenta y siete con cuarenta y dos centavos (\$64.788.224.767,42). Por mano de obra se ha realizado una inversión de veinte mil setecientos noventa y cinco millones trescientos noventa y nueve mil setecientos diecisiete con veintiocho centavos (\$20.795.399.717,28) para un total de costos de mantenimiento de ochenta y cinco mil quinientos ochenta y tres millones seiscientos treinta y cuatro mil quinientos ochenta y nueve con setenta centavos (\$85.583.634.589,70). En la tabla 4, se presentan los costos de mantenimiento desde el año 2019 al año 2023.

Tabla 4

Costos de mantenimiento

AÑO	2019	2020	2021	2022	2023
Repuestos	\$8.123.057.610,31	\$20.564.828.818,01	\$12.116.519.533,83	\$14.543.085.965,08	\$9.440.732.840,19
Mano de obra	\$3.842.908.577,20	\$3.916.742.906,28	\$3.947.711.785,80	\$4.765.536.448,00	\$4.322.500.000,00
TOTAL	\$11.965.968.206,51	\$24.481.573.744,29	\$16.064.233.340,63	\$19.308.624.435,08	\$13.763.234.863,19

Nota: Esta tabla representa los costos de mantenimiento desde el año 2019 al año 2023. Los valores están expresados en pesos colombianos COP.

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

Se evidencia un incremento en los costos de repuestos para el año 2020. Al revisar el historial se observa que este incremento se debe al cambio de noventa y cinco (95) baterías de tracción de 600v de la referencia 23442198, las cuales tienen un valor de ciento dieciséis millones ciento siete mil seiscientos noventa y diecisiete centavos (\$116.107.690,17) cada una.

Este cambio fue por cumplimiento de vida útil el cual está proyectado para quinientos mil (500.000) kilómetros recorridos, por lo cual teniendo en cuenta el kilometraje actual de la flota no se proyectan más cambios de manera preventiva salvo que se presenten novedades correctivas que requieran el cambio de estos componentes.

3.3. Identificación de componentes críticos.

Para analizar los costos de mantenimiento se realiza un Pareto para observar el impacto de cada referencia en el total de los costos. Con este análisis de los repuestos se puede apreciar cómo es la afectación a los costos de mantenimiento por cada sistema y subsistema desde el punto de vista del costo de cada repuesto usado.

Se evidencia que cuarenta y cuatro (44) referencias de repuestos representan el 80% de la inversión total de repuestos, por lo cual se realizara un énfasis en el impacto de estos repuestos en los sistemas y subsistemas que componen el chasis.

En la figura 3 se presenta el Pareto de repuestos utilizados durante el periodo comprendido desde el año 2019 al año 2023 y en la tabla 5 se observan los cuarenta y cuatro (44) repuestos que se evidenciaron como los de mayor afectación en los chasis.

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

Figura 3

Pareto de repuestos

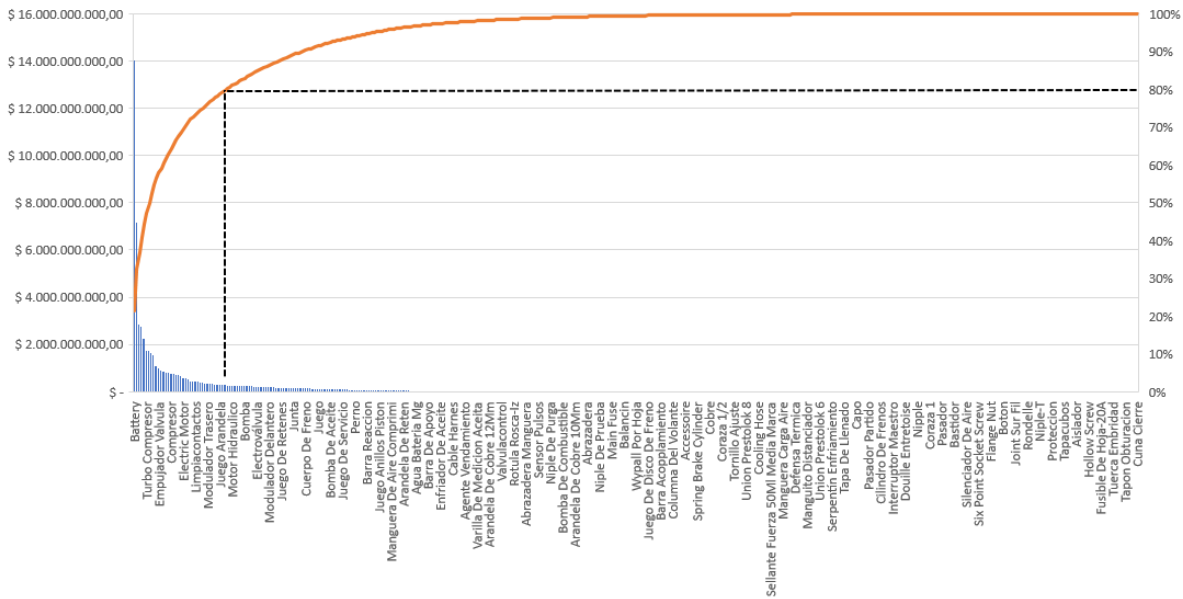


Tabla 5

Repuestos de mayor afectación

ITEM	REFERENCIA	DESCRIPCION	SISTEMA	SUBSISTEMA
1	23442198	Batería de Tracción	Eléctrico	Baterías
2	21006085	Inyector	Motor	Combustible
3	85126578	Juego de Camisa Cilindro	Motor	Cuerpo del motor
4	22238886	Convertidor Dex	Transmisión	Motor eléctrico
5	23325742	Compresor de aire eléctrico	Frenos	Neumático
6	22246239	Turbo Compresor	Motor	Admisión y escape
7	22813727	Batería 12V	Eléctrico	Baterías
8	22306360	Cigüeñal	Motor	Cuerpo del motor
9	23204882	Bloque de motor	Motor	Cuerpo del motor
10	24115407	Compresor de aire eléctrico	Frenos	Neumático
11	22176515	Empujador Válvula	Motor	Cuerpo del motor
12	22861118	Unidad Bomba	Motor	Refrigeración
13	22476890	Cojinete De Bancada	Motor	Cuerpo del motor
14	21458795	Compresor	Frenos	Neumático
15	21265695	Motor Eléctrico Dex	Transmisión	Motor eléctrico
16	21079032	Bomba De Alta Presión	Motor	Combustible
17	85013182	Alternador	Eléctrico	Alternador y regulador
18	992338	Tornillo Embridado	Motor	Cuerpo del motor

