

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO – CHILE



**“PROPUESTA DE MEJORAMIENTO AL
PLAN DE MANTENIMIENTO DE FLOTA DE
BUSES EN EMPRESA DE TRANSPORTE
INTERURBANO DE PASAJEROS”**

MANUEL ALBERTO RIVERA CHAPARRO

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL MECÁNICO**

Profesor Guía: Dr. Ing. Jaime Núñez Segovia
Profesor Correferente: Ing. Luis Guzmán Bonet

Noviembre 2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título; ☐ Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: Propuesta de mejoramiento al plan de mantenimiento de flota de buses en empresa de transporte interurbano de pasajeros

Nombre del candidato(a): Manuel Alberto Rivera Chaparro

Carrera / Grado: Ingeniero civil mecánico

Campus: Santiago San Joaquín ; **Departamento:** Mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Jaime Núñez Segovia, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

☒ El trabajo **NO contiene información que amerite confidencialidad** y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

☐ 6 meses; ☐ 12 meses; ☐ 2 años; ☐ 3 años; ☐ 5 años; ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 18/11/2025

; Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 18/11/2025

; Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es el hito culmine de un largo camino, que se alargó más de lo que debería por errores propios y por cosas del destino, lleno de momentos de superación, tristezas y alegrías, pero que en conjunto me demostró a mí mismo el nivel de esfuerzo y superación que puedo mostrar ante las dificultades.

Agradezco a todas las personas y amigos que hice durante el proceso formativo en la universidad. Algunos que se me fueron en el camino y a otros que se me adelantaron y hoy ya son grandes profesionales con algo más de experiencia que yo. Agradecer en especial a mis amigos Iara y Daniel por esas tardes de estudio con papitas que tanto nos ayudaron en esos momentos de flaqueza.

También quiero agradecer a los grandes docentes que tuve a lo largo de mi carrera en especial a mi profesor guía don Jaime Nuñez, quien tuvo mucha paciencia conmigo, incluso las veces que desaparecía por momentos, pero aun así siempre tuvo un tiempo para atender mis dudas a lo largo de este trabajo.

Por otro lado, debo agradecer a la empresa Turbus, quienes me abrieron la puerta para mi práctica profesional y una vez terminada, me dieron una oportunidad de ser parte de sus colaboradores aun sin tener mi título profesional, pero ellos vieron algo en mí que quizás ni yo veo. Además, debo dar las gracias por la información proporcionada para el desarrollo de este trabajo.

Finalmente debo agradecer a mis padres por siempre mostrarme el valor del esfuerzo, la superación personal y por toda la paciencia que tuvieron conmigo. A mi hermano Mauricio por siempre tener una palabra de apoyo o una palmadita en la espalda. Y, por último, a mi polola Yanina, quien me dio la fuerza de ese último empujón para finalizar este proceso.

DEDICATORIA

**A mis padres Soledina y Manuel por enseñarme el valor del esfuerzo
Por su amor y apoyo incondicional.**

RESUMEN

El presente trabajo de título establece una propuesta de mejora al programa de mantenimiento de una flota de buses perteneciente al grupo de empresas Grupo de Transporte de Pasajeros (GTP), con el fin de mejorar los principales indicadores de gestión como lo son disponibilidad, pannes en ruta y satisfacción de los clientes de acuerdo a los servicios proporcionados por GTP.

La investigación y recopilación de datos se enfoca principalmente en dos de las empresas pertenecientes al grupo, como lo son Turbus y Cóndor, que son compañías bastante reconocidas en Chile por su trayectoria en el rubro del transporte de pasajeros por carretera. Estas empresas comparten un modelo de gestión de mantenimiento común basado en intervenciones correctivas y preventivas, como también comparten los recursos técnicos y humanos, lo que permite comparar el desempeño y así identifica las mejores oportunidades de mejora dentro las flotas del grupo.

Para el desarrollo de la propuesta se utiliza una estructura de secuencial de etapas. En primer lugar, se realizó un levantamiento de los antecedentes al sector de transporte, el contexto operacional donde se desempeñan ambas empresas como también las características y condiciones del modelo de trabajo de la gerencia de mantenimiento.

A continuación, se realiza un levantamiento de datos en relación con la cantidad y duración de las detenciones en taller además de los indicadores de desempeño del plan de mantenimiento.

A partir de los datos se utiliza la metodología AMFEC (Análisis de Modo de Falla, Efectos y Criticidad) para jerarquizar los modos de falla que generan un mayor impacto dentro de la operación de las empresas del grupo GTP, utilizando los criterios de severidad, ocurrencia y detección. Sobre los sistemas y modos de falla más críticos se proponen acciones preventivas, inspecciones mayores y una estructura de registro de información para mejorar la toma de decisiones a futuro.

Los resultados del plan piloto muestran que las acciones de mantenimiento de la propuesta mejoraron en un 33% en promedio el MTBF de la flota estudiada, además

de una disminución en los ingresos en sistemas críticos como el Aire acondicionado. Además de una disminución en los gastos de reparación de componentes mayores como el Motor.

ABSTRACT

This thesis presents a proposal for improving the maintenance program of a bus fleet belonging to the Grupo de Transporte de Pasajeros (GTP), with the purpose of enhancing key management indicators such as availability, on-route failures, and customer satisfaction in relation to the services provided by the company. The research and data collection focused mainly on two of the group's most representative companies, Turbus and C ndor, both widely recognized in Chile for their long-standing trajectory in the intercity passenger transport sector. These companies share a common maintenance management model based on corrective and preventive interventions, as well as shared technical and human resources, which allows for a comparative analysis of performance and the identification of improvement opportunities across the fleets of the group.

The development of the proposal followed a sequential methodological structure. First, an assessment of the transport sector and the operational context of both companies was carried out, together with a characterization of the maintenance management model currently in use. Subsequently, operational data were collected regarding the frequency and duration of workshop stoppages, as well as the performance indicators of the existing maintenance plan. Based on this information, the Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA) methodology was applied to prioritize the failure modes with the greatest impact on fleet operation, using severity, occurrence, and detection as evaluation criteria. For the most critical systems and failure modes, preventive actions, major inspection routines, and a hierarchical failure-recording structure were proposed to improve future decision-making.

The results of the pilot plan showed that the proposed maintenance actions improved the fleet's Mean Time Between Failures (MTBF) by an average of 33%, while also reducing workshop entries associated with critical systems such as the air-conditioning system and lowering the repair costs of major components such as the engine. These results demonstrate the effectiveness of applying reliability-based maintenance methodologies to optimize performance and operational efficiency in large passenger transport fleets.

GLOSARIO

GTP: Grupo de Transporte de pasajeros

MTT: Ministerio de Transporte

MTBF: Mean Time Between Failures (Tiempo medio entre Fallas)

MTTR: Mean Time to Repair (Tiempo medio de Reparación)

AMFEC: Análisis de modos de falla, efectos y criticidad

RCM: Reliability Centered Maintenance (Mantenimiento basado en confiabilidad)

ISO: International Organization for Standardization

LD: Larga distancia

CD: Corta Distancia

CCD: Centro de control documental

HH: Horas Humanas

NPR: Risk Priority Number (número de prioridad de riesgo)

OT: Orden de trabajo

ANOVA: Analysis of Variance

AB: Administrador de buses

NO-GO: Fallas que no pueden ser diferidas

MP: Mantenimiento Preventivo

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT	v
GLOSARIO	vi
ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xi
INTRODUCCIÓN	xiii
Antecedentes generales de la empresa	xv
Planteamiento del problema	xvi
OBJETIVOS	xx
PLAN DE TRABAJO	xxi
1. Marco Teórico.....	1
1.1 Mantenimiento enfocado en buses	1
1.1.1 Tipos de mantenimiento.....	1
1.1.2 Metodologías de gestión de mantenimiento.....	2
1.1.3 Principales normativas	4
1.2 Herramientas de análisis de desempeño y evaluación de fallas.....	5
1.2.1 Indicadores de desempeño	5
1.2.2 Métodos de Jerarquización de eventos de falla.....	7
2. Diagnóstico del contexto y desempeño de la flota	9
2.1 Modelo de mantenimiento.....	9
2.1.1 Organización del área de mantenimiento.....	9

2.1.2	Departamentalización geográfica de la función del mantenimiento: Red de Talleres.	12
2.2	Planificación y ejecución del Mantenimiento de flota.....	14
2.2.1	Órdenes de trabajo (OT).....	16
2.2.2	Proceso de Mantenimiento Correctivo.....	23
2.2.3	Proceso de Mantenimiento preventivo.....	26
2.3	Resultados de Desempeño de la Gerencia de Mantenimiento	31
2.3.1	Disponibilidad.....	31
2.3.2	Descripción de Pannes para establecer evento de falla en ruta.....	33
2.3.3	Indicador de eventos en ruta que afecten al pasajero.....	33
2.3.4	Selección de flota critica	36
3.	Análisis de ocurrencia, duración y criticidad de fallas e intervenciones	39
3.1	Análisis cuantitativo de mantenimientos preventivos.....	44
3.2	Análisis cuantitativo de mantenimientos correctivos.....	45
3.3	Análisis de modos de falla y jerarquización de efectos	54
4.	Propuestas de mejora al plan de mantenimiento Flota Cóndor Corta Distancia	69
4.1	Incorporación de pautas preventivas y de inspección.....	69
4.2	Evaluación de la política de programación de mantenimientos preventivos	74
4.3	Propuesta de registro jerárquico de fallas	76
5.	Plan piloto de aplicación de propuestas de mejora al plan de mantenimiento-Flota Cóndor corta distancia.....	78
	CONCLUSIONES	85
	BIBLIOGRAFÍA	87
	ANEXO.....	88
	Anexo 1: Tabla de definición de los distintos sistemas y su categorización	

Anexo 2: Tabla de Efectos y Consecuencias por Modo de Falla

Anexo 3: Detalle de cambios de motor flota Mercedes Benz

Anexo 4: Pauta de mantenimiento preventivo climatización

Anexo 5: Pauta de inspección mayor de sistema Motor

Anexo 6: Propuesta de pauta intermedia

Anexo 7: Inciso 7 de pauta de inspección eléctrica

Anexo 8: Registro Jerárquico de fallas

Anexo 9: Propuesta de características genéricas de falla

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Gráfico de reclamos de Turbus (Turbus S.A., 2023).....	xvii
Figura 2. Gráfico de motivos de infracciones del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, año 2023	xix
Figura 3: Plan de Trabajo	xxi
Figura 4 Ejemplificación de gráfico Jack-Knife (Knights, 2004).....	8
Figura 5. Organigrama de Gerencia de Mantenimiento Tur Bus.....	11
Figura 6. Vista de Trabajo de sección Orden de Trabajo, en el Software Máximo.....	18
Figura 7. Vista de la sección Planes, en el Software Máximo	19
Figura 8. Proceso de atención para un mantenimiento correctivo. Fuente: Sub- gerencia de planificación de mantenimiento. Turbus	25
Figura 9. Proceso de mantenimiento preventivo planificado. Fuente: Sub- gerencia de planificación de mantenimiento. Turbus	30
Figura 10. Gráfico de Pareto relación sistema afectado vs horas de indisponibilidad.....	49
Figura 11. Gráfico Jack Knife que relaciona el tiempo medio de reparación y la cantidad de fallas por cada sistema	51
Figura 12. Gráfico de Pareto para modos de falla en relación con el NPR.....	67
Figura 13. Gráfico de frecuencia de cambio de motor de kilómetro por cada 100.000 [km]	70
Figura 14. Cantidad de ingresos antes y después de la aplicación de la pauta	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fiscalizaciones del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, año 2023.....	xviii
Tabla 2. Categorización por marca de flota Turbus y Cóndor.....	16
Tabla 3. Descripción de los estados de las órdenes de trabajo.....	17
Tabla 4. Códigos en el sistema de trabajo según sistema de buses, Turbus.	20
Tabla 5. Categorización de fallas de las OT. Fuente: Protocolo de sistema y componentes NO-GO. Turbus.	21
Tabla 6: Descripción de pautas de mantenimiento preventivo para chasis Mercedes Benz.....	27
Tabla 7: Descripción de pautas de mantenimiento preventivo para chasis Scania	28
Tabla 8: Descripción de pautas de mantenimiento preventivo para chasis Volvo.....	29
Tabla 9: Disponibilidad de las empresas Turbus y Cóndor.	32
Tabla 10. Tipos de Pannes. Fuente: Instructivo de clasificación de pannes. Turbus.....	33
Tabla 11. Eventos técnicos en Ruta Turbus.....	35
Tabla 12. Eventos técnicos en Ruta Cóndor.	36
Tabla 13: Cantidad y Duración promedio de mantenimientos preventivos.....	44
Tabla 14. Cantidad de OT por sistema.....	46
Tabla 15. Duración promedio atención por sistema afectado.....	47
Tabla 16. Tiempo total de reparación por cada sistema y su respectivo porcentaje total y acumulado.	48
Tabla 17. Número de fallas por sistema y su respectivo MTTR.....	50
Tabla 18. Funcionalidad y fallas funcionales de sistemas seleccionados.	56
Tabla 19. Modos de falla de cada falla funcional.	57
Tabla 20. Clasificación de factores de Severidad de falla. Fuente: Elaboración propia.....	62
Tabla 21. Clasificación de factores de Ocurrencia. Fuente: Elaboración propia. .	62
Tabla 22. Clasificación de factores de Detección de falla. Fuente: Elaboración propia.....	62

Tabla 23 Índice NPR para cada modo de falla.....	63
Tabla 24. Estadísticos descriptivos de muestra de kilómetros de cambio de motor para flota Cóndor corta distancia.	71
Tabla 25. Datos empíricos de cambios de motor cada 100.00 km.....	72
Tabla 26: Costo Provisionado de reparación según categorización de estado de motor.	81
Tabla 27. Análisis de resultados de ejecución de pauta Intermedia.....	83

INTRODUCCIÓN

Una de las grandes necesidades de las personas a lo largo de los años es el poder trasladarse de un punto a otro ya sea por trabajo, vacaciones o simplemente visitar algún ser querido (Thomas W. Sanchez & Xinyue Ye, 2023). Es por ello, que los medios de transporte son fundamentales para poder realizar esta actividad.

Para viajar existen varios medios de transporte como lo son el automóvil, barcos, aviones, trenes o buses. El transporte interurbano de pasajeros mediante buses es uno de los preferidos por parte de los chilenos, ya que es un sector clave para la conectividad del país, dado que es un territorio extenso y tiene una variada concentración de población a lo largo de las regiones del país (SERNAC, 2015). Según las cifras del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MTT) indica que en Chile se transportan 70 millones de pasajeros al año, en un total de 7.400 salidas al día, lo que se traduce en 80.000 km recorridos de forma diaria por el total de buses de las 197 empresas registradas por la entidad estatal, lo que refuerza la importancia de este medio de transporte en Chile (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile, 2019). Por este motivo es que se debe contar con una flota buses a nivel general que proporcione seguridad, confiabilidad y eficiencia a la hora de entregar el servicio de transporte.

Al igual que cualquier industria, las empresas buscan ser competitivas, para ello deben conocer el mercado en el que se desarrollan y establecer cuáles son los puntos clave de mejora para apuntar a ser el líder en su área. Por lo que, las empresas buscan formas de disminuir costos, disminuir los tiempos de producción y/o mejorar la calidad de su productos o servicios que ofrece. Para el caso de una empresa de transporte interurbano que obtiene ganancias mediante la cantidad de pasajes que pueda vender, que es directamente proporcional al número de máquinas que tiene disponible para brindar el servicio de transporte (Gelashvili et al., 2023).

Para asegurar este punto es importante gestionar de forma óptima el plan de mantenimiento para extender la vida útil de los diferentes activos y mantenerlos en las mejores condiciones posibles para que el cliente final reciba un servicio de calidad. Es importante indicar que las estrategias de mantenimiento juegan un papel fundamental en la competitividad de una empresa en varios aspectos clave, que

afectan su rendimiento y posición en el mercado. Es por ello que la estrategia de mantenimiento debe aportar al cumplimiento de los objetivos de la empresa en las siguientes dimensiones del desempeño de una compañía de buses interurbano:

- Seguridad del pasajero: el mantenimiento regular y adecuado de los buses es fundamental para garantizar la seguridad de los pasajeros y del personal. Un mantenimiento deficiente puede llevar a fallas mecánicas inesperadas que podrían resultar en accidentes graves. (Roger, 2018)
- Disponibilidad operativa: un programa de mantenimiento bien planificado y ejecutado puede ayudar a minimizar el tiempo de inactividad de los buses debido a reparaciones no programadas. Esto asegura que las maquinas estén disponibles para cumplir con los horarios de servicio y mantener la satisfacción del cliente (Schulze Spüntrup et al., 2022).
- Costos operativos: un mantenimiento preventivo adecuado puede ayudar a reducir los costos operativos a largo plazo al prevenir averías costosas y prolongar la vida útil de los vehículos. (Amjadian et al., 2025)
- Cumplimiento normativo: las empresas de buses están sujetas a regulaciones estrictas en cuanto al mantenimiento y seguridad de sus vehículos. Cumplir con estas normativas no solo es obligatorio legalmente, sino que también protege la reputación y la credibilidad de la empresa (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile, 1992).

Una de las empresas líderes dentro de la industria del transporte interurbano es el Grupo de Transporte de Pasajeros (GTP) que engloba las empresas Turbus, Cóndor, Bio-Bio, JAC, Viggo y Tas Choapa. El presente trabajo se enfoca en las dos empresas de GTP con mayor impacto dentro del mercado como lo son Turbus y Cóndor, donde se llevará a cabo la propuesta de mejora al plan de mantenimiento de sus flotas.

Antecedentes generales de la empresa

Turbus es una empresa que posee más de 70 años de experiencia, cuenta con cerca de 150 destinos entre las ciudades de Arica a Puerto Montt en conjunto con la empresa Cóndor. Entre las 2 compañías cuentan con cerca de 2000 servicios diarios lo que permite trasladar un total de 16 millones de pasajeros al año. La flota de buses cuenta con 532 buses, 343 pertenecientes a Turbus y 189 a la flota Cóndor. Entre ambas organizaciones tienen una nómina de personal de alrededor de 7.000 personas, entre conductores, cajeros, asistentes, mecánicos y administrativos (Turbus S.A., n.d.).

Los lineamientos principales de Turbus se encuentran en su plan estratégico que se pueden resumir en cinco grandes valores corporativos que se llevan tanto en las relaciones internas como en el servicio final que se quiere entregar a los pasajeros (Turbus S.A., 2018). El primer valor y gran concepto que guía el funcionamiento de Turbus es la integridad dado que es la base de la cultura organizacional, ya que promueve un comportamiento ético en las relaciones laborales y con el cliente final.

El segundo valor, la prevención y seguridad, refleja que todos los trabajadores están comprometidos en entregar diariamente un servicio seguro, eficiente y de alta calidad.

El tercer valor corporativo es la confianza, ya que es la que permite la construcción de relaciones sólidas y duraderas ya sea con clientes, colaboradores, proveedores y aliados estratégicos. Esa confianza igualmente está relacionada al cuarto valor corporativo como lo es la experiencia del usuario donde la compañía se esfuerza por entregar un servicio cómodo y alineado a la expectativa del cliente. Además de brindar una protección y un excelente nivel de servicio, la empresa busca minimizar los efectos de su operación lo cual va de la mano con la conciencia ambiental que promueve el grupo GTP.

Estos valores corporativos, orientan la razón de ser y la visión de GPT y en particular de la empresa Turbus, como se presenta a continuación:

“La misión de Turbus es proporcionar servicios de transporte terrestre seguros, eficientes y de calidad, satisfaciendo las necesidades de movilidad de sus clientes y

contribuyendo al desarrollo socioeconómico del país. La empresa se compromete a ofrecer una experiencia de viaje cómoda y confiable, basada en altos estándares de seguridad, puntualidad y atención al cliente.” (Turbus S.A., n.d.)

“La visión de Turbus es ser reconocida como la empresa líder en el transporte terrestre de pasajeros en Chile, destacando por su excelencia operativa, innovación continua y compromiso con la sostenibilidad. La empresa aspira a seguir creciendo y diversificando sus servicios, aprovechando las oportunidades de expansión y manteniendo su posición como referente en el mercado nacional.” (Turbus S.A., n.d.)

Planteamiento del problema

En la actualidad Turbus, tiene como competencia cerca de 130 empresas de buses que ofrecen el servicio de traslado de pasajeros a diferentes destinos a lo largo del país. Además, tiene como competencia a las empresas de transporte aéreo y terrestre, en particular a la creciente oferta de viajes a bajo costo, que ofrecen las diferentes aerolíneas haciendo que exista una competencia mayor dado que se diferencian al ofrecer tarifas competitivas y menores tiempos de viaje. Por otra parte, las empresas de ferrocarriles han ampliado la oferta de rutas y destinos, lo que aumenta aún más la competencia. Es en este contexto que GTP debe aumentar la frecuencia de viajes para mantener la participación dentro del mercado y así poder atraer más clientes, esto es posible de lograr gracias a una mayor disponibilidad de buses, una estrategia de mantenimiento más eficaz y una relación fluida con el área de abastecimiento.

Revisando la disponibilidad que engloba a ambas empresas del holding como lo son Turbus y Cóndor, en el año 2023 asciende a 84,5% y hasta junio de 2024 a un 85%, en el presente trabajo se analizan los factores que implican que los buses no estén disponibles para realizar un servicio (Gerencia de Mantenimiento- GTP, 2024). Uno de los factores que produce indisponibilidad son las intervenciones correctivas que se deben realizar a los buses, que se pueden dar de dos formas diferentes. La primera es por alguna contingencia durante el servicio, lo que implicaría una asistencia en ruta con el objetivo de continuar el viaje y/o indicar que se debe asistir con un bus de emergencia para continuar con el traslado de los

pasajeros. La segunda es cuando al llegar a destino el conductor genera un reporte de las alertas que detecte durante el servicio como por ejemplo alza de temperatura, sonidos extraños o asientos en mal estado.

Dentro de los pilares de Turbus, está la seguridad y el confort hacia sus clientes, para poder estar dentro de lo establecido por la ley. En beneficio de poder mejorar los servicios se realizan encuestas de satisfacción después de la llegada a destino, así mismo los pasajeros pueden realizar reclamos en caso de algún inconveniente durante el viaje. En la Figura 1. Gráfico de reclamos de Turbus (**Turbus S.A., 2023**) se muestra la cantidad total de reclamos reportados el año 2023 para las empresas Turbus y Cóndor, agrupados según la causa del reclamo.

De un total de 2.897 reclamos se puede ver que la mayoría son por pannes o mantención y alrededor del 70% son asociadas a un problema de mantenimiento, que dentro de las opciones de reclamos están asociados a los puntos panne/mantenimiento, problemas de aire acondicionado o ventilación, asiento en mal estado, filtraciones, problemas cinturón de seguridad y problemas USB. Si bien cerca del 83% de los reclamos son a Turbus, para ambas empresas el orden del ítem de reclamo es el mismo (Turbus S.A., 2023).

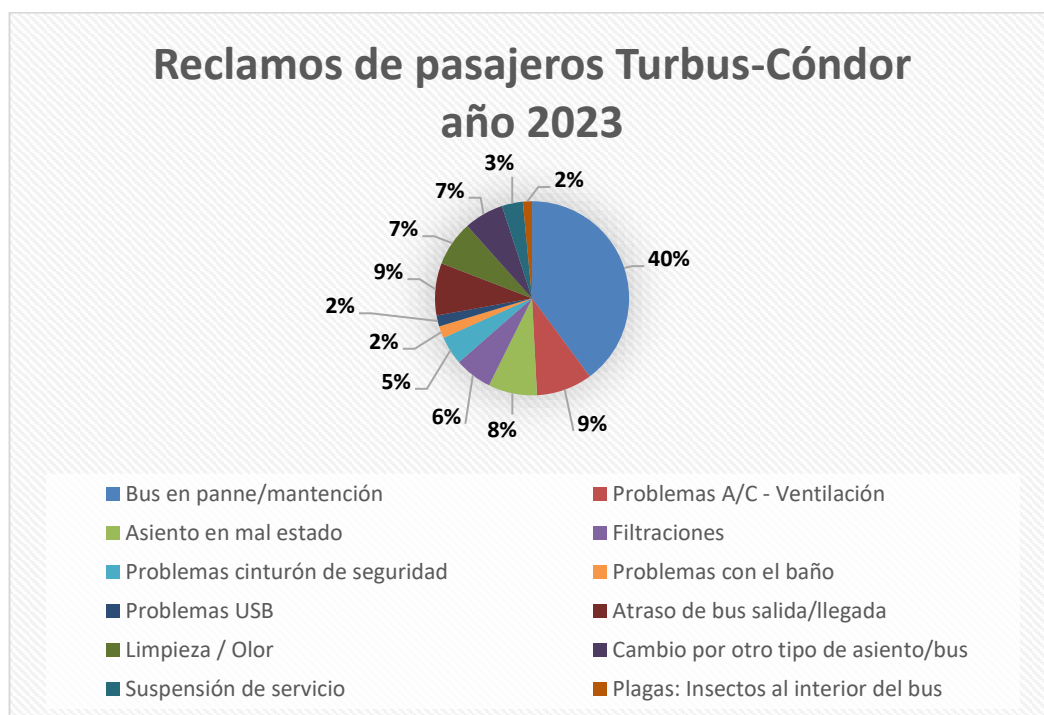


Figura 1. Gráfico de reclamos de Turbus (Turbus S.A., 2023)

Bajo el concepto de seguridad vial, la empresa revisa las fiscalizaciones del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MTT) que realiza de forma aleatoria, estas pueden ser en ruta o en los terminales de buses. El registro de las fiscalizaciones del año 2023 dirigidas a las empresas grandes y extragrandes se muestran en la Tabla 1 (Ministerio de Transportes de Chile, 2023), es importante destacar que de acuerdo a la categorización establecida por el MTT en relación con el tamaño de las flotas Cónдор es una empresa grande y Turbus una empresa extragrande.

Tabla 1. Fiscalizaciones del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, año 2023.

Nombre empresa	% Infracciones	Controles	Infracciones	Tamaño Flota	Buses con cinturón	Promedio Antigüedad
Buses Nilahue	30,4	352	107	52	48	10,7
Jet Sur	27,2	852	232	57	57	5,5
Cónдор	16,8	3061	513	160	159	10,3
Pullman Bus	16,6	7147	1186	564	564	6,4
Transantin	13,9	1552	215	119	118	3,1
Ciktur	12,8	406	52	59	59	7,8
Cruz Del Sur	10,8	343	37	56	49	7
Ahumada	10,1	801	81	56	51	9,9
Pluss Chile	9,6	1280	123	97	97	4,7
Cikbus Elite	9	542	49	56	56	3,3
Linatal	8,1	1073	87	54	54	6,2
Tur Bus	7,6	8008	610	496	492	7,3
Pullman Tur	7,2	961	69	53	53	3,8
Buses Andimar	7	2298	161	109	109	5,5
Buses Etm	6,4	1490	95	97	97	0,9
Eme Bus	3,2	2599	82	193	193	5,1

Para el total de controles realizados a buses de la flota Cónдор en un 16,8% se encontró algún sistema fuera de norma por lo que se emitió una infracción, esto a diferencia de la flota Turbus que del total de controles realizados el índice de

infracciones solo llega a un 7,6% del total. En relación con las infracciones el MTT indica el ranking con las infracciones más comunes que se indican en la Figura . Este gráfico indica que el 83% de las infracciones son por elementos asociados a los programas de mantenimiento de las empresas de transporte interurbano, bajo los ítems de parabrisas/ ventanas, condiciones deficientes en los sistemas de seguridad del bus. Además, en el ítem que lleva por nombre otras que afecten las condiciones técnicas y de seguridad, agrupa todas las revisiones a sistemas del chasis como motor u otro componente mayor que pueda poner en riesgo la integridad de los viajes.

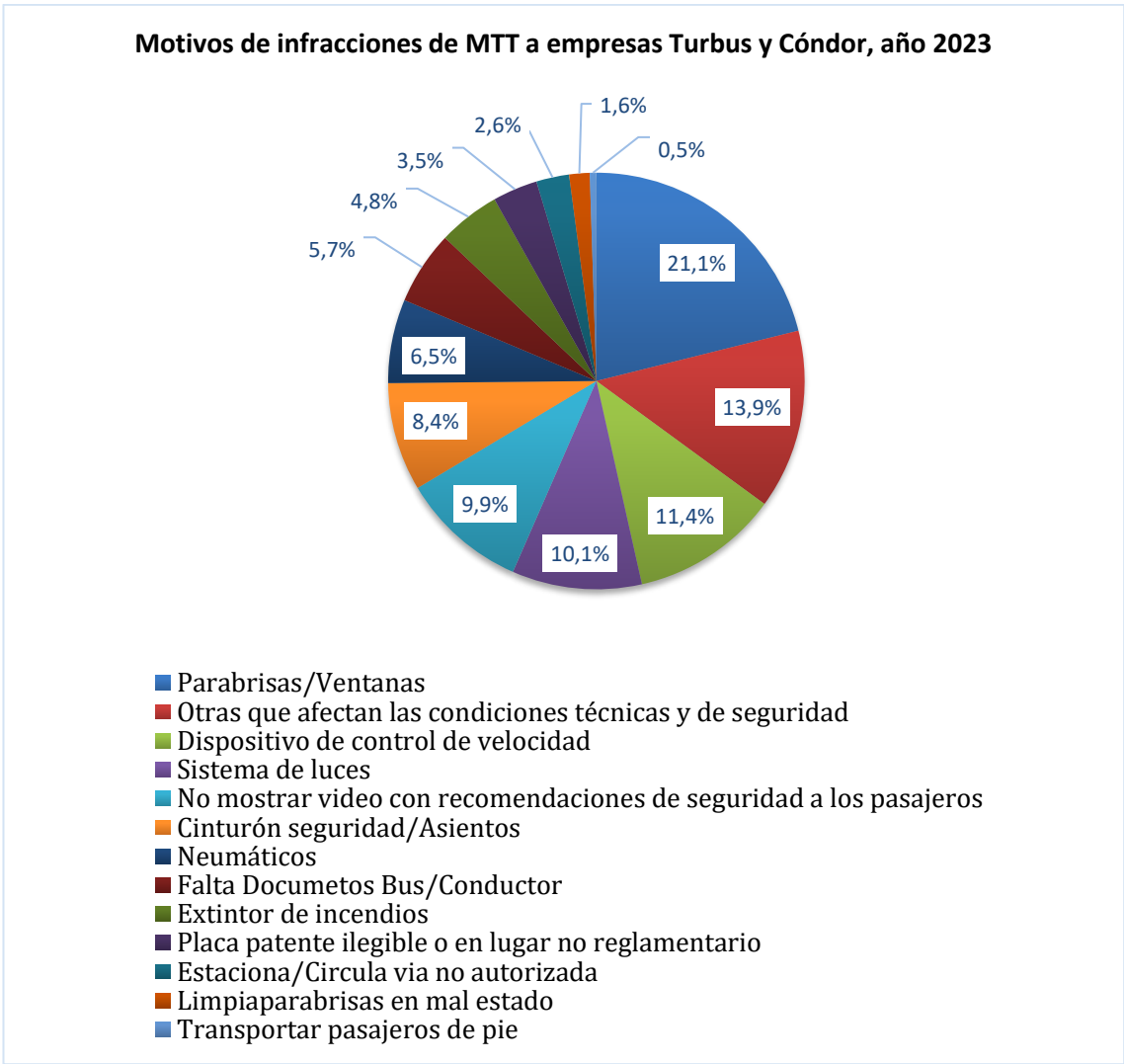


Figura 2. Gráfico de motivos de infracciones del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, año 2023

OBJETIVOS

El objetivo general del trabajo es proponer un Plan de Mantenimiento de la Flota de Buses en Empresa Transporte Interurbano de Pasajeros que considere el alineamiento a la estrategia de negocio y las acciones de gestión de mantenimiento orientadas a aumentar la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad de los activos.

Para lograr el propósito del trabajo se consideran los siguientes objetivos específicos:

- Realizar un diagnóstico del contexto operacional de la gestión del mantenimiento de la flota, que incluya los aspectos estratégicos, de planificación, de organización, de ejecución y los resultados en los indicadores claves de la gestión de desempeño.
- Analizar la ocurrencia y duración de intervenciones asociados a eventos de fallas y preventivos en los activos de la flota, utilizando la data disponible con la finalidad de jerarquizar sus efectos.
- Analizar modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) de los activos de la flota para orientar las acciones del mantenimiento.
- Elaborar la propuesta de mejora del mantenimiento que considere acciones para la superación de los aspectos deficitarios encontrados en los análisis realizados y la evaluación de aspectos técnicos y económicos para orientar la aplicación de la acción de mejora.
- Aplicar un subconjunto de acciones de la propuesta factible de realizar en el plazo del trabajo, para validar la efectividad del plan de mejoras.

PLAN DE TRABAJO

Para llevar a cabo la investigación orientada a analizar, diagnosticar y proponer mejoras al plan de mantenimiento de GTP es necesario seguir una serie de pasos de forma estructurada como muestra la Figura 3, lo que permitirá la obtención de resultados confiables. El estudio se enfocará en las empresas Turbus y Cóndor, lo que permite recopilar, analizar y contrastar información relevante relacionada a sus operaciones y plan de mantenimiento.

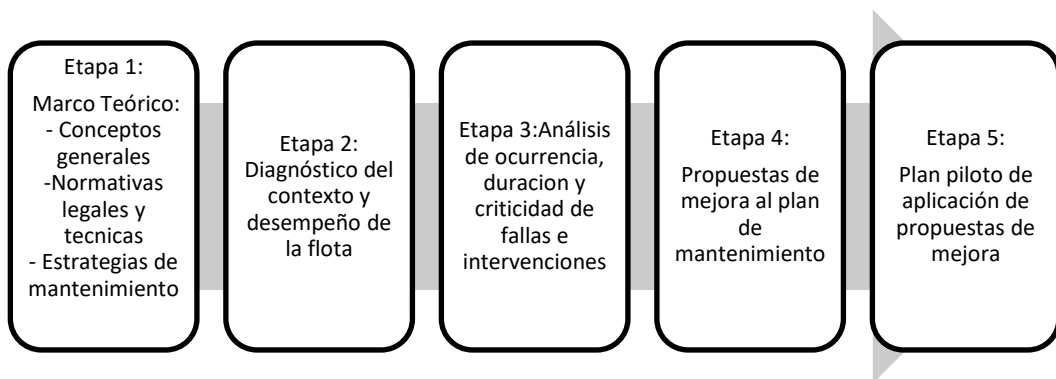


Figura 3: Plan de Trabajo

Etapa 1-Marco Teórico: la primera etapa muestra una revisión bibliográfica para establecer los lineamientos teóricos atinentes al desarrollo del presente trabajo

Etapa 2- Diagnóstico del contexto y desempeño de la flota: en esta etapa se realiza el levantamiento de información en detalle tanto de la estructura organizacional e indicadores para determinar una flota objetivo.

Etapa 3-Análisis de ocurrencia, duración y criticidad de fallas e intervenciones: en la tercera etapa se categorizan los puntos críticos detectados en la etapa anterior y se aplica la metodología AMFEC que describe en detalle los modos de falla, sus efectos y su respectiva criticidad.

Etapa 4-Propuestas de mejora al plan de mantenimiento: la cuarta etapa consiste en proponer tareas y procedimientos a modo de propuesta para dar solución a las problemáticas con un nivel de criticidad mayor desde el punto anterior.

Etapa 6-Plan Piloto de aplicación de propuestas de mejora: finalmente se aplica un subconjunto de las propuestas a modo de plan piloto para establecer efectos y consecuencias en el comportamiento de la flota seleccionada.

1. Marco Teórico

En este capítulo se establece el Marco Teórico que constituye la base conceptual del presente trabajo, al mostrar los conocimientos previamente desarrollados en la literatura. Por medio de la búsqueda de normas técnicas, investigaciones, libros y estudios.

En este apartado se presentan los principios del mantenimiento de buses, como lo son los tipos de intervenciones de mantenimiento, las estrategias de mantenimiento, las normas técnicas y jurídicas que establecen los lineamientos para planes de mantenimiento.