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

19	22445502	Buje De Goma	Suspensión	Eje trasero
20	22938943	Conjunto	Frenos	Neumático
21	22494872	Guía de Válvula	Motor	Cuerpo del motor
22	22314844	Convertidor Dex	Transmisión	Motor eléctrico
23	23431130	Motor Eléctrico	Transmisión	Motor eléctrico
24	20833936	Válvula De Escape	Motor	Cuerpo del motor
25	20860579	Tornillo Embridado	Motor	Cuerpo del motor
26	21024702	Juego De Pastillas	Frenos	Mecánico
27	20833932	Válvula de admisión	Motor	Cuerpo del motor
28	21122035	Modulador Trasero	Frenos	Neumático
29	20795255	Tubo	Motor	Combustible
30	23856221	Válvula pie de freno	Frenos	Neumático
31	22372749	Disco Embrague	Transmisión	Transmisión
32	22928662	Radiador	Motor	Refrigeración
33	21503450	Juego Arandela	Motor	Cuerpo del motor
34	23417523	Cilindro	Transmisión	Transmisión
35	70377054	Fuelle	Suspensión	Eje delantero
36	22851149	Motor De Arranque	Eléctrico	Encendido
37	21836533	Fuelle	Suspensión	Eje trasero
38	22785768	Sensor	Eléctrico	Baterías
39	23196202	Enfriador de aceite	Motor	Refrigeración
40	21143275	Motor hidráulico	Motor	Refrigeración
41	21451253	Árbol De levas	Motor	Cuerpo del motor
42	70369131	Juego Regulador	Frenos	Neumático
43	21134336	Embrague	Transmisión	Transmisión
44	21836531	Fuelle	Suspensión	Eje trasero

Nota: Esta tabla representa los repuestos que generaron mayor impacto desde el año 2019 al año 2023, también se muestran los sistemas y subsistemas a los cuales pertenecen.

Al revisar los repuestos que más afectaron a los chasis durante el periodo del año 2019 al 2023, se realiza la asociación a los sistemas y subsistemas en los que operan. En la tabla 6 se presenta la distribución de los repuestos utilizados en cada sistema.

Tabla 6

Distribución de repuestos utilizados por sistema

Sistema	Cantidad	Relación
Motor	20	45,5%
Frenos	8	18,2%
Transmisión	7	15,9%
Eléctrico	5	11,4%

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

Suspensión	4	9,1%
Total	44	100%

Se realiza un análisis a los repuestos enfocándolos a los subsistemas que presentaron mayor afectación. En la tabla 7 se puede observar la distribución de los repuestos utilizados en cada subsistema.

Tabla 7

Distribución de repuestos utilizados por subsistema

Subsistema	Cantidad	Relación
Cuerpo del motor	12	27,3%
Neumático	7	15,9%
Refrigeración	4	9,1%
Motor eléctrico	4	9,1%
Combustible	3	6,8%
Baterías	3	6,8%
Transmisión	3	6,8%
Eje trasero	3	6,8%
Admisión y escape	1	2,3%
Mecánico	1	2,3%
Encendido	1	2,3%
Alternador y regulador	1	2,3%
Eje delantero	1	2,3%
Total	44	100%

Teniendo en cuenta los resultados que se observan en la Figura 2 en la cual se evidencia el Pareto de falla por subsistemas, se realizará el análisis de la vida útil de los repuestos a aquellos que correspondan a los subsistemas de refrigeración, transmisión, neumático, combustible, baterías, Cables y fusibles y motor eléctrico. debido a que estos corresponden al 80% de las fallas de la flota B5RH, esto también teniendo en cuenta que ejecutar un plan de mantenimiento en todos los subsistemas implicaría un aumento del presupuesto de mantenimiento, el cual teniendo en cuenta el presupuesto actual y la vida útil restante de la flota

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

no se consideraría rentable para la empresa. En la tabla 8 se muestran los repuestos que corresponden a estos subsistemas identificados como los de mayor incidencia en las novedades de la flota B5RH.

Tabla 8

Distribución de repuestos utilizados por subsistema correspondientes al 80% de las novedades de la flota B5RH

ITEM	REFERENCIA	DESCRIPCION	SISTEMA	SUBSISTEMA
1	23442198	Batería de Tracción	Eléctrico	Baterías
2	21006085	Inyector	Motor	Combustible
3	22238886	Convertidor Dex	Transmisión	Motor eléctrico
4	23325742	Compresor de aire eléctrico	Frenos	Neumático
5	22813727	Batería 12V	Eléctrico	Baterías
6	24115407	Compresor de aire eléctrico	Frenos	Neumático
7	22861118	Unidad Bomba	Motor	Refrigeración
8	21458795	Compresor	Frenos	Neumático
9	21265695	Motor Eléctrico Dex	Transmisión	Motor eléctrico
10	21079032	Bomba De Alta Presión	Motor	Combustible
11	22938943	Conjunto	Frenos	Neumático
12	22314844	Convertidor Dex	Transmisión	Motor eléctrico
13	23431130	Motor eléctrico	Transmisión	Motor eléctrico
14	21122035	Modulador Trasero	Frenos	Neumático
15	20795255	Tubo	Motor	Combustible
16	23856221	Válvula pie de freno	Frenos	Neumático
17	22372749	Disco Embrague	Transmisión	Transmisión
18	22928662	Radiador	Motor	Refrigeración
19	23417523	Cilindro	Transmisión	Transmisión
20	22785768	Sensor	Eléctrico	Baterías
21	23196202	Enfriador de aceite	Motor	Refrigeración
22	21143275	Motor Hidráulico	Motor	Refrigeración
23	70369131	Juego Regulador	Frenos	Neumático
24	21134336	Embrague	Transmisión	Transmisión

Nota: Esta tabla representa los repuestos que generaron el 80% de las novedades de la flota de 176 vehículos B5RH desde el año 2019 al año 2023.

Ya identificados los repuestos más críticos, se procede a realizar el análisis de cada componente. En el caso de ser necesario determinar una vida útil se utilizará el Análisis de

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

Weibull debido a que con este análisis se permite estudiar cuál es la distribución de fallos de los componentes y que a través de los registros de fallos se observa que éstos varían a lo largo del tiempo y dentro de lo que se considera tiempo normal de uso. En el Apéndice A se pueden observar los análisis Weibull que se realizaron a los componentes que requirieron un análisis de su vida útil para determinar su confiabilidad.

Adicional a esto, se realizará el análisis sobre los componentes que hayan tenido una operación de más de un año, debido a que por políticas de Volvo Group Colombia si fallan antes de este periodo de tiempo se realizara el proceso de garantía por lo cual no afectaran los costos de los planes de mantenimiento. Para todos los análisis se tomará un parámetro estándar de 70% de confiabilidad, esto es debido a que si se tomara un parámetro del 100% los costos de mantenimiento se incrementarían de manera significativa.

3.3.1. Batería de Tracción.

Para el caso de las baterías de tracción se tiene una vida útil estipulada desde fábrica de 500.000 Km lo cual corresponde a la mitad de la vida útil. Teniendo en cuenta que esto corresponde a la mitad de vida útil de cada vehículo, no se proyectan cambios adicionales de este componente a menos de presentarse alguna novedad por defecto de fabrica o daño por alguna colisión en vía o manipulación inadecuada. Adicional a esta frecuencia, las baterías de tracción están cubiertas por un plan de mantenimiento diferente al plan Oro el cual por parte de Volvo Group Colombia se asume el cambio de dicho componente en caso de presentarse alguna falla.

3.3.2. Inyector.

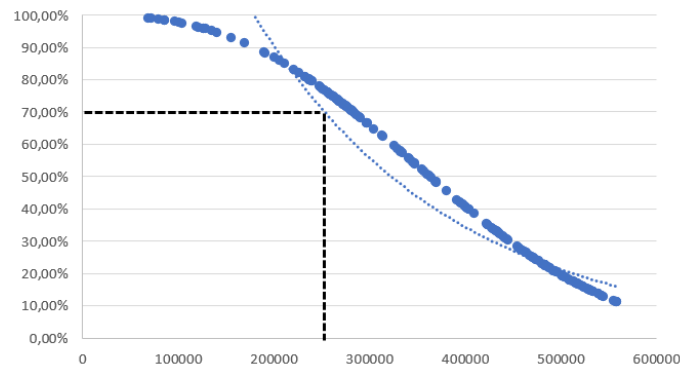
Los inyectores al igual que las baterías de tracción tienen una vida útil estipulada desde fábrica de 500.000 Km. Desde el año 2019 al año 2023 se ha realizado el cambio de inyectores de combustible a un total de 156 vehículos de los 176 que corresponden a la flota B5RH. Aunque

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

se han evidenciado que de estos 156, se ha realizado nuevamente el cambio de inyectores a 36 vehículos. Por lo cual se realiza un análisis de Weibull para determinar la vida útil de estos componentes. En la figura 4 se observa la curva de confiabilidad resultado del análisis Weibull a los inyectores de combustible.

Figura 4

Curva de confiabilidad Inyectores



Como resultado del análisis Weibull, se evidencia que, según el histórico de fallas de los inyectores, se tendrá una confiabilidad del 70% a los 280.000 Km de operación. Por lo cual se establecerá este intervalo de cambio en el plan de mantenimiento propuesto.

3.3.3. Convertidor.

Los convertidores tienen la particularidad de que se han suministrado tanto los convertidores nuevos de fábrica, como los de terminación “DEX” los cuales corresponden a un lote de chasis de B5RH los cuales se encuentran almacenados en la fábrica en Curitiba, Brasil pero que nunca fueron vendidos por diversos factores. Estos componentes se consideran nuevos, pero al estar almacenados desde su producción en 2014 han estado expuestos a diversas condiciones atmosféricas por lo cual su confiabilidad no es la misma que uno nuevo de fábrica. Por políticas de Volvo Group a partir de 2023 no se suministrarán más componentes DEX por lo cual él se descartará esta referencia y el análisis se realizará en base a los suministrados nuevos

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

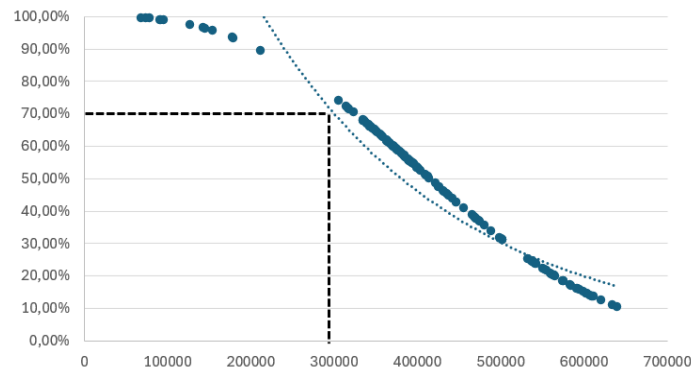
de fábrica. Como plan de acción se propone continuar con la revisión periódica de códigos activos en cada inspección preoperacional y durante los mantenimientos preventivos debido a que este es un componente electrónico sellado el cual no tiene procedimiento para mantenimiento preventivo y la recomendación de fabrica en caso de alguna falla es el cambio del componente por uno nuevo.

3.3.4. Compresor de aire eléctrico.

Tanto el compresor de aire eléctrico de referencia 23325742 y el 24115407 corresponden al mismo repuesto con la diferencia que el 24115407 posee una actualización de fábrica en el cual ya únicamente se requiere de cambio de un único filtro para su mantenimiento preventivo. Teniendo en cuenta esto, en la figura 5 se puede observar la curva de confiabilidad de este componente resultado del análisis Weibull.

Figura 5

Curva de confiabilidad Compresor de aire eléctrico



Como resultado del análisis Weibull, se evidencia que, según el histórico de fallas de los compresores de aire eléctricos, se tendrá una confiabilidad del 70% a los 320.000 Km de operación. Por lo cual se establecerá este intervalo de cambio en el plan de mantenimiento propuesto.

3.3.5. Batería 12V.

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

Los cambios de baterías 12V corresponden a mantenimientos preventivos por vida útil. Según los estándares de Volvo Group Colombia estas se cambiarán únicamente si durante las pruebas con el analizador de baterías este presenta como resultado una salud de la batería negativa. Estas pruebas con el analizador de baterías son realizadas durante cada mantenimiento preventivo o en casos en el que se evidencie en el tablero de instrumentos un voltaje de batería por debajo de los 22v de carga. Teniendo en cuenta esto no se recomienda realizar ningún cambio al plan de mantenimiento establecido.

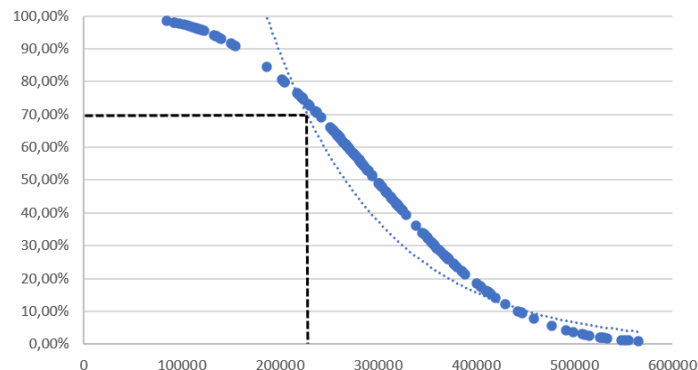
3.3.6. Unidad bomba.