Además, se incluyen las respectivas herramientas de análisis de desempeño de la gestión de mantenimiento, en conjunto con las herramientas estadísticas para el estudio de comportamiento de fallas.

1.1 Mantenimiento enfocado en buses

El mantenimiento puede definirse como el conjunto de procedimientos y actividades planificadas que tienen como finalidad preservar o restablecer un artículo a un estado que le permita cumplir con eficacia y eficiencia su función requerida. Implica una combinación de prácticas técnicas y de gestión diseñadas para conservar un elemento o devolverlo a un estado funcional óptimo (Soesatijono & Darsin, 2021). Sin embargo, el mantenimiento no es igual para cada una de las máquinas que existen, por lo que sigue será enfocado en vehículos (buses).

1.1.1 Tipos de mantenimiento

Según Pistarelli (2010) establece que los tipos de mantenimiento se diferencian en los tipos de acciones, aquellas que se realizan con acciones reactivas y proactivas. El primero (acciones reactivas) contempla aquellos tipos de mantenimiento que llevan intervenciones de emergencias o restaurativa que pueden llevar a modificaciones o mejora en el diseño, que en general no son programadas. Se conocen como:

~ Mantenimiento Correctivo. Reparación de fallas funcionales cuando ya se han producido. Tiene la ventaja de requerir poca planificación, pero incrementa riesgos, costos e imprevistos.

~ Mantenimiento Restaurativo. Recupera la condición óptima de un componente antes de que ocurra la falla total. Se programa con anticipación y también se denomina mantenimiento de restauración programada.

~ Mantenimiento Mejorativo. Intervención programada que introduce mejoras en equipos o procesos. Puede ser físico (modificaciones en el activo) u operativo (mejora de procedimientos). También llamado mantenimiento curativo.

En caso de las acciones proactivas, son aquellos mantenimientos que se programan, en general son predictivas o preventivas, las cuales se suelen basar en números relacionados con el uso de estos. Se conocen como:

~ Mantenimiento Preventivo. Consiste en inspecciones y sustituciones periódicas para reducir la probabilidad de fallas no programadas. Busca anticiparse mediante rutinas establecidas.

~ Mantenimiento Predictivo. Se basa en técnicas de diagnóstico (vibraciones, termografía, ultrasonido, etc.) para detectar fallas incipientes y programar la intervención en el momento justo.

~ Mantenimiento Proactivo. A diferencia del predictivo, busca identificar y eliminar la causa raíz de las fallas antes de que se manifiesten. Utiliza análisis tribológicos, monitoreo de lubricantes, alineación, entre otros.

~ Mantenimiento Detectivo. Se orienta a descubrir fallas ocultas en dispositivos redundantes o de protección, aumentando la confiabilidad del sistema. Se considera complementario al preventivo.

~ Mantenimiento Previsivo. Usa herramientas estadísticas y de simulación para proyectar posibles fallas desde la etapa de diseño y optimizar tareas de mantenimiento futuro.

~ Mantenimiento Imperativo o Legal. Se refiere a intervenciones exigidas por normativas legales o reglamentarias (ejemplo: equipos a presión, sistemas contra incendios, transporte de energía o químicos). Su cumplimiento es obligatorio para garantizar seguridad y medio ambiente.

1.1.2 Metodologías de gestión de mantenimiento

A partir de los diversos tipos de mantenimiento existen diversas metodologías de gestión de mantenimiento cuyo propósito es optimizar la selección y aplicación de

los tipos de mantenimiento en función de la criticidad de los equipos y de las metas organizacionales (Mora, 2009b). Entre los más utilizados son:

~ Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM): constituye una metodología sistemática cuyo objetivo principal es asegurar que los equipos continúen cumpliendo sus funciones esenciales en las condiciones operativas requeridas. Para lograrlo, se analizan las funciones de cada activo, los modos en que puede fallar y las consecuencias de dichas fallas. Con base en esta información, se selecciona la estrategia de mantenimiento más apropiada, que puede incluir acciones preventivas, predictivas, correctivas planificadas o rediseños. El RCM se caracteriza por priorizar los recursos en función de la criticidad de los equipos, garantizando un equilibrio entre confiabilidad y costos, lo que lo convierte en uno de los enfoques más difundidos en la gestión moderna del mantenimiento (Mora, 2009b).

~ Mantenimiento Productivo Total (TPM): como una filosofía de origen japonés que se fundamenta en la participación de toda la organización en las tareas de mantenimiento. A diferencia de otros enfoques, el TPM no recae únicamente en el área de mantenimiento, sino que integra a los operarios en el cuidado cotidiano de los equipos, fomentando la corresponsabilidad. Su propósito central es alcanzar cero fallas, cero defectos y cero accidentes, promoviendo la mejora continua y la eliminación de pérdidas en los procesos productivos. Este enfoque no solo tiene una dimensión técnica, sino también cultural y organizacional, ya que busca generar un cambio en la forma en que se concibe la relación entre producción y mantenimiento (Mora, 2009b).

~ Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad (AMFEC): es una metodología utilizada para identificar problemas potenciales (errores, defectos, fallas), sus causas y los efectos en un sistema o proceso, con la finalidad de priorizarlos, para facilitar la toma de decisiones relacionadas con la asignación de recursos destinados a la prevención de esos problemas y/o a la mitigación de sus consecuencias (Mora, 2009a). El AMFEC se utiliza en la industria para eliminar defectos en procesos de producción y para desarrollar planes de mantenimiento en equipos.

~ El AMFEC es una herramienta para mejorar la confiabilidad del producto, y se puede describir de manera general como un método para identificar la severidad de los efectos potenciales de falla y para estimar la probabilidad (Teherán Suárez, 2021).

1.1.3 Principales normativas

En Chile existen normas que regulan el transporte de pasajeros y que a su vez son afectan a los buses. Existen regulaciones específicas relacionadas con el transporte público (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile, 2002, 2004). Esto incluye requisitos para obtener licencias de operación y cumplir con estándares de calidad de servicio para los pasajeros. Las cuales son:

a) Normativa de Seguridad Vehicular: Debes cumplir con las regulaciones de seguridad vehicular que incluyen inspecciones técnicas periódicas (ITV) y estándares de seguridad para vehículos de transporte de pasajeros.

b) Normativas de Emisiones: Cumplir con las regulaciones de emisiones de gases contaminantes es fundamental para operar una flota de buses en Chile. Esto puede incluir estándares euro para vehículos diésel, por ejemplo.

c) Normativa Laboral: Las regulaciones laborales chilenas aplican a los conductores y personal de mantenimiento. Esto incluye normativas relacionadas con las horas de trabajo, descanso y condiciones laborales.

d) Normativas de Seguridad y Confort para Pasajeros: Chile tiene regulaciones relacionadas con la seguridad y el confort de los pasajeros, como requisitos de accesibilidad para personas con discapacidades y normas para el transporte seguro de pasajeros.

e) Normativas de Carga y Peso: Las regulaciones de carga y peso son importantes para garantizar la seguridad en carretera y deben ser cumplidas.

f) Normativas de Seguro: Cumplir con los requisitos de seguro, incluyendo el seguro de responsabilidad civil, es fundamental.

g) Normativas Ambientales Locales: Dependiendo de la región de Chile en la que operes, es posible que existan regulaciones locales adicionales relacionadas con la contaminación ambiental y el uso de energía.

En cuanto normativas y estándares importantes que son relevantes en la gestión de activos y mantenimiento, se consideran las siguientes:

1. SAE JA1011 - Evaluación de Riesgo y Prácticas de Mantenimiento Proactivo: la Society of Automotive Engineers (SAE) se centra en la gestión proactiva del mantenimiento y la identificación de riesgos en equipos industriales. Es útil para evaluar y mejorar las estrategias de mantenimiento (SAE International, 2016).

2. SAE JA1012 - Evaluación de Riesgo y Prácticas de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM): esta normativa complementa la SAE JA1011 y se enfoca en el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM). Ayuda a determinar la estrategia de mantenimiento óptima basada en el rendimiento, la importancia y el riesgo de los equipos (SAE International, 2016),

3. ISO 55000 - Gestión de Activos: la serie de normas ISO 55000 proporciona una guía integral para la gestión de activos, incluidos los vehículos de una flota. Ayuda a las organizaciones a desarrollar políticas y estrategias de gestión de activos, lo que incluye la gestión de flotas y planes de mantenimiento (International Organization for Standardization, 2014).

4. ISO 14224 - Análisis de Datos de Fiabilidad y Mantenimiento: esta norma se enfoca en la recopilación y análisis de datos de fiabilidad y mantenimiento para mejorar la toma de decisiones en materia de mantenimiento preventivo y predictivo (International Organization for Standardization, 2016).

1.2 Herramientas de análisis de desempeño y evaluación de fallas

Para el análisis de fallas y la confiabilidad de sistemas, existen muchas herramientas estadísticas y metodológicas que permiten entender el comportamiento de los componentes, los modos de falla más críticos y para evaluar el desempeño en base a indicadores. A continuación, se describen las principales herramientas.

1.2.1 Indicadores de desempeño

Dentro de la gestión del mantenimiento, los indicadores de desempeño juegan un papel fundamental para evaluar la confiabilidad y la mantenibilidad de los activos

físicos (Mora, 2009a). Entre ellos destacan el MTBF (Mean Time Between Failures), se entiende como el tiempo medio entre fallas de un sistema, y el MTTR (Mean Time To Repair), definido como el tiempo medio necesario para restaurar un activo a su condición operativa tras una avería. Ambos parámetros, de carácter estadístico, permiten calcular la disponibilidad operativa de los equipos y constituyen la base para tomar decisiones sobre estrategias de mantenimiento.

La SAE JA1011 establece criterios para evaluar la validez de las prácticas de mantenimiento proactivo, destacando la importancia de reducir los tiempos de reparación (MTTR) y extender los intervalos entre fallas (MTBF). Complementariamente, la SAE JA1012, centrada en el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), incorpora estos indicadores como parte del análisis de criticidad, al utilizarlos para priorizar funciones críticas y seleccionar la estrategia de intervención más adecuada (SAE International, 2016).

De igual manera, la serie ISO 55000 en gestión de activos considera al MTBF y al MTTR como indicadores clave de desempeño (KPI), pues permiten integrar la confiabilidad y mantenibilidad al ciclo de vida de los activos, vinculándolos directamente con la productividad, la seguridad y el costo total de propiedad (International Organization for Standardization, 2014). En línea con lo anterior, la ISO 14224 define los criterios para la recolección, análisis y reporte de datos de mantenimiento y fiabilidad, estandarizando el cálculo de estos indicadores con el fin de garantizar su comparabilidad entre organizaciones y sectores industriales (International Organization for Standardization, 2016).

Se puede resumir el MTBF y el MTTR se constituyen en indicadores universales de la ingeniería de mantenimiento, reconocidos en normas internacionales y aplicables en regulaciones nacionales, que permiten evaluar de forma objetiva la eficacia de las estrategias implementadas y sustentar las decisiones orientadas a la confiabilidad y disponibilidad de los activos.

El MTTR es usado para medir qué tan rápido se puede recuperar un activo tras una falla. El MTTR se obtiene mediante:

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total de reparación}}{\textit{Número de reparaciones realizadas}}$$

Por su parte el MTBF mide la confiabilidad de un activo o sistema reparable. Este se obtiene de la siguiente manera:

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

1.2.2 Métodos de Jerarquización de eventos de falla

- **Análisis de Pareto**

El análisis de Pareto es una herramienta estadística que permite identificar las causas más significativas de una problemática o bien las áreas de mayor impacto dentro de algún sistema. Se basa en el principio formulado por el economista italiano Vilfredo Pareto, quien observó que aproximadamente el 80% de los efectos provienen del 20% de las causas. En el contexto de la ingeniería de mantenimiento, sirve para jerarquizar las causas de fallas de un equipo o sistema, con el fin de ordenarlas de mayor a menor según su frecuencia o impacto, y así generar una curva acumulada que indique el porcentaje del total, revelando los sistemas que provocan el 80 % de los efectos (Juran & Godfrey, 1999).

- **Análisis Jack-Knife**

El análisis mediante el gráfico Jack-Knife, basado en métodos de dispersión logarítmica, permite identificar y clasificar los sistemas o componentes que generan los mayores impactos en la operación de un activo. Este método se fundamenta en la representación gráfica del tiempo fuera de servicio y de la frecuencia de fallas correspondiente a cada sistema. El resultado es un gráfico dividido en cuatro cuadrantes, delimitados por dos líneas de referencia: el límite MTTR, que relaciona el tiempo total de indisponibilidad con el número total de fallas, y el límite n, que vincula el número total de fallas con el número total de componentes o códigos de falla. De este modo, al graficar los valores de tiempo de reparación y frecuencia de fallas para cada sistema, estos quedan distribuidos dentro de alguno de los cuatro cuadrantes, como se muestra en la Figura 4, lo que permite identificar de manera visual cuáles elementos tienen mayor influencia en la disponibilidad del activo. (Knights, 2004).

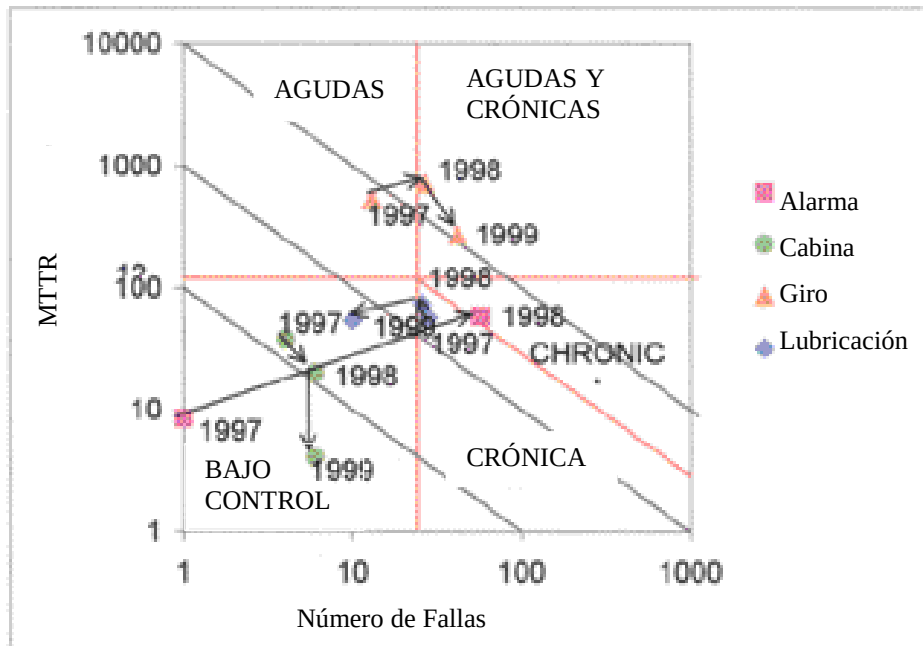


Figura 4 Ejemplificación de gráfico Jack-Knife (Knights, 2004)

Los cuadrantes se describen a continuación:

- ~ Cuadrante superior izquierdo: corresponde a las fallas agudas, ya que ocurren poco pero su tiempo de reparación es alto
- ~ Cuadrante inferior izquierdo: indica la ocurrencia de fallas leves o normal, ya que ocurren poco y su tiempo de reparación es menor
- ~ Cuadrante superior derecho: muestra las fallas críticas (agudas y crónicas) y por eso es el cuadrante más preocupante, ya que indica que los sistemas que se encuentran en este sector tienen un alto tiempo de reparación y una frecuencia de falla
- ~ Cuadrante inferior derecho: son las fallas crónicas, ya que tienen una alta frecuencia de falla, pero un bajo tiempo de reparación

2. Diagnóstico del contexto y desempeño de la flota

En este capítulo se presenta el diagnóstico del contexto operacional del mantenimiento de flota, es decir, el modelo de mantenimiento, la estrategia y el marco organizacional de la Gerencia de Mantenimiento de las empresas Turbus y Cóndor, para así entender quiénes son los participantes dentro de la gestión del mantenimiento y cuáles son sus objetivos. Además muestra los tipos de intervención realizadas en la flota y su respectiva planificación.

Finalmente, se presentan los indicadores de desempeño del plan de mantenimiento como lo son la disponibilidad y la cantidad de eventos en ruta que afectan a pasajeros, con el objetivo de establecer que sub-flota tiene las mayores deficiencias y en consecuencia presenta una mayor oportunidad de mejora al plan de mantenimiento actual.

2.1 Modelo de mantenimiento

Para comprender cómo se lleva a cabo la estrategia de mantenimiento de la empresa, es necesario conocer la misión de la Gerencia de Mantenimiento, a todos los participantes involucrados en la gestión y ejecución de las tareas de mantenimiento dentro de la flota de buses de la empresa Turbus. Esto incluye las personas, locaciones y tecnologías con las que cuenta Turbus y Cóndor. Además, es necesario conocer la estructura organizacional general de la empresa, ya que influye directamente en la planificación, coordinación y control de las actividades de mantenimiento.

2.1.1 Organización del área de mantenimiento

La empresa Turbus para organizar de forma óptima su operación, divide la empresa en 3 grandes áreas de negocio, que son:

~ Gerencia Comercial: encargada de analizar la demanda de servicios, el estudio de nuevas rutas con fin de abarcar la mayor cantidad de clientes posible. Además, de llevar a cabo la venta y cuadratura de servicio en las diferentes terminales a lo largo del país.

~ Gerencia de Operaciones: encargada de cuadrar los buses de acuerdo con la gama de servicios ofrecidos desde el área comercial. Además, está encargada de los temas atinentes a las tripulaciones de toda flota en relación con capacitaciones, descansos legales, remuneraciones y nuevos proyectos.

~ Gerencia de Mantenimiento: encargada de mantener la mayor cantidad de buses disponibles y bajo los mayores estándares posibles para así atender la demanda generada desde las otras áreas del negocio. Hay que destacar el área de mantenimiento posee clientes internos (Gerencia de operaciones), como lo son los conductores quienes informan y realizan los reportes para que los buses sean atendidos ante algún reporte de falla.