La unidad bomba (bomba Pucu) es la encargada de impulsar el refrigerante para el sistema híbrido. Los chasis B5RH poseen dos (2) bombas debido a que una es la encargada de refrigerar la batería de tracción y el motor eléctrico y la otra se encarga de refrigerar las unidades de mando y demás periféricos del sistema híbrido.

Teniendo en cuenta que son dos (2) bombas Pucu y que cada una se encarga de refrigerar una serie de componentes diferentes, se realizara el análisis Weibull por separado para ambas bombas. En la figura 6 se observa el análisis Weibull para la Bomba Pucu posición N°1.

Figura 6

Curva de confiabilidad Unidad bomba (Bomba Pucu) Posición N°1

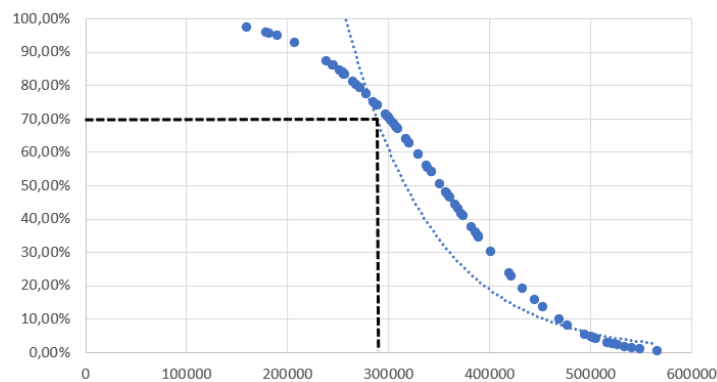


PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

Como resultado del análisis Weibull, se evidencia que, según el histórico de fallas de la bomba pucu de la posición N°1, tendrá una confiabilidad del 70% a los 240.000 Km de operación. Por lo cual se establecerá este intervalo de cambio en el plan de mantenimiento propuesto. En la figura 7 se puede observar el resultado del análisis Weibull de la bomba pucu de la posición N°2.

Figura 7

Curva de confiabilidad Unidad bomba (Bomba Pucu) Posición N°2



Como resultado del análisis Weibull, se evidencia que, según el histórico de fallas de la bomba pucu de la posición N°2, tendrá una confiabilidad del 70% a los 300.000 Km de operación. Por lo cual se establecerá este intervalo de cambio en el plan de mantenimiento propuesto.

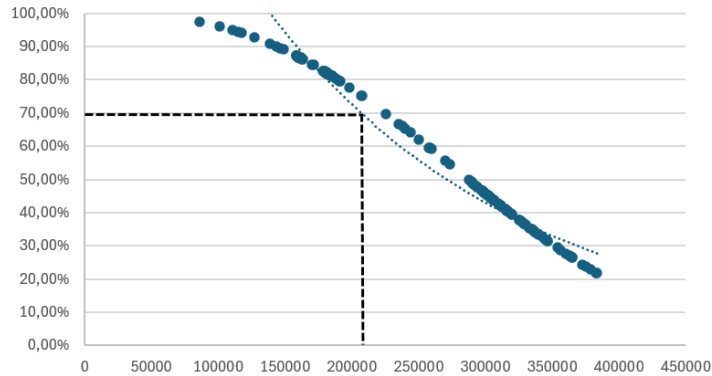
3.3.7. Compresor.

El compresor corresponde al compresor mecánico de los chasis B5RH. Según el plan de mantenimiento establecido tiene una frecuencia de mantenimiento preventivo de 72.000 Km en el cual se cambia el filtro de la base secadora. Se realiza un análisis Weibull para determinar la vida útil de este componente como se observa en la figura 8.

Figura 8

Curva de confiabilidad Compresor

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)



Como resultado del análisis Weibull, se evidencia que, según el histórico de fallas del compresor, tendrá una confiabilidad del 70% a los 225.000 Km de operación. Por lo cual se establecerá este intervalo de cambio en el plan de mantenimiento propuesto.

3.3.8. Motor eléctrico.

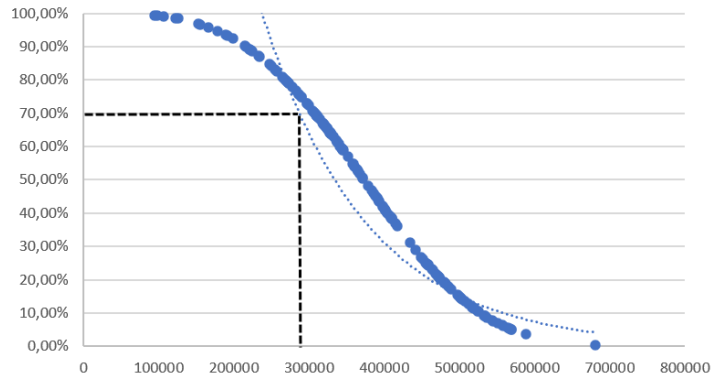
Al igual que el convertidor, los motores eléctricos también presentan en algunos casos la terminación “DEX”, para este caso se tanto el motor eléctrico suministrado nuevo desde fabrica, como el Motor Eléctrico Dex tienen una vida útil establecida hasta el fin de la vida útil del chasis. Teniendo en cuenta esto no se propone ningún cambio para el plan de mantenimiento de este componente ya que adicional al elevado costo de un motor eléctrico nuevo, este es totalmente sellado por lo cual no se puede realizar ningún tipo de mantenimiento adicional al cambio de las válvulas de ventilación de forma preventiva como se tiene estipulado en el plan de mantenimiento actual.

3.3.9. Bomba de alta presión.

En los chasis B5RH se utilizan dos (2) bombas de alta las cuales trabajan en simultaneo para alimentar el sistema de common rail de los motores y mantener la presión constante del sistema de combustible. Teniendo en cuenta esto se realiza el análisis Weibull para identificar el tiempo de vida útil según los estándares establecidos. En la figura 9 se muestra la curva de confiabilidad de este componente.

Figura 9

Curva de confiabilidad Bomba de alta presión



Como resultado del análisis Weibull, se evidencia que, según el histórico de fallas de las bombas de alta, tendrán una confiabilidad del 70% a los 308.000 Km de operación. Con la finalidad de buscar de empalmar el cambio de las bombas de alta con otras actividades de mantenimiento preventivo establecidas, se tomará un cambio a los 300.000 Km, por lo cual se establecerá este intervalo de cambio en el plan de mantenimiento propuesto.