Si bien la misión no está definida por sí sola para la Gerencia de Mantenimiento, es importante destacar que dentro de la organización del mantenimiento se rigen bajo la misión general de Turbus-Cóndor que hace referencia a proporcionar viajes seguros, eficientes y de calidad.

En cuanto a la distribución interna de la Gerencia de Mantenimiento, la Figura 5 describe la estructura organizacional adoptada para llevar a cabo la estrategia de mantenimiento. Es importante destacar que cada subgerencia tiene un jefe de mantenimiento asignado a cada una de las subáreas a cargo.

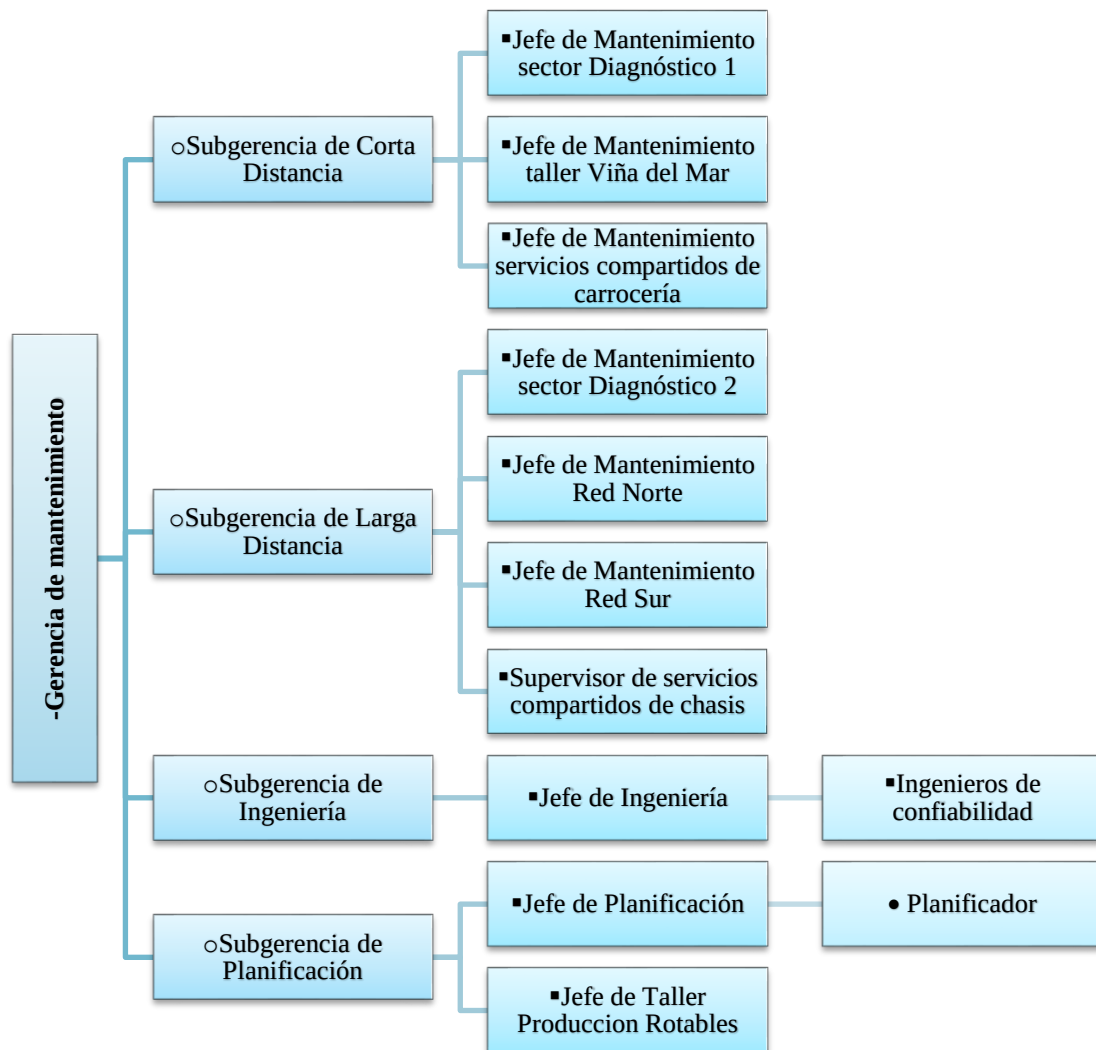


Figura 5. Organigrama de Gerencia de Mantenimiento Tur Bus

La Gerencia de Mantenimiento se divide en cuatro subgerencias, las cuales se describen a continuación.

~ Subgerencia de Corta Distancia: encargada de llevar a cabo la gestión y control de los buses en las rutas de corta distancia, abarcando aspectos como la administración del personal, herramientas, gestión de contratos para servicios externos, control de gastos y la comunicación con el área de operaciones generando, reportes diarios con los principales indicadores como la disponibilidad y confiabilidad de la flota. Dentro de la estructura organizacional, tiene a cargo dentro

del Taller Central la sección de Diagnóstico 1 y los servicios compartidos carrocería, además del Taller de Viña del Mar.

~ Subgerencia de Larga Distancia: cumple las mismas funciones de la subgerencia anterior, pero enfocada en las rutas de larga distancia. Además, está a cargo de la red de mantenimiento zona sur y zona norte, es decir, se preocupa de la gestión de los talleres con relación a los equipos para la ejecución de las tareas de mantenimiento y la dotación de personal. En el Taller Central está encargada de las secciones de Diagnostico 2 y los servicios compartidos chasis.

~ Subgerencia de Ingeniería: tiene la responsabilidad de generar y mantener actualizado los procedimientos en relación con las tareas de mantenimiento. Además, son los encargados del ciclo de mejora continua en cuanto a las pautas de mantenimiento para los diferentes modelos de chasis con los que cuenta la compañía. También se encargan de prestar respaldo técnico en la selección y compra de repuestos.

~ Subgerencia de Planificación: encargada de la proyección y control de gastos, generación del presupuesto anual en las cuatro áreas funcionales que componen la gerencia de mantenimiento. A su vez gestiona a los prestadores de servicios externo, considerados como aliados estratégicos para algunas tareas de mantenimiento específicas. Otra de las tareas de esta subgerencia es la programación de las intervenciones correctivas y preventivas planificadas, así como de las campañas de mejoramiento. Adicionalmente, esta subgerencia tiene a cargo el taller de producción Rotables, este taller es un poco ajeno a la operación diaria del taller ya que se encarga de la reparación de gran parte de los componentes que se pueden reparar y reutilizar en los buses de la compañía como por ejemplo motores, cajas de transmisión, alternadores, culatas y baterías. Para ello cuentan con un equipo especializado en la reparación de dichos componentes.

2.1.2 Departamentalización geográfica de la función del mantenimiento: Red de Talleres.

Dadas las características del negocio y las rutas que abarcan los servicios proporcionados por Turbus y Cóndor la función del mantenimiento de las flotas se distribuye geográficamente, ya que no es posible centralizar todas las tareas de

mantenimiento en una sola instalación, por lo que se cuenta con una red talleres repartidos a lo largo del país como fue mencionado anteriormente y mostrado en la Figura 5.

El primer taller es el Taller Central, ubicado en la ciudad de Santiago, el cual es la instalación con mayor capacidad operativa dentro de la red. Este taller mantiene una subdivisión de áreas, por lo que puede atender mayor cantidad de buses y realizar una amplia gama de tareas de mantenimiento. Un concepto relevante dentro de la organización del taller central es el de servicios compartidos que se refiere a aquellas zonas que realizan labores de mantenimiento sin diferenciar la ruta a la que pertenecen los buses, a diferencia de las zonas de diagnóstico. A continuación, se describen las áreas dentro del Taller Central.

~ Diagnostico 1 y 2: cuentan con personal de mecánicos y electromecánicos destinados a ejecutar las tareas de mantenimiento que se solicitan de forma diaria desde los reportes de los conductores. Además, en estas áreas se tienen especialidades como carroceros de patio que deben hacer reparaciones menores dentro y/o fuera de la carrocería, técnicos eléctricos/electrónicos y técnicos de aire acondicionado que deben tomar los reportes específicos de dichos sistemas. Estas áreas tienen como principal objetivo solucionar las tareas de mantenimiento con una mayor reparabilidad, es decir, los reportes que tomen un menor tiempo de ejecución.

~ Servicio compartido de chasis: es la encargada del Mantenimiento Preventivo (MP). Las tareas que se incluyen en cada pauta de mantenimiento se abordan según las órdenes de trabajo y tareas de mantenimiento para cada marca de chasis. Dentro de los servicios compartidos chasis está también el área de Tren Motriz (TM) que abarca las reparaciones de los componentes mayores como lo son los ejes, caja de cambios y diferenciales. Hay que destacar que se especializan en el reemplazo de estos equipos, ya que se mantienen en stock dentro de bodega como Rotables, esto con el fin de disminuir los periodos de indisponibilidad.

~ Servicios compartidos carrocería: se dedican a los trabajos de alta y mediana dificultad como los choques de alto impacto, campañas de mejoramiento, reparación de componentes de la carrocería como focos, parachoques y estructuras en forma general. Para ello se cuenta con cabinas de pintura certificadas, personal

capacitado e instalaciones para los diferentes procesos de reparación. También este sector del taller cuenta con la especialidad de aire acondicionado que a diferencia de los técnicos destinados a los sectores de Diagnóstico 1 y 2, tienen mayor expertiz y se le asignan tareas que toman una mayor cantidad de tiempo o bien de una mayor complejidad.

Es importante indicar que existe un anexo a la instalación del taller central, llamado taller Ruiz Tagle, ubicado en la cercanías del terminal que tiene como objetivo atender reportes de novedad de menor complejidad, esto con el fin de que ciertas fallas sean resueltas de forma inmediata sin necesidad de que los buses se trasladen al taller central.

Los demás talleres de la red se dividen en 2 grandes áreas como lo son la Red Norte y Red Sur. A diferencia del Taller Central, las instalaciones de región cuentan solo con electromecánicos que pueden atender tareas de baja y media complejidad, pueden resolver solo tareas menores de carrocería y se pueden ejecutar todas las pautas de mantenimiento en relación con las marcas de chasis que poseen las flotas de buses Turbus y Cóndor, pero su rol está enfocado principalmente a las asistencias en ruta que se puedan presentar cuando los buses están cumpliendo servicio. Las locaciones de los talleres de la Red Norte que está en las ciudades de Arica, Iquique, Antofagasta, Calama, Copiapó, Coquimbo y Viña del Mar; la Red Sur se encuentran en las ciudades de Talca, Concepción, Temuco, Valdivia y Puerto Montt.

2.2 Planificación y ejecución del Mantenimiento de flota

Para continuar con la etapa de diagnóstico de la gerencia de mantenimiento es importante caracterizar las flotas de ambas empresas en relación a las características técnicas por medio las marcas de chasis y carrocería además de su contexto de operación para posteriormente mostrar los tipos de intervención a los que están sometidos para cumplir con objetivos del plan de mantenimiento.

En conjunto ambas empresas suman un total 532 buses que conforman las diferentes flotas sobre las cuales será posible realizar la evaluación de desempeño. Con el fin de seleccionar una flota específica es necesario entender el contexto de operación de ambas marcas, para ello se describe el régimen de funcionamiento de

acuerdo con el tipo de ruta que tienen asignadas las diferentes flotas de buses. Los 3 tipos de ruta presentes en las empresas del grupo GTP son:

- Ruta corta distancia: son aquellas rutas que implican un tiempo de conducción menor a 5 horas de viaje, que es el tiempo máximo establecido por ley en el artículo 25 bis del Código del Trabajo de Chile que debe estar al volante un conductor, principalmente para evitar somnolencia y fatiga al conducir. Los destinos que abarcan estas rutas son principalmente viajes entre Santiago y la quinta región (Viña del Mar, Valparaíso, Villa alemana, Quintero, Papudo y puntos intermedios), también cubre la ruta entre Santiago- Curicó y Santiago-Rancagua. Además, existe una flota local en la ciudad de Antofagasta que cubre la ruta entre dicha ciudad y Calama.
- Ruta Larga distancia Sur: cuando servicio supera las 5 horas de viaje es necesario más de un conductor para cumplir con el servicio. Los destinos de la ruta larga distancia sur se componen de viajes entre La Serena- Concepción, Talcahuano- Puerto Montt y los viajes provenientes de Santiago como lo son Santiago-Concepción y Santiago- Puerto Montt, además de los puntos intermedios de la última ruta mencionada.
- Ruta larga distancia norte: al igual que la ruta larga distancia sur, hacia el norte es necesario 2 conductores para ruta entre Santiago-Antofagasta (incluidos los puntos intermedios) y de 3 conductores para destinos más alejados como por ejemplo Iquique y Arica.

Una vez definido el régimen operacional, es fundamental identificar las diferentes características de los buses tanto en términos de marca de chasis como la carrocería. En la Tabla 2 se indica el detalle de la flota corta y larga distancia, considerando que las marcas de chasis son Mercedes Benz, Scania y Volvo y, las marcas de carrocería son Marcopolo y Modasa.

Tabla 2. Categorización por marca de flota Turbus y Cóndor.

Empresa	Carrocería	Corta distancia				Larga distancia			
		Mercedes Benz	Scania	Volvo	Total	Mercedes Benz	Scania	Volvo	Total
Córdoba	Marcopolo	14	2	9	25	6	14	-	20
	Modasa	102	-	-	102	-	-	-	-
	Total	116	2	9	127	6	14	-	20
Turbus	Marcopolo	10	74	6	90	19	130	11	160
	Modasa	121	-	5	126	-	-	9	9
	Total	131	74	11	216	19	130	20	169
Total, general		247	76	20	343	25	144	20	189

En cuanto a las tareas de mantenimiento que establece la Gerencia de Mantenimiento como parte de su estrategia existen dos tipos de intervención, tareas correctivas y tareas preventivas.

La estrategia diferencia entre las dos tareas por el nivel de planificación de la atención, es decir, si se presentan sin aviso a modo de un reporte de falla levantado por los conductores, o bien si son tareas planificadas como lo son los mantenimientos preventivos definidos por pauta para cada tipo de chasis dentro de las flotas, además de las reparaciones correctivas programadas que se detectan y planifican a partir de inspecciones o diagnósticos por parte los técnicos.

Antes de describir la secuencia de pasos para realizar cada uno de los tipos de intervención es necesario mostrar ciertos elementos referentes a la documentación como lo es el concepto de orden de trabajo y su respectivo ciclo de vida además de los sistemas diferibles o NO-GO.

2.2.1 Órdenes de trabajo (OT)

Para llevar a cabo una gestión del mantenimiento óptima son fundamentales las órdenes de trabajo (OT) que según IBM (IBM, s. f.) se definen como el documento físico o digital que describe el listado de procedimientos y tareas que se deben

realizar en los activos mostrando los recursos utilizados para dichas tareas además de indicar los responsables y ejecutantes de los trabajos.

Las órdenes de trabajo según los lineamientos de la empresa y del sistema IBM Máximo siguen un ciclo de vida temporal compuesto por 6 estados diferentes, los cuales se presentan en la Tabla 3. Estos estados representan en la etapa en la que se encuentra la orden dentro del proceso de mantenimiento, desde su creación en el estado de espera de aprobación hasta el cierre definitivo de la OT. Dado que la información queda registrada en el sistema, es posible obtener los tiempos de ejecución de las tareas o bien el tiempo total que el bus se mantuvo en taller.

Tabla 3. Descripción de los estados de las órdenes de trabajo.

Estado de Orden de Trabajo	Descripción
WRAPP	Espera de aprobación, es el primer estado dentro del ciclo de vida de la OT ya que en ese momento se genera en sistema. Sin embargo, el bus aun no ingresa en la instalación por lo tanto los trabajos aun no comienzan. La creación de la OT se realiza en la torre de control o CCD, a partir de las novedades reportadas o programadas vía correo por el área de operaciones por medio de los administradores de buses (AB). En el reporte se indican los síntomas que presenta cada bus, lo que se traduce en una lista de tareas que debe atender el personal de mantenimiento.
APPR	Aprobado, en este punto al bus ya hizo ingreso a las dependencias del taller y se le asigna un área dentro de la instalación dependiendo de las tareas de mantenimiento que se deban realizar. El supervisor correspondiente al área es quien valida la información y agrega en la base de datos la atención del bus.
INPRG	En progreso, es el estado que indica que se le asignaron técnicos al bus y se comienzan a realizar las tareas de mantenimiento, en este estado y el anterior (APPR) es posible cargar insumos, repuestos y declarar la utilización de herramientas.
COMP	Completada. Una vez el técnico indique a la jefatura que se realizaron las tareas de mantenimientos correspondientes, el supervisor se encarga de revisar el funcionamiento y, si corresponde, encarga las pruebas de validación (vuelta de prueba, frenómetro, medición de parámetros) según corresponda.
CLOSE	Cerrada. Con las pruebas de comprobación realizadas es posible cerrar la OT, para este proceso se indica el detalle completo de las tareas realizadas a modo de texto libre y los resultados arrojados en las pruebas. El cierre de la OT permite la reincorporación a la operación y el CCD se encarga de dejar como “operativo” el bus dentro de la base de datos.
EMAT/WCOND	Espera de material/espera de condición. Son estados que se activan cuando la OT está en progreso, indican que la orden de trabajo está en espera de materiales y de espera de condiciones respectivamente, este último haciendo referencia a alguna necesidad del taller, como por ejemplo algún equipo (gatas hidráulicas, arnés de seguridad, etc.) o ubicación (cabina de pintura, pozo de alineación) entre otros.
EXT	Externo. Es un estado adicional que se utiliza cuando la capacidad interna del taller se ve superada ya sea por la cantidad de HH disponibles o bien se requiere de tecnologías con las que no se cuenta en la red de talleres Turbus, en ese caso se activa un proveedor externo especializado para la ejecución de las tareas.

Para la creación de una orden de trabajo, el proceso inicia en la planilla de Orden de Trabajo dentro del sistema IBM Máximo como se muestra en la Figura 6. En esta interfaz el personal del Centro de Control Documental (CCD) ingresa la información asociada a la OT, donde se asigna un número correlativo para la identificación con el fin de facilitar la búsqueda y análisis de información. También, indica el número de bus al que se le asocia la OT en la casilla de Activo y toda la información del bus, como por ejemplo la empresa a la que pertenece, la ruta que cubre, los indicadores de medición como lo es el odómetro. Finalmente, se indica la fecha en que se realizan las tareas de mantenimiento en la casilla de Fecha de notificación, asociada a la hora que se realiza la OT. También, considera que todas las asignaciones que se realicen por sistema van asociadas a la persona que realiza el levantamiento de información. Se puede observar en la casilla Estado, cual es el estado que se encuentra según las abreviaturas de la Tabla 3.