3.3.10. Conjunto.

El conjunto corresponde al kit de instalación de los compresores eléctricos. Este incremento en esta referencia corresponde al cambio de los compresores eléctricos durante el tiempo de operación de los vehículos por lo cual no se proyecta el cambio de este conjunto durante el resto de vida útil de los vehículos con chasis B5RH.

3.3.11. Modulador Trasero.

Para el modulador de freno trasero se estableció una rutina de cambio por mantenimiento preventivo de 500.000 Km. El incremento en el consumo de este componente durante el periodo desde el año 2019 al 2023 corresponde al cumplimiento de la vida útil proyectada. Teniendo en cuenta esto, no se proyectan cambios de este componente por mantenimiento preventivo hasta el final de la vida útil de los vehículos.

3.3.12. Tubo.

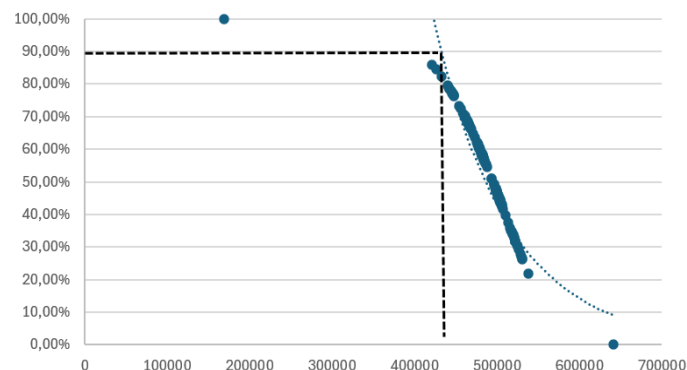
El tubo corresponde al acoplamiento de los tubos de alta presión y el incremento se debió a una campaña ejecutada en el 2023 por cumplimiento de vida útil el cual está proyectada para los 500.000 Km. Por lo cual no se proyectan cambios de este componente por mantenimiento preventivo.

3.3.13. Válvula pie de freno.

A primera vista se observa que este componente puede superar los 500.000 Km de vida útil, pero teniendo en cuenta que corresponde al sistema de frenos el cual no se encuentra proyectado dentro de alguna campaña o rutina de mantenimiento preventivo, se realizara un análisis Weibull para determinar la vida útil de este componente. Teniendo en cuenta la importancia de este componente para la correcta operación del sistema de frenos, se establecerá un estándar de confiabilidad del 90% para garantizar la seguridad tanto de los operadores como de los usuarios. En la figura 10 se muestra la curva de confiabilidad de la válvula pie de freno.

Figura 10

Curva de confiabilidad Válvula pie de freno



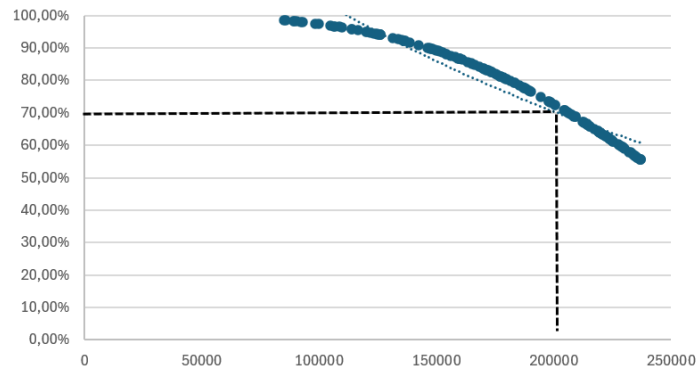
Como resultado del análisis Weibull, se evidencia que, según el histórico de fallas de la válvula pie de freno, tendrán una confiabilidad del 90% a los 400.000 Km de operación. Por lo cual se establecerá este intervalo de cambio en el plan de mantenimiento propuesto.

3.3.14. Disco de embrague.

Para el caso de los discos de embrague se realizará un análisis en conjunto con el repuesto embrague identificado con el PN 21134336, debido a que estos dos componentes se cambian en conjunto. Se realiza el análisis Weibull para validar la vida útil de este componente. En la figura 11 se muestra la curva de confiabilidad del disco de embrague.

Figura 11

Curva de confiabilidad Disco de embrague



Como resultado del análisis Weibull, se evidencia que, según el histórico de fallas del disco de embrague, tendrá una confiabilidad del 70% a los 205.000 Km de operación. Por lo cual se establecerá este intervalo de cambio en el plan de mantenimiento propuesto.

3.3.15. Radiador.

Para los radiadores durante el primer semestre del 2023, se estableció una frecuencia de cambio de manera preventiva cada 280.000 Km. Teniendo en cuenta el comportamiento de novedades de este componente durante el 2023, se sugiere seguir con la frecuencia actual de cambio y mantener el lavado de manera preventiva cada 18.000 Km durante los mantenimientos preventivos.

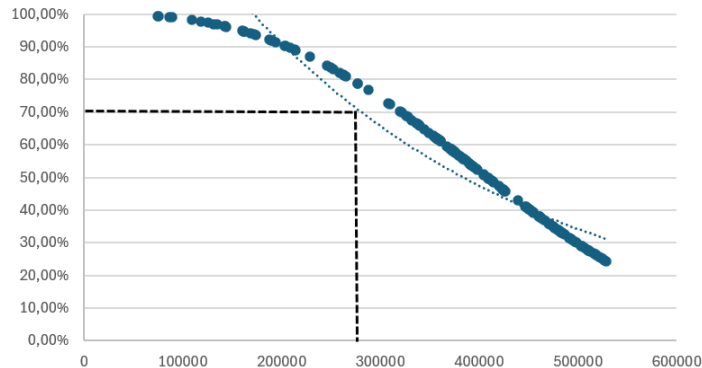
3.3.16. Cilindro.

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

El cilindro corresponde al cilindro de embrague el cual es el encargado de transmitir la fuerza al cojinete de desembrague. Se realiza análisis de Weibull para determinar su vida útil. En la figura 12 se muestra la curva de confiabilidad para el cilindro de embrague.

Figura 12

Curva de confiabilidad Cilindro



Como resultado del análisis Weibull, se evidencia que, según el histórico de fallas del cilindro, tendrá una confiabilidad del 70% a los 320.000 Km de operación. Por lo cual se establecerá este intervalo de cambio en el plan de mantenimiento propuesto.

3.3.17. Sensor.

El sensor corresponde al sensor de corriente del ESS de la batería de tracción. Para el caso de los sensores estos se encuentran incluidos dentro del plan de mantenimiento de las baterías de tracción, por lo cual se realiza el cambio de este componente solo en caso de presentarse alguna falla y adicional a esto al ser un componente sellado e integrado a la batería de tracción no es posible realizar ninguna acción preventiva.

3.3.18. Enfriador de aceite.

Para el enfriador de aceite no se tiene establecida una frecuencia debido a que estos son cambiados en cada reparación de motor, el único mantenimiento preventivo que se realiza a este componente corresponde al cambio del cartucho filtrante de aceite. Por lo cual se sugiere no

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

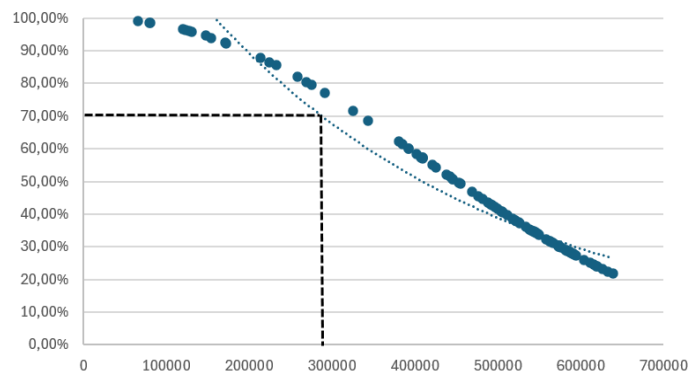
realizar ninguna acción preventiva adicional a este componente más allá de la inspección en cada cambio de cartucho filtrante de aceite durante los mantenimientos preventivos cada 18.000 Km.

3.3.19. Motor hidráulico.

Se realiza el análisis de Weibull al motor hidráulico del motoventilador para validar su vida útil de acuerdo con su histórico de fallas. En la figura 13 se muestra la curva de confiabilidad del motor hidráulico.

Figura 13

Curva de confiabilidad Motor hidráulico



Como resultado del análisis Weibull, se evidencia que, según el histórico de fallas del motor hidráulico, tendrá una confiabilidad del 70% a los 330.000 Km de operación. Por lo cual se establecerá este intervalo de cambio en el plan de mantenimiento propuesto.

3.3.20. Juego regulador.

Corresponde al kit de válvula reguladora de la base secadora del compresor eléctrico. Este kit tiene una frecuencia establecida de 72.000 Km de forma preventiva, por lo que se sugiere continuar con esta frecuencia de cambio.

3.4. Análisis de Modos y Efectos de falla (FMEA).

Se empleará el Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA) en la evaluación de los posibles modos de falla que puedan presentarse en los componentes de la flota Volvo B5RH.

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

Realizar un análisis sistemático permitirá la identificación y priorización de los posibles modos de falla que podrían afectar más la operación y confiabilidad de la flota. Mediante el uso del análisis FMEA, será posible implementar medidas de mantenimiento específicas y efectivas con el fin de reducir los riesgos relacionados y mejorar en general la confiabilidad de los vehículos.

El proceso de FMEA se inicia al identificar los componentes críticos que fueron previamente determinados utilizando el enfoque del Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM). Se examinarán los posibles modos de falla, los efectos asociados a cada modo y las causas fundamentales para cada componente. Se podrá asignar un valor de prioridad de riesgo (NPR) basado en la severidad, ocurrencia y detectabilidad de cada modo de falla gracias a este análisis detallado.

Se utilizarán los resultados del FMEA para priorizar las acciones de mantenimiento, dándole importancia a los modos de falla con mayor NPR en primer lugar. Para mantener adecuadamente, se pueden llevar a cabo acciones de mantenimiento recomendadas como el mantenimiento preventivo, la monitorización de las condiciones, tareas proactivas y predictivas, así como otros requisitos específicos para cada componente.

En el apéndice B se puede observar el Análisis de Modos y Efectos de falla (FMEA), realizado a los sistemas y subsistemas que conforman el chasis, haciendo énfasis en los componentes que lo conforman. También se incluyen los resultados de los análisis realizados a los componentes identificados como de mayor criticidad para complementar la propuesta de plan de mantenimiento. Los resultados de las acciones recomendadas serán evaluados en un término de seis (6) meses una vez que inicie el nuevo plan de mantenimiento para determinar el nivel de mejora logrado y determinar si el riesgo está sobre los niveles máximos o mínimos tolerables de conformidad.

3.5. Diseño del nuevo plan de mantenimiento.

Para la creación del nuevo plan de mantenimiento, se tomará en cuenta la combinación de las estrategias RCM y FMEA para garantizar una mayor confiabilidad y de esta manera complementar el plan de mantenimiento actual. Con este enfoque, se logrará un plan de mantenimiento detallado para la flota Volvo B5RH, garantizando que los vehículos estén siempre disponibles con el máximo nivel de confiabilidad.

En la tabla 9 se muestran las actividades que componen las rutinas de mantenimiento actuales que se ejecutan en la flota Volvo B5RH.

Tabla 9

Rutinas de mantenimiento actuales Flota Volvo B5RH

Frecuencia	Actividad	Operación	Tiempo (Min)	Repuesto	Parte numero	Cantidad
	Servicio básico	17742-2	240	Junta	11998	
	Conect-desconect pc	17010-2	12	Aceite de motor hibrido; 15w-50	85123563	16,5 L
	Arranques del motor, contador	17022-3	6	Filtro separador de agua	21380408	1
	Aceite y filtro del motor, cambio. área de lubricación	17513-2	30	Filtro de aceite	20998807	1
18.000 km	Filtro de combustible, cambio (uno)	23306-3	24	Filtro de combustible	20998805	1
	Filtro del separador de agua, cambio	23312-2	36	Agua batería (a condición de tipo de batería)	3100796MG	2
	Lavado del motor. incluso encapsulación del motor, todas las compuertas inferiores,	18102-2	42	Aros antizulfatantes	227394LOC	2