The screenshot shows the 'Orden de Trabajo' form in the IBM Máximo software. The form is organized into a grid-like structure with various input fields and checkboxes. The top navigation bar includes tabs like 'Vista de lista', 'Orden de trabajo', 'Planes', 'Detalles de consumos reales', 'Actividades', 'Medidas', 'Configuración de eje', 'Registros relacionados', and 'Plan de seguridad'. The main form area is divided into several sections: 'Orden de trabajo' (Order number: 5307293), 'Activo' (Bus information), 'OT de nivel superior', 'Ubicación', 'Notificado por', 'Fecha de notificación', 'Tipo de trabajo', 'ID Novedad', 'Alerta de mantenimiento?', 'Situación de garantía presente?', 'Orden de reparación?', 'Es tarea?', 'Tiene trabajo de seguimiento?', 'MP rápido?', 'Origen', 'Sección', 'Reprogramado', 'Días para Vencimiento', 'Adjuntos', 'Estado', 'Fecha de estado', 'Referencia de aplicación', 'Planta', 'Prioridad de activo/ubicación', 'Prioridad', 'Con control de flujo?', 'Suspender control de flujo?', and 'Acción de flujo'.

Figura 6. Vista de Trabajo de sección Orden de Trabajo, en el Software Máximo

Luego el personal del CCD ingresa a la opción Planes, que despliega otra ventana como se muestra en la Figura 7. En esta opción, se planifican y detallan las tareas de mantenimiento en función de la información levantada vía correo por parte de los administradores de buses (AB). Dentro de dicha sección se realiza la clasificación de la OT, principalmente diferenciado por el área que la genera, el detalle de esta clasificación se muestra a continuación:

- ~ Novedad De Mantenimiento (NVM): es un tipo de OT que se levanta por parte de los técnicos para indicar una tarea de mantenimiento adicional, a las ya levantadas en la OT de tipo novedad correctiva (NVD).
- ~ Novedad Correctiva (NVD): es la clasificación que se le otorga a las órdenes de trabajo que provienen desde los síntomas de falla que detectan los conductores ya sea en plena operación o bien cuando la unidad llega a destino.
- ~ Pendiente De Taller (PND): Es una OT de derivación, es decir, el supervisor o jefe de un taller libera la máquina con las tareas NO-GO realizadas, es decir, aquellas que no pueden ser diferidas y que necesariamente deben ser resueltas para dejar habilitado el bus para transportar pasajeros. Mediante este proceso se indica que hay componentes pendientes de reparación.
- ~ Novedad Generada En Ruta (NVR): Es un tipo de OT que describe las tareas que se deben hacer en la ruta ante algún evento de panne.
- ~ Pendiente De Ruta (PDR): Es una OT de derivación desde la ruta, eso implica que se realiza la reparación de los sistemas fundamentales para que el bus pueda moverse desde la ruta hasta un taller, donde deben ser reparados los sistemas indicados.
- ~ Campaña De Mantenimiento (CMPA): Es una OT que indica la realización de trabajos correctivos o de mejora, pero que se realizaran de forma única.
- ~ Mantenimiento Preventivo (MP): Es la tipología que se asocia a los mantenimientos preventivos de chasis.

Figura 7. Vista de la sección Planes, en el Software Máximo

En resumen, a partir de una OT principal en la que se clasifica el tipo de novedad, se generan múltiples órdenes de trabajo secundarias que corresponden a tareas individuales específicas. Son estas órdenes de trabajo las que llegan al taller para su ejecución, en ellas se describe cada una de las tareas, incluyendo el sistema asociado a la intervención mediante descripción de los sistemas y codificación respectiva, esto con el objetivo de facilitar la identificación y trazabilidad de cada reparación. En la Tabla 4 se presenta el detalle de la codificación de cada sistema de falla asociado.

Tabla 4. Códigos en el sistema de trabajo según sistema de buses, Turbus.

Código	Sistema
10	Aire acondicionado
15	Calefacción
20	Carrocería
25	Motor central
30	Neumáticos
35	Sistema suspensión
40	Sistema de transmisión
45	Sistema de dirección
50	Sistema eléctrico
55	Sistema electrónico
60	Sistema de frenos
65	Sistema mazas
70	Sistema neumático [aire]
75	Sistema refrigeración
80	Tren motriz
90	Prueba de ruta

Dentro del proceso de diagnóstico de los sistemas reportados en la OT, la clasificación puede ser realizada tanto por el personal del CCD, quienes, a partir de los reportes de falla notificados por los conductores, clasifican el sistema afectado, o bien por los supervisores de taller que tienen la facultad de modificar o actualizar el registro según la evaluación técnica preliminar cuando la OT se encuentra en

estado INPRG. A partir de esta información los sistemas de falla se clasifican en dos grande grupos dependiendo de la gravedad del síntoma de la falla. Uno de los grupos son los sistemas NO-GO, los cuales son sistemas fundamentales para la operación del bus, referente al correcto funcionamiento del bus y la seguridad de los pasajeros. Por ende, si algunos de estos sistemas fallan no se puede llevar pasajeros a bordo, aunque la falla sea parcial. El segundo grupo son los sistemas diferibles, la falla de algún componente dentro de esas estructuras no pone en riesgo la seguridad ni el nivel de servicio que se le brinda a los pasajeros, ni tampoco que dicha falla sea causa raíz de un desperfecto mayor. Los diferibles se clasifican en 3 subcategorías, según en nivel de la falla.

Para establecer la diferencia entre una falla NO-GO y una diferible existen seis criterios que sirven como guía para determinar la condición de la OT. En la Tabla 5 se muestran los criterios

Tabla 5. Categorización de fallas de las OT. Fuente: Protocolo de sistema y componentes NO-GO. Turbus.

Riesgo	NO-GO	Diferido A	Diferido B	Diferido C
Seguridad de operación	Probabilidad $\neq 0\%$	Probabilidad = 0%	Probabilidad = 0%	Probabilidad = 0%
Detención por 7 días	Probabilidad $\geq 50\%$	Probabilidad < 50%	Probabilidad < 50%	Probabilidad < 50%
Restricción legal de operar bus	Implica bloqueo de bus	Implica bloqueo de asiento o multa simple	Sin implicancias legales	Sin implicancias legales
Afecta a la Venta diaria	> 10% venta	5% - 10% venta	< 5%venta	< 5%venta
Afecta el confort del pasajero	Implica suspensión de servicio	Pasajero percibe problema y afecta su confort	Pasajero percibe problema, pero no afecta su confort	Pasajero no percibe problema y no afecta su confort
Asignación	Si cumple cualquiera de las 5 es No-Go	Si cumple una de las ultimas 3 condiciones es Diferido A	Si cumple todas las condiciones es Diferido B	Si cumple todas las condiciones es Diferido C

Para una mejor comprensión a lo mostrado en la Tabla 5, se explica en detalle cada uno de los criterios de evaluación:

1. Seguridad de operación: La seguridad de la operación evalúa si la novedad de mantenimiento puede poner en riesgo la seguridad de los pasajeros como los funcionarios. En el caso que exista una probabilidad distinta de 0%, se califica como sistema No- Go. En caso contrario, si no existe un riesgo se califica como sistema Diferible.
2. Detención por 7 días: La segunda categoría hace referencia a la gravedad de la novedad, ya que ante una revisión por parte del personal de mantenimiento se obtiene un análisis preliminar de falla. En caso de que la gravedad de la falla indique una probabilidad de más del 50% que el bus va a quedar detenido en taller por más de 7 días, se indica que es No-Go, en caso contrario que la probabilidad sea menor al 50% es un sistema Diferible.
3. Restricción legal de operar bus: En cuanto al marco legal que implica la falla o novedad. Si la problemática incumple la ley, entonces recae en un sistema No-Go. En cambio, si la falla afecta al pasajero como un cinturón de seguridad cortado, ese asiento se bloquea impidiendo la venta de ese boleto por lo cual el desperfecto no afecta al pasajero dejándolo en la categoría de Diferible A.
4. Afecta a la Venta diaria: Los perjuicios que pueda traer la falla a las ventas del servicio de traslado de pasajeros, es decir, si la falla afecta al 10% o más de las ventas potenciales, asociados a la cantidad de pasajeros del bus, se categoriza como No-Go. Si el porcentaje afectado ese encuentra entre el 5% y el 10% de las ventas es Diferible A, para los casos que sea menor al 5% es Diferible C o B.
5. Afecta el confort del pasajero: evalúa el impacto que la falla puede tener sobre la experiencia del pasajero. Si la falla incomoda a los pasajeros al punto de que impida continuar con el servicio como, por ejemplo, algún ruido excesivo, problemas que afecten la conducción o alguna falla en los servicios higiénicos, la novedad se clasificaría como NO-GO. En cambio, si el pasajero lo detecta y afecta la comodidad del viaje al igual

que en el caso anterior se bloquea el asiento y se categoriza como Diferible A, en caso de que se detecte, pero no afecte el confort se categorizan como Diferible B o C.

6. Asignación: Si una de las seis categorías las cumple la falla se considera sistema NO GO. En caso contrario si se cumple una de las tres últimas categorías sería Diferido A. Por último, si se cumplen las seis categorías asociadas es Diferido B o C, según corresponda.

Las fallas diferibles y su respectiva clasificación están descritas en la sección Anexo A 1 en detalle.

2.2.2 Proceso de Mantenimiento Correctivo

Una vez realizada la descripción del proceso de creación de las órdenes de trabajo, su ciclo de vida, la categorización de los sistemas afectados y las diferencias entre las tareas diferibles y NO-GO, es posible describir el proceso completo de la asistencia de buses por parte de los diferentes talleres ante el reporte de una falla. En esta sección se muestra el proceso ante un reporte de novedad por parte de los conductores a modo correctivo no planificado, para ello se muestra el proceso definido por la gerencia de mantenimiento para un mantenimiento correctivo en la Figura 8.

El proceso inicia con el evento de falla, el cual es reportado por parte del conductor a su respectivo AB, quien a su vez levanta el reporte mediante correo electrónico al área de mantenimiento, ya sea que el evento se haya provocado en ruta o una vez finalizado el servicio de transporte de pasajeros de acuerdo a lo informado por los conductores, a continuación el CCD a partir de lo declarado en el correo genera la OT en sistema manteniéndola en estado WAPPR, además a partir de lo declarado en el reporte de novedad, el personal de CCD le asigna a la OT alguno de los sistemas de acuerdo a la Tabla 4.

Posterior a dicho proceso se registra la maquina como detenida en la base de datos, en caso de que el bus pertenezca a la ruta de corta distancia se ingresa a taller anexo Ruiz-Tagle, se analiza si la tarea está dentro del listado de las fallas diferibles, en caso de que si se pueda diferir se cierra la OT, se informa a planificación y se genera

una OT del tipo PND para el seguimiento. En caso de no ser diferible se evalúa si es posible la reparación en el anexo Ruiz-Tagle, si es posible se realiza la reparación y la OT queda en estado CLOSE rápidamente para así informar la entrega del bus mediante correo. En caso de que la falla sea de mayor complejidad y requiera un tiempo mayor en taller se solicita el traslado al taller central, una vez ahí cambia el estado de la OT a APPR, a partir de la evaluación de los jefes y supervisores en cuanto a la cantidad de HH disponibles para atender el reporte y las características de complejidad de la falla se decide si se activa un proveedor externo (OT EXT) o la reparación se realizara de forma interna. En caso de que sea posible la reparación en el taller central se comienza con el proceso de selección de repuestos y de forma paralela la reparación del bus de acuerdo con el sistema que fallo de acuerdo a la clasificación, indicado en la OT (OT INPRG).

Una vez realizada la reparación se realizan las inspección y/o pruebas (OT COMP) por parte de los jefes y supervisores se indica a CCD que cierren la OT (OT CLOSE) y que informen que la unidad ya está operativa vía correo a la gerencia de operaciones.

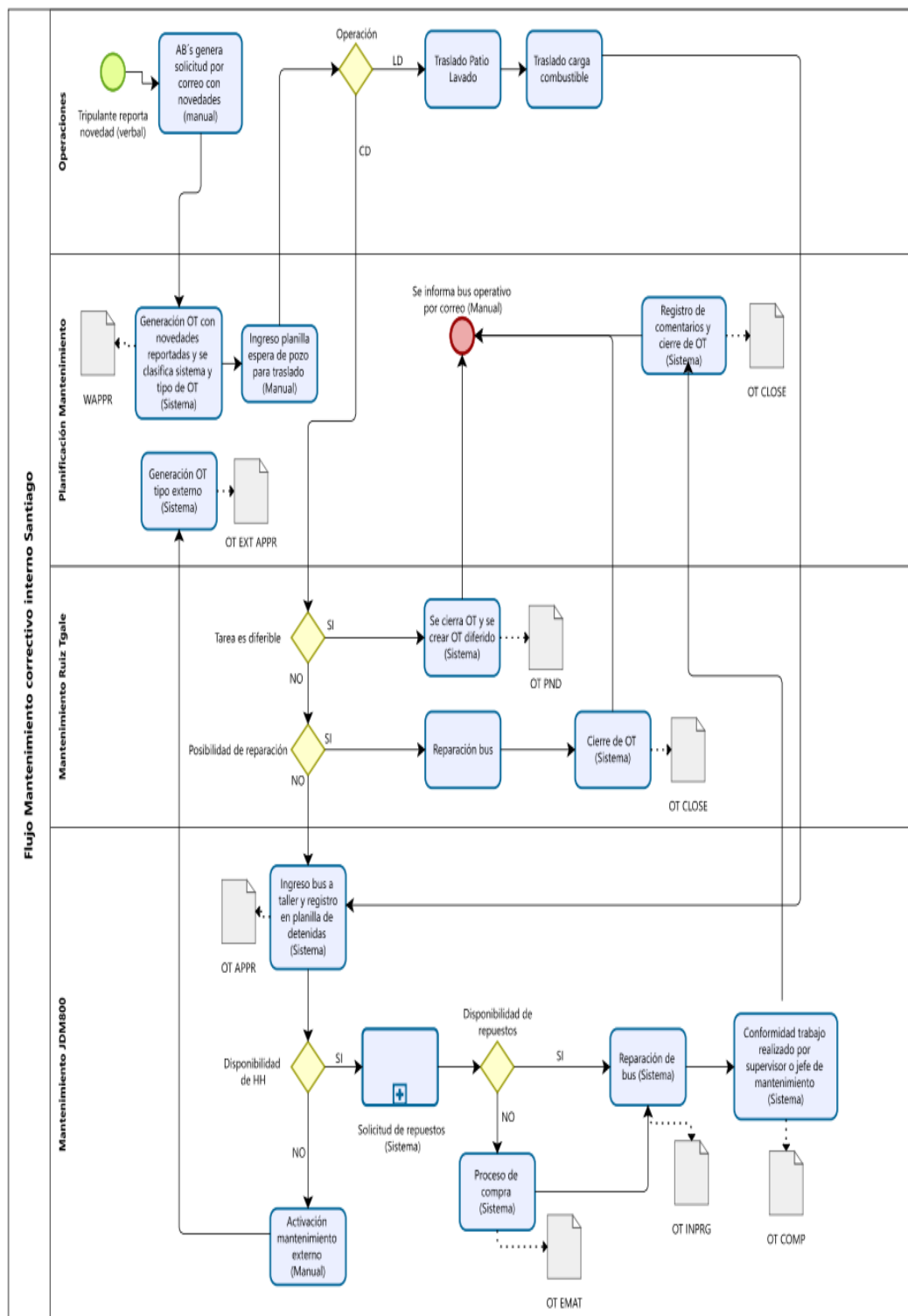


Figura 8. Proceso de atención para un mantenimiento correctivo. Fuente: Subgerencia de planificación de mantenimiento. Turbus

En caso de que el bus pertenezca a las rutas de larga distancia existe una diferencia en el proceso, dado que, bajo la definición de la Gerencia de Operaciones, el bus

previo a su ingreso al taller debe pasar por el área de lavado del bus y posteriormente a la carga de combustible, una vez terminando ese proceso ingresan a taller y se continua con el proceso descrito anteriormente.

2.2.3 Proceso de Mantenimiento preventivo

Por otra parte, existen las intervenciones que son programadas de forma planificada basadas en el odómetro de cada bus, lo que se conoce como mantenimientos preventivos planificados. Dichas intervenciones están especificadas y diferenciadas de acuerdo a las marcas de chasis con las que cuentan Turbus y Cóndor tanto en las tareas de cada mantenimiento preventivo, como al ciclo de mantenimiento diferenciados en relación a la cantidad y duración de las pautas.

Para cada marca de chasis existe una diversidad de pautas de mantenimiento con una periodicidad definida por parte de la Subgerencia de Ingeniera, en conjunto a la información proporcionada por parte de los proveedores de los tres tipos de chasis con los que trabaja la compañía, que las pautas se deben aplicar cada 60.000 [km] recorridos.