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

desmontar/montar

	Baterías, desmontaje (todas)	31170-1	24	Limpia contactos	189389565300LOC	1
	Baterías, montaje (todas)	31172-1	18	Terminal batería (según condición)	977780	1
	Vehículo híbrido eléctrico, puesta en servicio (tiempo para híbrido de turno)	31001-1	24	Terminal batería (según condición)	977781	1
	Vehículo híbrido eléctrico, puesta fuera de servicio (tiempo para híbrido de turno)	31002-1	36	Tornillo embriado (según condición)	984727	2
	Cambio terminales cables batería 12v (bornes) según condición	37101-1	24	Tuerca embriada	990939	2
	Reacondicionamiento cables y cambio de tornillos (según condición)	37100	36	-	-	-
36.000 km	Cartucho del filtro de aire, cambio. aplicable solamente al filtro primario	25624-2	18,0	Cartucho filtro de aire	21834199	1
	Válvulas, ajuste	21412-2	144,0	Junta	20795233	1
54.000 km	Caja de cambios, cambio de aceite y filtro. zona de lubricación	17523-3	30	Aceite shell spirax s2 a 80w90	5341LOC	16 L
	Aceite del grupo cónico, cambio. zona de lubricación	17527-3	24	Filtro de aceite	20779040	1
	-	-	-	Junta	949329	2
	-	-	-	Aceite shell spirax s2 a 85w14	5209LOC	15 L
72.000 km	Filtro, adblue, cambio	25822-2	72	Juego filtro; sist. dosific. Adblue	21333097	1

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

	Secador de aire, control del funcionamiento	56133-2	24	Cartucho del filtro; secador de aire (filtro secadora mecánica)	20773824	1
	Aceite, filtro de aceite y separador de aceite, compresor eléctrico, cambio	17000-2	36	Filtro secadora de aire eléctrico	21620181	1
	Cambio alternador	32101-2	42	Filtro compresor eléctrico kit filtro antigua (aplica para compresor antiguo)	21783150	1
	Tensor de correa, alternador, cambio	32130-2	30	Aceite hidráulico	85124636	1
	Rodillo tensor correa alternador, cambio	32131-2	30	Alternador	85013182	1
	Inspeccionar sistema de carga alternadores (ajuste de terminales).	37000	18	Correa en v	20846323	1
	-	-	-	Rodillo ruptura	21390528	1
	-	-	-	Tensor correa	21500149	1
	Válvula de ventilación, motor eléctrico, cambio	49528-3	18,0	Válvula de vaciado	21251167	1
108.000 km	Válvula de ventilación, motor eléctrico, cambio	49530-4	12,0	Válvula de vaciado	21229200	1
	Filtro de aire secundario, cambio. filtro de aire desmontado.	25625-3	18,0	Filtro de aire secundario	23429018	1
144.000 km	Accionamiento del ventilador de radiador hidráulico, cambio de aceite y filtro	26346-2	78	Aceite shell spirax s3 atf md3	5229LOC	5
	Reparar secadora mecánica	56125-3	24	Filtro hidráulico.	20801559	1
	Reajuste del secador de aire, calibrado	56185-3	12	Juego regulador	70369131	1

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

			compresor mecanico		
Cambio secadora mecánica y drenaje calderines de sistema neumático	56000-2	60	Secador de aire	70369129	1
Desarme y mantenimiento base secadora mecánica	56100-2	180	Kit de reparación secadora mecánica	21489991	1
Desarme base secadora eléctrica- reemplazo de válvula reguladora - empaquetaduras - instalación de filtros nuevos - limpieza general - armado y alistamiento de instalación s	56000-2	60	Kit de reparación	85102265	1
Cambio secadora eléctrica aire	56116-2	54	Secador de aire	21620172	1
Cambiar empaque base secadora eléctrica	56166-3	36	Separador compresor eléctrico. (aplica para compresor nuevo)	23091095	1
Cambiar tacos delanteros de motor	21806-2	36	Cojín de goma	21418697	2
Cambio ovni	56230-2	54	Depósito de aire	20415540	1

Teniendo en cuenta las actividades de mantenimiento que actualmente se ejecutan, se propone complementar el plan de mantenimiento preventivo con las actividades propuestas a los componentes que más novedades han presentado en la flota Volvo B5RH.

Para minimizar los ingresos de la flota Volvo B5RH al taller y minimizar las afectaciones a la disponibilidad, en las actividades propuestas se establece un rango de ± 10.000 km para su ejecución con la finalidad de que estas sean ejecutadas durante las rutinas de mantenimiento

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

preventivo que actualmente se ejecutan en la flota. En la tabla 10 se muestran las nuevas actividades identificadas durante el análisis de los repuestos críticos y del resultado del FMEA realizado.

Tabla 10

Actividades de mantenimiento propuestas para la Flota Volvo B5RH

Frecuencia	Actividad	Operación	Tiempo (Min)	Repuesto	Parte numero	Cantidad
54.000 km	Prueba de compresión	21006-3	12	-	-	-
100.000 km ± 10.000 km	Cojinete de cabeza de biela y cojinete de bancada, cambio de posición 1 y 5	21647-3	132	Cojinete de bancada	22476890	5
	vehículo híbrido eléctrico, puesta fuera de servicio	31002-1	36	-	-	-
	vehículo híbrido eléctrico, puesta en servicio	31001-1	24	-	-	-
180.000 km ± 10.000 km	Cojinete de cabeza de biela y cojinete de bancada, cambio de todas las posiciones	21647-3	330	Cojinete de bancada	22476890	5
				Cojinete	21034608	4
				Juego de arandela	21298271	2
	vehículo híbrido eléctrico, puesta fuera de servicio	31002-1	36	-	-	-
	vehículo híbrido eléctrico, puesta en servicio	31001-1	24	-	-	-
300.000 km ± 10.000 km	Sistema de combustible, test de fugas	23027-2	54	-	-	-
280.000 km ± 10.000 km	Inyectores, cambio (todos)	23702-2	234	Inyector	20806011	4
				Arandela	20797983	4
	vehículo híbrido eléctrico, puesta fuera de servicio	31002-1	36	-	-	-
	vehículo híbrido eléctrico, puesta en	31001-1	24	-	-	-

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

servicio						
	Separador, ventilación cárter, cambio	25708-2	48	-	-	-
300.000 km± 10.000 km	Elemento de bomba, cambio	23693-3	96	Bomba de alta presión	21103245	2
300.000 km± 10.000 km	Bomba hidráulica, accionamiento de ventilador de radiador, cambio	26356-2	252	Motor hidráulico	21143275	1
240.000 km± 10.000 km	Bomba de refrigerante, ESS/EM, cambio bomba	26222-2	90	Unidad bomba	22861118	1 (Por cada posición)
Posición 1	Sistema de refrigeración, vaciado y llenado de refrigerante	26026-2	60	-	-	-
300.000 km ± 10.000 km	Refrigerante, llenado vehículo híbrido eléctrico, puesta fuera de servicio	26028-1	42	-	-	-
Posición 2	vehículo híbrido eléctrico, puesta en servicio	31002-1	36	-	-	-
	vehículo híbrido eléctrico, puesta en servicio	31001-1	24	-	-	-
	Cilindro de embrague, sustitución	41320-3	66	Cilindro	23417523	1
	Caja de cambios, desmontaje	43170-1	162	-	-	-
	Caja de cambios, montaje	43172-1	216	-	-	-
320.000 km± 10.000 km	Árbol de transmisión posterior, desmontaje y montaje	45108-2	54	-	-	-
	vehículo híbrido eléctrico, puesta fuera de servicio	31002-1	36	-	-	-
	vehículo híbrido eléctrico, puesta en servicio	31001-1	24	-	-	-
205.000 km ± 10.000 km	Plato del embrague, cambio	41131-5	36	Disco de embrague Embrague	21695963 21134336	1 1
	Caja de cambios, desmontaje	43170-1	162	-	-	-
	Caja de cambios,	43172-1	216	-	-	-