- Para el caso de Mercedes Benz según lo indicado en la Tabla 6 se realizan 5 tipos de pautas diferentes con una complejidad y profundidad diferente para cada una de ellas. Para el cumplimiento de todo el ciclo, es decir, desde el primer MP1 hasta la pauta mayor MP5 el bus debe recorrer un total de 420.000 [km]. El orden de ejecución es el siguiente:

MP1→MP2→MP1→MP3→MP1→MP4→MP1→MP5

Tabla 6: Descripción de pautas de mantenimiento preventivo para chasis Mercedes Benz

Tareas de la pauta-Mercedes Benz
Pauta: MP1
Duración nominal: 6 horas - Inspecciones visuales de componentes (revisar fugas, deformaciones, cableado, desgaste de componentes como embrague y pastillas o discos de frenos) - Cambio de filtros (aceite de motor, aire, Consep, decantador, combustible, dirección hidráulica) - Comprobación de nivel de Glicol en refrigerante - Cambio de fluidos (aceite de motor, Comprobación de torques (suspensión, barras estabilizadoras, tapones - Engrase de puntos móviles - Cambio de correas (ventilador, alternador, bomba de agua) - Revisión de dificultad de giro en poleas y rodillos - Regulación de válvulas de admisión y escape con filler - Comprobación de funcionamiento de luces, limpiaparabrisas bocina
Pauta: MP2
Duración nominal: 8 horas A la pauta MP1 se le agrega - Cambio de empaquetadura de tapa de válvulas - Cambio de aceite de diferencial
Pauta: MP3
Duración nominal: 18 horas A la pauta MP1 se agrega: - Cambio de aceite y filtro de caja de cambios - Inspección del turbocompresor - Cambio de abrazaderas en sistema turbocompresor- intercooler - Cambio de grasa e inspección de rodamientos de maza en todos los ejes (con los respectivos torques)
Pauta: MP4
Duración nominal: 12 horas A la pauta MP2 se le agrega - Despiche de sistema de dirección para evitar aire en sistema - Cambio de rodamientos en Polea intermedia - Cambio de bomba de refrigerante - Cambio de mangueras de refrigeración de retardador
Pauta: MP5
Duración nominal: 30 horas A la pauta MP3 se agrega: - Cambio de motor de partida - Cambio de alternador - Cambio de compresor de aire - Cambio de inyectores - Mantención a sistema de alimentación de combustible

- En el caso de los buses de la marca Scania las pautas de mantenimiento también están definidas cada 60.000 [km], pero en este caso el ciclo es más corto ya que solo dura 240.000 [km] al contar con solo 3 pautas según lo indicado en la Tabla 7 y el orden de aplicación de las pautas de mantenimiento es el siguiente:

MP-S→MP-M→MP-S→MP-L

Tabla 7: Descripción de pautas de mantenimiento preventivo para chasis Scania

Tareas de la pauta-Scania	
Pauta MP-S	
Duración nominal: 3 horas - Conexión de scanner para ver y borrar códigos de avería - Inspección de frenos - Inspección visual de fugas (aceite, combustible, aire, refrigerante) - Inspección visual de componentes (barras, amortiguadores, ejes, suspensión) - Lubricación de chasis y puntos móviles - Controlar presión y torque en ruedas - Cambio de aceite de motor y relleno de refrigerante - Cambio de filtros (aire, combustible, aceite de motor) - Comprobar estado de baterías	
Pauta: MP-M	
Duración nominal: 5 horas A la pauta S se le agrega: - Cambio de aceite caja de cambios - Cambio del filtro de aceite de caja de cambios - Comprobar el estado de embrague	
Pauta: MP-L	
Duración nominal: 8 horas A la pauta M se le agrega: - Cambio de aceite de retardador - Cambio de filtro de aceite de retardador - Cambio de aceite y filtro de diferencial - Ajuste de válvulas de admisión y escape - Cambio de aceite de ventilador hidráulico	

- El formato para los buses del chasis Volvo tienen una lógica similar ya que también tienen una diferencia de 60.000 [km] entre cada ejecución, según lo indicado en la Tabla 8 y cuenta con un orden progresivo lineal como se muestra a continuación:

MPV-1→MPV-2→MPV-3→MPV-4

Tabla 8: Descripción de pautas de mantenimiento preventivo para chasis Volvo

Tareas de la pauta-Volvo
Pauta MPV-1
Duración nominal: 6 horas - Verificar la existencia de códigos de fallas - Inspección visual (sistema suspensión, dirección, sistema de refrigeración, sistema de frenos) - Cambio de correas (alternador y bomba de agua) - Cambio de filtros (aceite de motor, separador de aguas, Adblue, filtros de aire) - Cambio de aceite de motor - Mantenimiento a sistema neumático (drenaje de acumuladores, estado de compresor y cañerías, cambio de filtro secador) - Cambio de aceite de retardador - Comprobación de componentes eléctricos y electrónicos (bocina, luces limpiaparabrisas, motor de arranque y alternador)
Pauta: MPV-2
Duración nominal: 16 horas Se le agrega a la pauta MPV1 - Cambio de aceite y filtros de caja de cambios - Cambio de aceite de diferencial - Revisión de sistema frenos y mazas de primer y tercer eje
Pauta: MPV-3
Duración nominal: 10 horas Se le agrega a la pauta MPV1 - Cambio de aceite a sistema retardador - Cambio de filtro de aceite retardador - Inspección visual sistema suspensión - Despiche de acumuladores de aire - Revisión sistema baterías
Pauta: MPV-4
Duración nominal: 14 horas Se le agrega a la pauta MPV1: - Cambio de aceite y filtros de caja de cambios - Cambio de aceite de diferencial Revisión de sistema frenos y mazas del segundo eje

A continuación, se presenta el flujo del proceso de mantenimientos preventivos programados en la Figura 9. Este proceso comienza con la coordinación entre el área de planificación de mantenimiento y la gerencia de operaciones, esto con el objetivo de definir con anticipación la disponibilidad del bus en taller de modo que no interfiera de forma significativa la operación del bus.

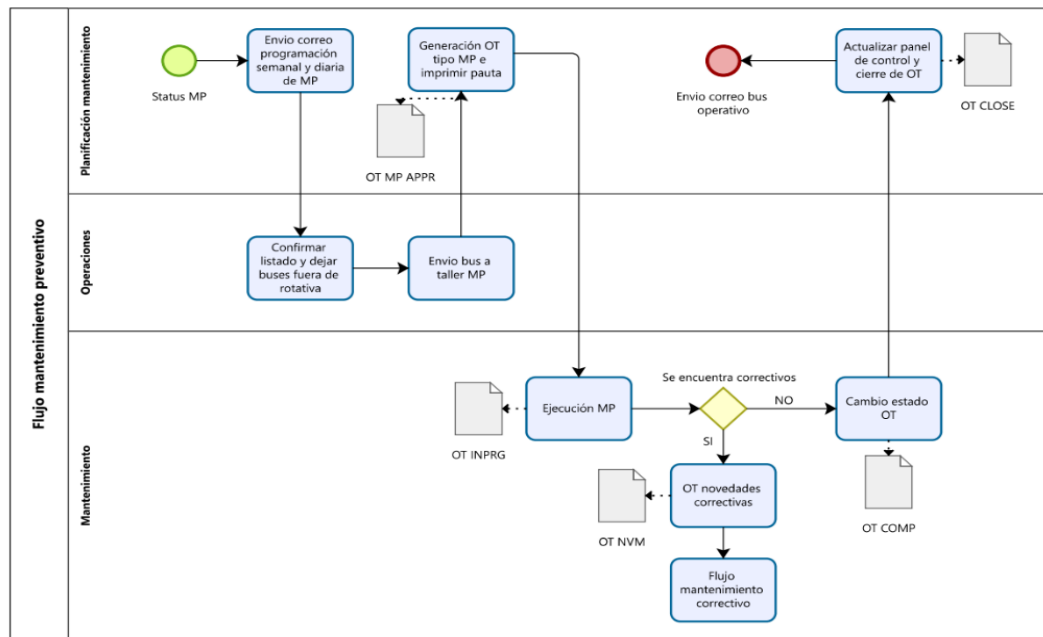


Figura 9. Proceso de mantenimiento preventivo planificado. Fuente: Sub- gerencia de planificación de mantenimiento. Turbus

La programación de ejecución de las diferentes pautas se realiza con 10.000 [km] de anticipación al kilometraje nominal establecido para ejecución de la pauta, esto con el fin de tener un margen para definir la fecha de la realización de la pauta. Luego de confirmar los buses de forma semanal, se indica la programación diaria y se espera el ingreso de la máquina. Dado que se trata de un mantenimiento programado la orden de trabajo (OT) de tipo MP comienza en estado aprobada (APPR) además se registra en la base de datos de máquinas detenidas, se ejecutan las tareas descritas en la pauta según corresponda (OT INPRG). En caso de que se detecte alguna falla mayor y no se pueda reparar en el tiempo definido en la pauta, el bus debe ir a las zonas de diagnóstico, activando así el flujo de mantenimiento correctivo. En caso de que no se detecte un correctivo mayor se completa la OT con la validación del supervisor del área y luego se actualiza la base de datos, para finalmente cerrar la OT e indicar la maquina como operativa.

2.3 Resultados de Desempeño de la Gerencia de Mantenimiento

Para evaluar el desempeño de la gestión de mantenimiento implementada en las flotas de buses, las empresas Turbus y Cóndor cuentan con dos métricas principales que permiten medir objetivamente el comportamiento de los buses adheridos al plan de mantenimiento, lo que permite identificar tendencias y comparaciones entre las diferentes empresas y flotas. El primer indicador con el que cuenta la Gerencia de Mantenimiento es la disponibilidad, factor que relaciona la cantidad de buses detenidos con la cantidad total de buses de la compañía.

El segundo indicador es el de pannes o eventos en ruta que afecten a pasajeros, que describe por cada flota de cada empresa la cantidad de detenciones imprevistas en ruta por cada 100.000 [km] que recorre la flota, esto con el objetivo de medir la cantidad de fallas en pleno servicio de traslado de pasajeros.

Por ultimo existe un indicador relacionado al porcentaje de cumplimiento de la política presupuestaria, el cual muestra la comparación entre los gastos reales y el presupuesto asignado a la gerencia de mantenimiento, pero que por política de la empresa no fue posible incluir dicho indicador en el presente trabajo, cabe destacar que el control presupuestario se controla de forma separada por empresa y por cuentas contables en las que se incluye el gasto de repuestos, gasto en servicios externos de reparación, consumo de neumáticos, cambio de parabrisas, componentes mayores (motores, cajas de cambio, diferenciales), lubricantes y refrigerante, herramientas menores (uso diario) y finalmente materiales varios.

A continuación, se pasan a detallar los métodos de medición y métricas principales para los dos indicadores de desempeño de la Gerencia de Mantenimiento.

2.3.1 Disponibilidad

El primer indicador corresponde a la disponibilidad, el cual se define como la capacidad de un activo para encontrarse operativo y disponible para la tarea principal para el que fue diseñado (Smith & Hinchcliffe, 2004). En el contexto

estudiado sería cumplir con el servicio de traslado de pasajeros. El sistema de medición de Turbus y Cóndor considera solo una medición diaria en horario PM, que de forma automática compara la cantidad de buses operativos con relación al total de buses de cada flota. Es importante indicar que no considera las fluctuaciones de disponibilidad durante el resto del día. En la Tabla 9 se muestra el detalle de la disponibilidad donde se considera el periodo de un año, comprendido entre junio del año 2023 y junio del año 2024, este periodo abarca tanto las de temporadas de alta como las de baja demanda, dado el comportamiento cíclico en el rubro del transporte de pasajeros.

Tabla 9: Disponibilidad de las empresas Turbus y Cóndor.

Negocio	jun-23	jul-23	ago-23	sep-23	oct-23	nov-23	dic-23	ene-24	feb-24	mar-24	abr-24	may-24	jun-24
TURBUS META	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
TURBUS REAL	87%	87%	88%	87%	87%	88%	89%	87%	86%	85%	84%	84%	87%
Turbus LD REAL	85%	87%	87%	86%	87%	87%	89%	87%	86%	85%	83%	81%	86%
Turbus LD Norte	85%	88%	86%	85%	86%	84%	90%	86%	87%	84%	82%	84%	85%
Turbus LD Sur	84%	87%	88%	88%	89%	87%	89%	88%	86%	86%	84%	78%	85%
Turbus CD REAL	88%	87%	88%	86%	86%	88%	89%	88%	86%	86%	84%	86%	87%
Condor META	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%
Condor REAL	82%	85%	83%	80%	77%	82%	85%	84%	87%	88%	84%	82%	81%
Condor LD REAL	89%	94%	89%	83%	80%	81%	89%	88%	93%	90%	84%	81%	80%
Condor LD Norte	89%	96%	86%	76%	77%	87%	92%	92%	98%	89%	85%	77%	80%
Condor LD Sur	87%	93%	91%	90%	86%	83%	83%	84%	89%	90%	81%	84%	81%
Condor CD REAL	78%	80%	86%	78%	75%	82%	85%	82%	83%	87%	84%	82%	81%

Se puede notar que la Tabla 9, muestra una diferencia en los niveles de disponibilidad esperados entre los buses de Turbus con respecto a Cóndor, esto se debe a que presentan diferencias en las rutas que recorren y en la antigüedad de cada flota.

Para el caso de Cóndor, los activos poseen una antigüedad promedio de 9 años mientras que para el caso de Turbus es de 7 años.

2.3.2 Descripción de Pannes para establecer evento de falla en ruta

Previo a describir en detalle el indicador de eventos técnicos en ruta es fundamental comprender el proceso de clasificación de pannes ya que no todos los eventos en ruta están relacionados a sistemas mecánicos o que son abordados por el plan de mantenimiento. Existen 5 tipos diferentes de pannes que se diferencian en diversos criterios, como el nivel de afectación del pasajero, la cantidad de tiempo de espera por él pasajero, el lugar donde se reporta el evento y el sistema afectado por la falla o deficiencia. Los 5 tipos de Panne se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. Tipos de Pannes. Fuente: Instructivo de clasificación de pannes. Turbus.

Tipo de Panne	Descripción de pannes
Tipo 1	Panne en ruta con transbordo de pasajeros. Panne en ruta con más de 30 minutos de espera en la atención.
Tipo 2	Asistencia antes de iniciar o después de finalizar servicio.
Tipo 3	Panne en ruta sin transbordo de pasajeros Panne en ruta con menos de 30 minutos de espera en la atención.
Tipo 4	Panne de Combustible.
Tipo 5	Evento relacionado con neumáticos: Reventón, pinchazo, pernos de rueda cortado o desbande de neumáticos.

A partir de la cantidad de pannes y su tipología es posible obtener la información necesaria para construir el indicador de eventos técnicos en ruta.

2.3.3 Indicador de eventos en ruta que afecten al pasajero

La segunda métrica que mide la Gerencia de Mantenimiento de Turbus y Cándor es la cantidad de eventos o fallas en ruta que afectan directamente al pasajero. El indicador contabiliza todas las fallas en ruta que son responsabilidad de la gestión del mantenimiento con la cantidad de kilómetros recorridos por la totalidad de la flota además para que sea más representativa tiene un factor de escala de 100.000, así se puede entender que es el número de pannes por cada 100.000 kilómetros recorridos por la flota.

Según las definiciones mostradas en la Tabla 10, solo las pannes de tipo 1, 2 y 3 son causadas por una falla técnica asociadas a los sistemas con los que cuenta el chasis, las detenciones por combustible son responsabilidad de la gerencia de operaciones ya que son ellos los encargados de asegurar el suministro de combustible en la máquina. Por otro lado, las pannes de tipo 5, es decir, los eventos asociados a los neumáticos como pinchazos o reventones no se consideran dentro del cálculo porque son causados por factores ajenos al plan de mantenimiento. Finalmente, igual se registran las pannes por eventos operacionales o de la ruta, como lo son los accidentes con el objetivo de mantener el registro en la base de datos de la empresa.

En la Tabla 11 y Tabla 12, se muestra el resumen de la cantidad de pannes clasificadas según su tipología para las empresas Turbus y Cóndor respectivamente, además se presenta la cantidad de eventos técnicos por cada 100.000 kilómetros recorridos de flota en el mismo periodo seleccionado para el indicador de disponibilidad.

Para la empresa Turbus, la Tabla 11 muestra que en las temporadas de baja demanda que va desde agosto a noviembre del 2023 la cantidad de eventos en ruta es mayor en relación a los meses de alta demanda como lo son enero y febrero, lo que refleja que son los periodos que más se debe estar pendiente, ya que en la otra temporada baja de marzo- abril 2024 vuelve a subir. El promedio de este indicador para Turbus es de 1,99 pannes por cada 100.000 kilómetros recorridos.

Tabla 11. Eventos técnicos en Ruta Turbus.

Año	Mes	CANTIDAD							Indicador TB
		Circunstancia operacional	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5	Total	Evento Técnico Afecta Pasajeros
2023	Jun	1	48	35	12	10	16	122	2,15
2023	Jul	0	34	23	12	9	19	97	1,66
2023	Ago	0	43	52	15	6	27	143	2,47
2023	Sep	0	41	30	11	9	32	123	2,17
2023	Oct	2	42	46	10	7	27	134	2,26
2023	Nov	2	43	29	13	9	19	115	2,02
2023	Dic	1	50	28	7	7	20	113	1,9
2024	Ene	1	51	26	16	9	16	119	1,82
2024	Feb	0	40	22	19	7	19	107	1,75
2024	Mar	4	46	37	15	8	26	136	2,19
2024	Abr	1	39	34	17	8	18	117	2,06
2024	May	0	39	26	3	5	17	90	1,57
2024	Jun	0	31	37	14	5	22	109	1,93

Para el caso de la empresa Cónдор, el indicador se muestra en la Tabla 12. Al igual que Turbus en la temporada de baja demanda entre agosto y noviembre de 2023 es donde se presenta la mayor alza de este indicador, sin embargo, en el mes de junio 2023 también presenta un número elevado. En el caso del valor promedio en este periodo de tiempo es de 3,44 pannes por cada 100.000 kilómetros recorridos. Cabe destacar que, a pesar de contar con una flota menor de buses, Cónдор tiene una mayor cantidad de eventos técnicos según los kilómetros recorridos, lo cual muestra una necesidad de profundizar el análisis de la empresa.

Tabla 12. Eventos técnicos en Ruta Cóndor.

		CANTIDAD							Indicador CD
Año	Mes	Circunstancia operacional	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5	Total	Evento Técnico Afecta Pasajeros
2023	Jun	0	22	16	11	0	4	53	4,1
2023	Jul	0	16	9	6	1	3	35	2,58
2023	Ago	0	21	26	4	4	9	64	4,75
2023	Sep	0	27	30	8	0	5	70	5,4
2023	Oct	0	24	13	5	2	11	55	4,04
2023	Nov	0	15	17	11	6	5	54	3,96
2023	Dic	0	18	24	5	2	7	56	3,9
2024	Ene	0	15	12	4	3	0	34	2,31
2024	Feb	0	10	5	0	0	4	19	1,37
2024	Mar	0	22	18	4	3	5	52	3,55
2024	Abr	1	11	9	5	1	6	33	2,33
2024	May	1	17	20	1	0	7	46	3,31
2024	Jun	0	19	15	5	1	2	42	3,07

2.3.4 Selección de flota crítica

De acuerdo con lo mostrado en las secciones anteriores, dentro de las empresas Turbus y Cóndor existen varias flotas de buses que presentan diferentes oportunidades de mejora en lo que respecta a sus políticas de gestión de mantenimiento, sin embargo, en el presente trabajo se seleccionara solo una de ellas.

La toma de decisión se basará a partir de tres ejes principales, en primer lugar, el análisis de los reclamos de pasajeros mostrados en la Figura 1, ya que representan una señal directa de las problemáticas percibidas por el cliente final del servicio. En segundo lugar, las fiscalizaciones realizadas por el ministerio de transporte indicados en la Figura 2 que muestra las diferencias entre lo establecido en la normativa y el servicio entregado por la empresa. Finalmente, se revisarán los

indicadores internos de mantenimiento, los cuales son la métrica fundamental para ver la eficacia de las políticas de mantenimiento, dentro de este punto se abarcará el diseño como la validez de los indicadores.

Para comenzar, como se muestra en la Figura 1 en el inciso Planteamiento del problema del presente trabajo se muestran los reclamos de pasajeros recopilados por medio de los diferentes canales de comunicación que tienen las empresas Turbus y Cóndor evidencian que el 39,8% de los reclamos son por motivos asociados a que el bus queda en panne en ruta o bien hacen referencia a una falta de mantención. Al profundizar el análisis se observa que el 72% de los reclamos son por ítems de los cuales se hace cargo el plan de mantenimiento, lo que destaca la necesidad de la correcta ejecución de las tareas correctivas y de inspección. De igual forma no se puede dejar de considerar el componente asociado al control operativos, ya que en algunos casos los tripulantes no reportan oportunamente las fallas o novedades que presentan los buses, lo que incrementa la posibilidad de que los pasajeros enfrenten alguna falla y generen el reclamo por ello.

Por otra parte, a partir de la Tabla 1 que presenta la cantidad de fiscalizaciones realizadas por el ministerio de transporte en el año 2023, se aprecia que la empresa Cóndor tiene un porcentaje de infracciones en relación al total de controles sobre su flota, cifra que supera en casi 9 puntos a lo registrado por la empresa Turbus que solo mantiene un 7,6% de incidencia. Esta diferencia muestra que la empresa Cóndor tiene una mayor vulnerabilidad frente a los incumplimientos legales, lo que permite inferir que el plan de mantenimiento y controles operativos presentan alguna debilidad frente a dichas fiscalizaciones. Cabe destacar que este aspecto tiene un impacto aun mayor ya que pone en riesgo la continuidad del servicio dado que las fiscalizaciones en ruta pueden impedir que el bus siga con el viaje, mientras que las inspecciones realizadas en terminal generan retrasos en las salidas programadas. Las dos situaciones traen consigo efectos negativos en la percepción del servicio por parte de los clientes y en la reputación de la empresa. Es por ello, que el análisis de dicho punto es fundamental para alguna propuesta de mejora al plan de mantenimiento.

Finalmente, el tercer aspecto considerado para determinar la flota crítica es la comparación de los indicadores de desempeño del plan de mantenimiento que posee la empresa como lo son la disponibilidad y el indicador de eventos en ruta.

En relación con la disponibilidad tal como muestra Tabla 9, la empresa Córdor registra una menor disponibilidad relacionada con el tamaño de su flota. Al separar este resultado entre las rutas de larga y corta distancia, se observa que esta última presenta un valor más bajo ya que solo alcanza un 82% de disponibilidad, factor que muestra directamente la cantidad de buses operativos y disponibles para iniciar un viaje. Como se menciona en la sección 2.3.1 el factor de disponibilidad solo toma una medición de forma diaria en el horario de cierre del turno de la red de talleres, lo cual deja fuera las fluctuaciones dentro del día por lo que la fiabilidad del indicador no es absoluta.

Otra métrica que tiene el plan de mantenimiento definido por GTP es el indicador de la cantidad de eventos en ruta que afectan a pasajeros que se muestra en la Tabla 11 y Tabla 12 para las empresas Turbus y Córdor respectivamente. Es posible apreciar que la cantidad de eventos técnicos por cada 100.000 kilómetros recorrido por la flota es sustancialmente mayor en Córdor que en Turbus, de hecho, el promedio de eventos técnicos en el periodo estudiado es de un 57,8% superior. Lo que trae consigo consecuencias directas tanto en la operación como la percepción del servicio entregado, ya que una mayor tasa de fallas en ruta implica mayores costos por mantenimientos correctivos no planificados, reducción de disponibilidad, gasto de traslado en grúa y compensaciones para los pasajeros afectados con la panne en ruta.

En síntesis, la flota que tiene una mayor oportunidad y necesidad de mejora es la flota Córdor Corta distancia. Una vez definida la flota a estudiar es necesario definir los sistemas y subsistemas críticos en relación con la cantidad de reclamos y novedades que levantadas por los conductores. En primera instancia la Figura 2 indica que las infracciones más comunes son asociadas a los sistemas de carrocería, seguridad interna, neumáticos y principalmente por parabrisas quebrados. Por otra parte, para identificar los sistemas con mayor problemática, se tomarán los reclamos de que los mismos pasajeros indican en las encuestas de satisfacción como muestra

la Figura 1, la mayor cantidad de reclamos proviene por temas asociados a pannes y/o la correcta mantención del bus, al sistema de climatización y por último a sistemas eléctrico/electrónicos. Cabe destacar que también se presentan varios puntos asociados al servicio en si, como lo es la limpieza de los salones y baños, atrasos en la llegada o salida de bus. Estos puntos quedan ajenos al análisis ya que no le corresponden al plan de mantenimiento subsanar estas problemáticas.

3. Análisis de ocurrencia, duración y criticidad de fallas e intervenciones

En la etapa 3 del presente trabajo se establece la metodología de estudio y resultados en relación con el análisis de la ocurrencia y duración de las fallas además de la información recopilada de la ejecución de las pautas de mantenimiento en un periodo de tiempo acotado de acuerdo con los tiempos del trabajo de título lo permiten.

A partir de los resultados obtenidos de los registros de la empresa Cóndor en particular de su flota de corta distancia es posible determinar los sistema que falla con más frecuencia y que generan mayor indisponibilidad en la flota, para luego establecer un nivel de criticidad, con el objetivo de generar las propuestas que tengan mayor impacto en el plan de mantenimiento.

Previo a comenzar con el análisis de las intervenciones es importante caracterizar el activo a estudiar, como lo es el bus interurbano, el cual posee varios sistemas para poder ejecutar las labores de traslado de pasajeros de forma de garantizar su operatividad eficiente y segura. Se tiene los principales tipos de sistemas presentes en un bus, presentados a continuación (Meritor, 2007).

~ Sistema de dirección: El sistema de dirección de un vehículo es el que permite al conductor controlar hacia dónde se mueve el auto. Para hacerlo más fácil, muchos autos cuentan con dirección asistida, que puede funcionar de dos maneras: hidráulica o eléctrica. En la dirección hidráulica, un fluido especial ayuda a reducir el esfuerzo necesario para girar el volante. En cambio, la dirección eléctrica utiliza un motor que facilita el movimiento.

~ Sistema de suspensión: el sistema de suspensión de un vehículo es el encargado de absorber las irregularidades del terreno y proporcionar una conducción suave y cómoda. El principio de funcionamiento de los sistemas de suspensión se basa en la utilización de amortiguadores y resortes que absorben las vibraciones y los impactos del terreno. Además, los sistemas de suspensión también pueden incluir barras estabilizadoras, que ayudan a mantener la estabilidad del vehículo en las curvas.

~ Sistema de transmisión: el sistema de tracción de un vehículo es el encargado de transmitir la potencia del motor a las ruedas. El funcionamiento de los sistemas de tracción se basa en el uso de un diferencial, que permite que las ruedas giren a diferentes velocidades en las curvas, y en un sistema de transmisión, que transmite la potencia del motor a las ruedas.

~ Sistema de frenos: el sistema de frenos de un vehículo es el encargado de detener el vehículo cuando sea necesario. El principio de funcionamiento de los sistemas de frenos se basa en la utilización de un líquido hidráulico o un sistema de aire comprimido para transmitir la fuerza del pedal de freno a los frenos de las ruedas. Los sistemas de frenos pueden ser de disco o de tambor, dependiendo del tipo de vehículo.

~ Sistema eléctrico: el sistema eléctrico de un vehículo es el encargado de proporcionar energía eléctrica a los diferentes componentes del vehículo, como las luces, el sistema de audio, el sistema de climatización, entre otros. El funcionamiento de los sistemas eléctricos se basa en el uso de una batería, que proporciona energía necesaria para el arranque del motor y la alimentación de los diferentes componentes eléctricos del vehículo.

Ya entendiendo cuales son los sistemas que, en general, van a servir para entender lo que se analizará más adelante, también se mencionará algunas de las partes de los buses, que sirven en general para entender las infracciones de tránsito mencionadas anteriormente. Los buses interurbanos tienen diferentes modelos, aunque la primera diferencia es la marca de cada uno, se pueden diferenciar visualmente entre los buses de uno y dos pisos, en cuanto a su parte interna se diferencian por la distribución de asientos, estas varían en el tipo de servicio que efectúe el bus. Las partes más comunes de los buses son:

- ~ Chasis: es la estructura principal del bus, que proporciona la base sobre la cual se ensamblan todas las demás partes del vehículo.
- ~ Carrocería: es la parte exterior del bus que encierra el espacio interior donde se encuentran los pasajeros y el equipaje. Puede estar hecha de metal, fibra de vidrio u otros materiales.
- ~ Motor: proporciona la potencia necesaria para que el bus se mueva. Puede ser diésel, gasolina, eléctrico o híbrido, dependiendo del tipo de bus.
- ~ Puertas: permiten el acceso y la salida de los pasajeros. Los buses interurbanos suelen tener al menos dos puertas, una en la parte delantera y otra en la parte trasera.
- ~ Asientos: proporcionan espacio para que los pasajeros se sienten durante el viaje. Los asientos pueden variar en comodidad y estilo dependiendo del fabricante y la configuración del bus.
- ~ Ventanas: proporcionan luz natural y ventilación al interior del bus. Algunas ventanas pueden ser abatibles para permitir la circulación del aire.
- ~ Ruedas y neumáticos: son responsables de la movilidad del bus. Los neumáticos deben estar en buenas condiciones para garantizar un viaje seguro y confortable.
- ~ Suspensión: absorbe los golpes y las vibraciones del camino para proporcionar un viaje suave a los pasajeros. La suspensión puede ser de tipo neumático, muelle o de otro tipo, dependiendo del diseño del bus.

Para establecer el comportamiento de falla de los buses de flota Cóndor corta distancia, existen diversas tecnologías que permiten obtener la información necesaria para llevar a cabo este análisis como lo son el estudio los aspectos químicos, físicos y mecánicos de los componentes afectados, según (Meritor, 2007) estas herramientas pueden ser descritas y clasificadas de la siguiente forma:

- Análisis de Aceite Lubricante (Tecnología Química): El análisis químico del aceite lubricante utilizado en los motores de los buses puede revelar la presencia de partículas metálicas, agua o contaminantes que indiquen un desgaste anormal. Esto ayuda a detectar problemas mecánicos antes de que causen fallas graves y permite programar el reemplazo o la filtración del aceite de manera preventiva.

- **Monitoreo de Vibraciones (Tecnología Mecánica):** El monitoreo de vibraciones se utiliza para evaluar la condición mecánica de componentes críticos, como motores, transmisiones y rodamientos. La detección de vibraciones anormales puede indicar desequilibrios, desalineaciones u otros problemas mecánicos que requieren atención antes de que se conviertan en fallas graves.
- **Inspección Visual (Tecnología Física):** Las inspecciones visuales periódicas de los buses pueden identificar problemas físicos evidentes, como desgaste de neumáticos, fugas de fluidos, grietas en estructuras o problemas eléctricos. Esta técnica es esencial para mantener los buses en buen estado y garantizar la seguridad de los pasajeros.
- **Sensores de Temperatura y Presión (Tecnología Física):** La instalación de sensores de temperatura y presión en componentes críticos, como frenos y sistemas de refrigeración, permite monitorear estas variables en tiempo real. Esto ayuda a detectar anomalías y prevenir problemas relacionados con el sobrecalentamiento o la presión inadecuada.
- **Análisis de Historial de Fallas (Tecnología Química y Mecánica):** El análisis de datos históricos de fallas y reparaciones en los buses proporciona información valiosa sobre los modos de falla más comunes y sus causas. Esto permite identificar patrones y tomar medidas preventivas específicas.
- **Mantenimiento Basado en Condición (Tecnología Química, Física y Mecánica):** La implementación de un enfoque de Mantenimiento Basado en Condición implica el uso de sensores y tecnologías que monitorean constantemente el estado de los equipos y sistemas. Esto incluye la medición de temperaturas, vibraciones, niveles de aceite, entre otros, para detectar signos tempranos de problemas.
- **Software de Gestión de Mantenimiento (Tecnología Informática):** El uso de software especializado permite gestionar eficientemente el mantenimiento preventivo y predictivo de la flota de buses. Ayuda a programar inspecciones y servicios en función de datos históricos y de condición.

En el presente trabajo se utiliza el análisis de los registros históricos de falla y su respectivo almacenamiento en el software de gestión de mantenimiento IBM Máximo que son las herramientas disponible con las que cuenta la Gerencia de

mantenimiento de Turbus y Cóndor, lo que en conjunto al análisis de las infracciones y de la percepción de los clientes permite enfocar los esfuerzos de la gerencia de mantenimiento a subir las métricas de los indicadores de gestión del plan de mantenimiento.

Para ello se construye una base de datos con el fin de determinar los componentes y sistemas que fallan con más frecuencia y aquellos que demoran más su respectiva reparación.

La base de datos se elabora a partir de los registros de todas las OT que se generaron en los diferentes talleres de red mantenimiento entre los meses de enero a junio de 2024, esto con el fin de dejar fuera del análisis las condiciones climáticas ya que se tienen novedades tanto en verano como en invierno. Además, se deja fuera del análisis el régimen operacional dado que en el periodo seleccionado están presentes las novedades levantadas tanto en los meses de enero y febrero donde la empresa mantiene un régimen de alta demanda dado que es la temporada estival y la gente acude en mayor medida a los servicios proporcionado por Cóndor. Esto trae como consecuencia directa que más buses entren en servicio y se requiera la mayor disponibilidad posible, a diferencia de los meses de marzo abril y mayo que implican una menor demanda. La estructura de la base de datos considera los puntos mostrados a continuación:

- Número de la orden de trabajo.
- Componente afectado según la Tabla 4.
- Comentario del levantamiento de novedades.
- Identificación de bus.
- Fecha y hora de apertura de la orden de trabajo.
- Fecha y hora de la clausura de la orden de trabajo.
- Taller en que se realizó la tarea de mantenimiento.

Además, se realiza un cruce de información que posibilita asociar los registros con la empresa y ruta de cada bus.

3.1 Análisis cuantitativo de mantenimientos preventivos

Para cubrir todas la intervenciones que restan disponibilidad a la flota Cóndor Corta distancia, es necesario estudiar los datos asociados a las intervenciones preventivas planificadas.

En el periodo estudiado entre enero y junio del año 2024 se ejecutaron un total de 88 pautas de mantenimiento dentro de la flota Cóndor Corta Distancia. El detalle de intervenciones se muestra en la Tabla 13, que describe el tipo de aplicada dependiendo del chasis, el tiempo promedio que se mantuvo el bus en alguno de los talleres de la red de mantenimiento y la cantidad de mantenimientos preventivos realizados.

Tabla 13: Cantidad y Duración promedio de mantenimientos preventivos

Tipo de pauta	Duración Promedio [h]	Cantidad de pautas realizadas
MP1	13,7	20
MP2	33,3	4
MP3	63,1	3
MP4	22,1	26
MP5	65,6	22
MP-L	11,7	1
MP-S	8,5	2
MPV2	15,6	4
MPV3	13,1	5
MPV4	11,7	1

A partir de la información de la Tabla 13, es posible determinar que no todos los buses de la flota Cóndor corta distancia pasaron por mantenimiento preventivo ya que según el detalle mostrado en la Tabla 2 la flota estudiada posee un total de 127 buses. Esto se condice con la definición de ejecutar las pautas de mantenimiento con una periodicidad de 60.000 [km], pero la flota Cóndor corta distancia recorre pocos kilómetros en relación a los buses pertenecientes a las flotas de larga distancia lo que trae como consecuencia que pase mucho tiempo entre un MP y otro.

En relación al tiempo de indisponibilidad, las intervenciones preventivas planificadas tienen un menor impacto que las fallas correctivas tanto por el tiempo de ejecución de las tareas como por el nivel de planificación, ya que, al estar en

coordinación con el área de operaciones, la ausencia de los buses programados por MP ya está considerada en la oferta diaria de servicios que ofrece la empresa.

De forma cuantitativa la indisponibilidad de los 88 ejecuciones de mantenimientos preventivos se traduce en un 1,2% del total de intervenciones de la flota. Por otra parte, en relación con el tiempo de ejecución, el total de MP representan un 3,4% del total de tiempo en taller de la flota Cóndor corta distancia.

Esto indica una baja efectividad del mantenimiento preventivo dada la proporción de ordenes de trabajo, por lo tanto, será un punto de análisis en las propuestas de mejora.

3.2 Análisis cuantitativo de mantenimientos correctivos

A partir de la base de datos fue posible obtener la cantidad de ordenes de trabajo clasificadas por sistema de acuerdo a la descripción de la Tabla 4. De igual modo al tener la diferencia entre la hora de ingreso y de salida de taller es posible obtener el tiempo de ejecución de las tareas de mantenimiento bajo el mismo criterio de la Tabla 4. La información de ocurrencia y duración de las OT se muestran en la Tabla 14 y Tabla 15, respectivamente.

Tabla 14. Cantidad de OT por sistema.