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

	montaje					
	Árbol de transmisión posterior, desmontaje y montaje	45108-2	54	-	-	-
	vehículo híbrido eléctrico, puesta fuera de servicio	31002-1	36	-	-	-
	vehículo híbrido eléctrico, puesta en servicio	31001-1	24	-	-	-
	Compresor eléctrico, desmontaje	56933-1	72	Unidad compresor de aire	22773381	1
320.000 km±	Compresor eléctrico, montaje	56934-1	60	Juego de instalación	22938944	1
10.000 km	Aceite, filtro de aceite y separador de aceite, compresor eléctrico, cambio	17507-3	36	Aceite	85124636	1,5 LTS
	Compresor, cambio	56111-2	366	Compresor	21458795	1
225.000 km±	vehículo híbrido eléctrico, puesta fuera de servicio	31002-1	36	Anillo tórico	20460467	1
10.000 km	vehículo híbrido eléctrico, puesta en servicio	31001-1	24	Anillo reten	21075389	2
400.000 km±	Válvula del freno de pie, cambio	56317-2	60	Válvula freno pie	23856221	1
10.000 km						

4. Conclusiones

La introducción del enfoque de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) y el análisis del modo y efecto de fallas (FMEA) en la flota Volvo B5RH de Consorcio Express S.A.S. ofrece una solución completa para abordar la disminución observada tanto en términos de confiabilidad como disponibilidad. Tras un minucioso examen de los registros históricos de mantenimiento y un detallado análisis de los componentes fundamentales del vehículo, se detectaron tendencias en las averías y se implementaron estrategias precisas para el cuidado.

Además de abordar directamente los objetivos establecidos para mejorar la eficiencia operativa y reducir los tiempos de inactividad, este proyecto también resalta la relevancia de utilizar un enfoque basado en datos para gestionar el mantenimiento. El análisis FMEA hizo posible establecer un orden de prioridad en las intervenciones de mantenimiento al considerar la gravedad, frecuencia y detectabilidad de las fallas. Este estudio demostró que algunas de las tácticas implementadas actualmente para el mantenimiento son efectivas, pero otras necesitan ser modificadas para alcanzar los niveles de confiabilidad deseados. Por lo tanto, se sugirió mantener las prácticas actuales que han demostrado ser efectivas y realizar cambios en aquellas que no.

Se creó un plan de mantenimiento minucioso que incluye las estrategias de RCM y FMEA, estableciendo procedimientos precisos para el mantenimiento preventivo y predictivo. Este plan garantiza que se establezcan intervalos y criterios claros para las intervenciones, los cuales se basan en un análisis detallado de la información histórica, así como en la evaluación de la confiabilidad de los componentes. Se espera que la implementación de este plan aumente la

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

disponibilidad y confiabilidad de la flota, lo cual mejorará tanto la eficiencia operativa como reducirá los costos relacionados con fallas inesperadas.

Además de tener un impacto en el ámbito operativo, este proyecto también brinda beneficios a los usuarios del sistema de transporte. Contar con una flota más confiable y siempre disponible permite brindar un servicio más seguro y eficiente, lo cual aumenta la satisfacción de los usuarios y fortalece su confianza en el sistema de transporte público. Igualmente, otras empresas del sector, tanto a nivel nacional como internacional, pueden utilizar la metodología aplicada como punto de referencia para mejorar sus prácticas de mantenimiento.

En resumen, este proyecto no solo soluciona los problemas de mantenimiento actuales de Consorcio Express S. A. S., sino que también establece una base sólida para futuras mejoras en la administración de flotas, proporcionando así un importante aporte al campo del mantenimiento y una operación eficiente del transporte público.

5. Recomendaciones

Continuar con el registro de la trazabilidad de las fallas y stock de repuestos utilizados tanto en los mantenimientos preventivos como correctivos de la flota.

Realizar un estudio técnico y financiero cuando la flota tenga un kilometraje de 900.000 km para validar si es factible la extensión de su vida útil y operarla hasta 1.300.000 km recorridos.

Evaluar los resultados de las acciones recomendadas en el periodo de 6 meses después de iniciar con el plan y validar si las medidas fueron efectivas tanto técnica como financieramente.

Referencias Bibliográficas

- Aguilar-Otero, J. R., Torres-Arcique, R., & Magaña-Jiménez, D. (2010). Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 25(1),15-25. ISSN: 0186-6036. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=58215094003>.
- Campos-López, O., Tolentino-Eslava, G., Toledo-Velázquez, M., & Tolentino-Eslava, R. (2019). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. *Científica*, 23(1),51-59. ISSN: 1665-0654. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61458265006>
- Moubray, J. (2021). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Soporte & Compañía*. Recuperado de: <https://soporteycia.com/system/files/articulos-pdf/rcm-articulo-mantenimiento-centrado-confiabilidad-03-dic-2021.pdf>
- Mora, L. M., Planeación, E., Alfaomega, P.E., Editor, G., & De, S.A. (2009). *Mantenimiento: Planeación, ejecución y control*. Recuperado de: <http://www.alfaomega.com.mx>
- Cárcel, F. (2016). Disponibilidad, incertidumbre y cadena de fallo en mantenimiento. *3C tecnología*, Vol.5 (2), P.65-80. Recuperado de: https://uis.primo.exlibrisgroup.com/permalink/57UIDS_INST/63p0of/cdi_dialnet_primario_y_oai_dialnet_unirioja_es_ART0000979116
- Holvein, E., & Gonzalez, A. (2022) *Diseño del plan de mantenimiento basado en RCM para los camiones de transporte de fruto de la empresa Palmar de Altamira S.A.S. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia*. Recuperado de: <https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/f3bfd0d1-2fb0-48e0-9d74-7c2e0b36de62/content>

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

Apéndices

Apéndice A. Análisis Weibull

Apéndice B. Análisis de Modos y Efectos de falla (FMEA) Flota Volvo B5RH