Sistema	Cantidad de OT por sistema		Total
	Corta Distancia	Larga Distancia	
Aire acondicionado	509	41	550
Calefacción	122	8	130
Carrocería	1850	278	2128
Motor central	1725	498	2223
Neumáticos	1369	223	1592
Sistema de dirección	210	30	240
Sistema de frenos	177	16	193
Sistema de transmisión	217	11	228
Sistema eléctrico	293	37	330
Sistema electrónico	742	80	822
Sistema mazas	42	11	53
Sistema neumático [aire]	164	9	173
Sistema refrigeración	40	10	50
Sistema suspensión	105	9	114
Total, general	7565	1261	8826

En la Tabla 14 se muestra la cantidad de OT por cada uno de los sistemas afectados y separados por ruta. Destacado en amarillo se encuentran todos los datos que están por encima del promedio, lo que indica que las novedades por los sistemas de carrocería, motor central, neumáticos y sistema eléctrico son los sistemas que presentan fallas con mayor repetitividad a lo largo del periodo estudiado.

En relación con el tiempo de duración promedio por sistema se muestra la Tabla 15 que se obtiene a partir de la diferencia entre la hora en que la OT queda en estado CLOSE y el momento en que se inicia el estado APRR, es decir, todo el tiempo que la maquina estuvo en taller que es diferente al tiempo que efectivamente se ejecutan las tareas de mantenimiento, intervalo que no es posible obtener en todos los casos por falta de adherencia al protocolo de llenado y cambios de estado dentro de la orden de trabajo. Cabe destacar que los datos se encuentran bajo la misma categorización que en la Tabla 15.

Tabla 15. Duración promedio atención por sistema afectado.

Sistema	Duración Promedio de fallas por sistema [h]		Total, Cóndor [h]
	Corta Distancia	Larga Distancia	
Aire acondicionado	30,89	16,80	29,84
Calefacción	40,95	28,69	40,19
Carrocería	33,38	26,99	32,55
Motor central	40,94	23,20	36,97
Neumáticos	29,22	11,71	26,77
Sistema de dirección	44,11	29,33	42,26
Sistema de frenos	36,04	20,27	34,73
Sistema de transmisión	63,03	36,10	61,73
Sistema eléctrico	16,70	13,85	16,38
Sistema electrónico	24,00	48,45	26,38
Sistema mazas	73,69	7,97	60,05
Sistema neumático [aire]	31,20	5,01	29,84
Sistema refrigeración	38,68	82,02	47,35
Sistema suspensión	25,05	50,38	27,05

Al igual que en la Tabla 14, se destacan los sistemas que presentan una mayor duración promedio en el tiempo de reparación. Para seleccionar los sistemas que tienen un mayor impacto en la indisponibilidad se utilizarán 2 criterios.

En primera instancia se realiza una jerarquización de los sistemas del bus que presentan un mayor número de intervenciones mediante el análisis de Pareto. Luego para considerar el tiempo de reparación y la cantidad de ingresos de forma conjunta, se utiliza el método de las gráficas de Jack-Knife (sección 1.2.2).

Para la utilización del análisis de Pareto se obtiene el tiempo de reparación total por cada sistema del bus, a partir de la sumatoria individual de cada tiempo de duración por OT. La información se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16. Tiempo total de reparación por cada sistema y su respectivo porcentaje total y acumulado.

Sistema	Tiempo total de reparación [h]	% tiempo total	% acumulado
Carrocería	283.687,5	29%	29%
Motor central	229.799,0	24%	53%
Neumáticos	165.385,5	17%	70%
Sistema electrónico	59.457,8	6%	77%
Aire acondicionado	45.626,3	5%	81%
Sistema eléctrico	41.190,3	4%	86%
Sistema de transmisión	39.325,3	4%	90%
Sistema de dirección	21.799,4	2%	92%
Sistema de frenos	20.038,1	2%	94%
Sistema neumático [aire]	18.868,8	2%	96%
Calefacción	13.277,4	1%	97%
Sistema suspensión	10.553,2	1%	98%
Sistema mazas	7.701,2	1%	99%
Sistema refrigeración	6.820,1	1%	100%

A partir de la información ordenada en la Tabla 16 es posible obtener el diagrama de Pareto del tiempo total fuera de servicio por sistema mostrado en la Figura 10, el cual identificara los sistemas que presentan un mayor tiempo de indisponibilidad, es decir, los sistemas que tiene una menor reparabilidad, información que será útil para buscar herramientas, técnicas o recursos que permitan mejorar los tiempos de respuesta por parte del taller ante los reportes de falla asociados a los sistemas destacados.

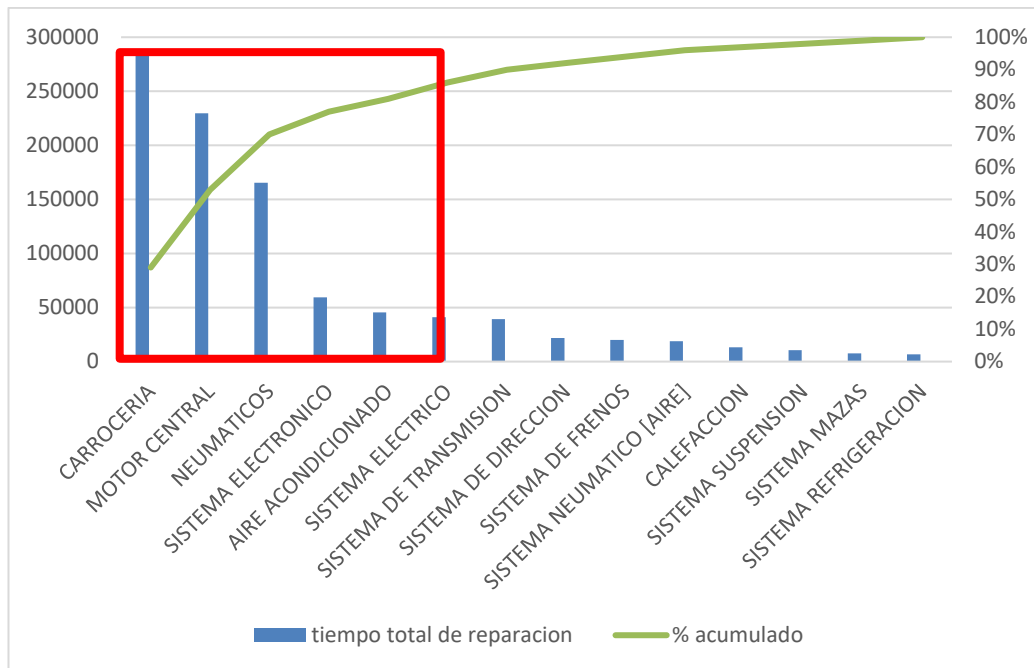


Figura 10. Gráfico de Pareto relación sistema afectado vs horas de indisponibilidad

La Figura 10 indica que los sistemas que mantienen por más tiempo fuera de funcionamiento los buses de la flota Córdor corta distancia fuera de funcionamiento son:

- Carrocería
- Motor central
- Neumáticos
- Sistema electrónico
- Aire acondicionado

Lo que se condice en los establecido en los reclamos de pasajeros mostrados en la Figura 1.

El segundo método de análisis para identificar los sistemas que tienen un mayor impacto a la gestión de mantenimiento ante un evento de falla es el grafico Jack-Knife, el cual relaciona el tiempo promedio de reparación (MTTR) y el número de fallas dentro del periodo estudiado. Para realizar el diagrama es necesario obtener la métrica del MTTR de cada sistema al dividir el tiempo total en taller entre la cantidad de fallas reportadas por sistemas, a su vez es necesario obtener los límites que delimitaran los 4 cuadrantes del diagrama, para ello primero se obtiene el límite

del MTTR en el eje de las ordenadas por medio de la división entre el tiempo total de detención sobre el número total de fallas, por otro lado se obtiene el límite en el eje de las abscisas mediante la división entre el número total de fallas entre la cantidad de sistemas. La información se presenta en la Tabla 17.

Tabla 17. Número de fallas por sistema y su respectivo MTTR.

ID sistema	Sistema	N° fallas[u]	Tiempo total de reparación [h]	MTTR [h]
20	Carrocería	1850	283687,5	153,3
25	Motor central	1769	229798,9	129,9
30	Neumáticos	1369	165385,5	120,8
55	Sistema electrónico	742	59457,8	80,1
10	Aire acondicionado	509	45626,2	89,6
50	Sistema eléctrico	293	41190,3	140,6
40	Sistema de transmisión	217	39325,3	181,2
45	Sistema de dirección	210	21799,3	103,8
60	Sistema de frenos	177	20038,1	113,2
70	Sistema neumático [aire]	164	18868,7	115,1
15	Calefacción	122	13277,4	108,8
35	Sistema suspensión	105	10553,2	100,5
65	Sistema mazas	42	7701,2	183,4
75	Sistema refrigeración	40	6820,1	170,5

Con la información de la Tabla 16 es posible construir el gráfico de Jack-Knife. Mostrado en la Figura 11.

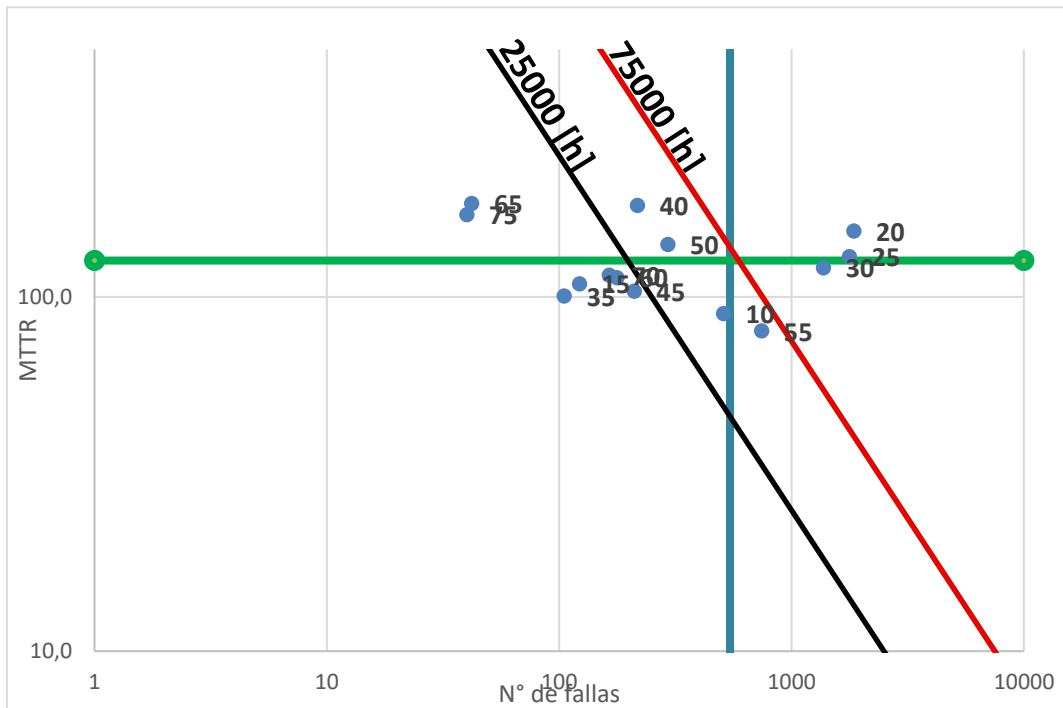


Figura 11. Gráfico Jack Knife que relaciona el tiempo medio de reparación y la cantidad de fallas por cada sistema

A partir de la Figura 11 es posible apreciar que los sistemas carrocería (20), motor (25) y neumáticos (30) se encuentran ubicados en el cuadrante agudo y crónico por lo tanto representan la mayor oportunidad de mejora y concuerdan con el análisis de Pareto. Además, se muestran 2 rectas de iso-indisponibilidad que indican que todo lo que está por sobre la línea roja genera más de 75.000 horas de indisponibilidad dentro de la flota. A su vez lo que está por sobre la línea negra indica que genera más de 25000 horas de indisponibilidad. Por lo tanto, a partir de ese análisis es posible indicar que los sistemas de transmisión (40), sistema eléctrico (50), aire acondicionado (10) y sistema electrónico (55) que se encuentran en la franja entre las dos rectas de iso-indisponibilidad poseen efectos similares entre sí, aunque no estén en los mismos cuadrantes, lo que indica que también tienen una oportunidad de mejora significativa.

Siguiendo la lógica utilizada para la construcción de los diagramas de Pareto y Jack-Knife, sería posible analizar las fallas en detalle de cada sistema, sin embargo, la información proporcionada por la empresa no es adecuada. En primer lugar, los

registros de las tareas de mantenimiento son de campo abierto a modo de comentario, lo que genera ambigüedad y una falta de estandarización en el registro, lo que impide un análisis estadístico, por otra parte, la categorización del sistema mostrado en la OT es definido por el personal del CCD, el cual no tiene una formación académica en mecánica de buses, además por desconocimiento solo por el hecho de reducir la carga administrativa, los supervisores no corrigen la información en el proceso de cierre de la OT. En relación con este punto se hace necesario contar con un árbol de falla más detallado y mayor nivel de cultura organizacional dentro de la empresa que vaya enfocado en la retroalimentación de información. En consecuencia, esta modalidad de registro impide que se pueda analizar de forma precisa y estructurada las fallas en un nivel taxonómico inferior como lo son los subsistemas y componentes (SAE International, 2016).

La empresa Cóndor cuenta con recursos limitados y deben estar bajo la política presupuestaria que impone el grupo de empresas GTP, es por ello que se deben seleccionar los sistemas que realmente se consideren un riesgo latente para la empresa con el fin de garantizar que las propuestas de cambio y mejoras al plan de mantenimiento que entregara este trabajo sean eficaces.

Para administrar dicho riesgo existe la metodología de análisis mencionada a lo largo de este documento llamada análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC), para realización del análisis se consideró la visión de los jefes de mantenimiento del taller de Santiago con el fin de aportar desde su experiencia y expertiz la información necesaria para definir las funcionalidades de los sistemas más críticos, su respectivas fallas funcionales y modos de falla para posteriormente identificar los efectos y consecuencias que traen consigo dichas fallas. Esto condicionado por la falta de información disponible.

El primer sistema considerado en este estudio es el sistema Motor Central (25), el cual constituye un componente esencial para el funcionamiento del bus ya que es el elemento que entrega la potencia que posibilita su movimiento y, por lo tanto, será incluido en el estudio AMFEC.

El segundo sistema que se debe estudiar son los neumáticos (30), que, por las condiciones de operación de los activos estudiados, se ven afectados

significativamente por las características de las rutas que recorren, principalmente asociadas a daños o perforaciones. Por otra parte, para dar cumplimiento legal a lo establecido en el Decreto Supremo N°212/1992 del ministerio de transportes y telecomunicaciones que indica que el surco mínimo para circular es de 2,0 mm, Turbus y Cóndor poseen un sistema de monitoreo llamado Hive Tire que permite dar seguimiento a los neumáticos. Según la política de las empresas un bus no puede pasar de los 15 días sin una inspección de neumáticos y al llegar a 3,0 mm de profundidad o bien el neumático presenta alguna deformación, el componente debe ser cambiado inmediatamente por lo que el sistema neumáticos (30) ya recibe un mantenimiento bastante robusto y el tiempo de detención que se evidencia a lo largo del estudio es principalmente en los horarios valle de los recorridos que efectúan los buses y por lo tanto quedara fuera del AMFEC.

El siguiente sistema por estudiar es el sistema electrónico (55) que según la definición agrupa todos los paneles, sensores, luces y componentes que permiten el correcto funcionamiento del bus, como por ejemplo las luces principales y de salón, los módulos de control y paneles informativos. Además, se integra a este análisis el sistema eléctrico ya que es el que tiene las funciones de conexión entre las partes del sistema electrónico así que se considerara como uno solo y dadas las características del sistema y el nivel de riesgo que puede generar en caso de falla es pertinente incluirlo dentro del análisis AMFEC.

El aire acondicionado (10) será otro sistema para analizar por el método AMFEC dado la importancia que tiene en la experiencia del pasajero y el nivel de servicio percibido por el cliente, lo cual se evidencia en la Figura 1 donde se observa este sistema mantiene cerca del 10% del total de reclamos, por lo tanto, debe ser incluido en el AMFEC.

El sistema de transmisión (40) es otro punto fundamental para el movimiento del bus y una falla en este sistema es un hecho que será una panee en ruta Tipo 1, lo que implica la activación de asistencia mediante grúa además de que tendrá tiempos de reparación y costos elevados, por lo tanto, este sistema también debe ser incluido en el estudio por medio del AMFEC.

Por último, está el sistema carrocería (20) que evidentemente es el que genera mayores efectos en la operación de la empresa Cónдор según los resultados arrojados en los análisis de Pareto y Jack Knife, pero dicho sistema al igual que los neumáticos se ve afectado de sobremanera por las circunstancias de trabajo del activo, es decir, por las eventualidades de la ruta como por ejemplo voladura de escotillas por algún impacto, abollones por colisión, rotura de fibra en parachoques, o bien por algún mal uso por parte de los pasajeros lo que trae fallas en la carrocería interior como pueden ser la rotura de asientos o fallas en la inclinación que por lo visto en la Tabla Anexo A 1 son fallas diferibles según la gravedad, pero existen fallas que no son diferibles como las que afectan a los espejos retrovisores, componentes del baño o daño en vidrios y ventanas, para estos sistemas se incurre en la utilización de repuestos de respaldo y de externalización de los trabajos de vidrios o ventanas mediante un proveedor que mantiene un equipo exclusivo dentro del taller principal para el reemplazo de ventanas por lo que ese punto debe quedar fuera de análisis. Además, es importante destacar que dentro de los tiempos estudiados de las fallas del sistema carrocería existen incidentes mayores que mantienen por un largo tiempo las máquinas detenidas, un ejemplo de ello es la unidad 2665 que por un incidente mayor estuvo fuera de operación por alrededor de 6 meses. Es por ello, que se analizaran las novedades que pueden ser abordadas por el plan de mantenimiento y que pueden ser analizables mediante el AMFEC.

El resto de los sistemas mostrados en la Figura 11 se consideran de un menor impacto en la operación de la flota Cónдор, esto se debe a que presentan una baja frecuencia de falla y un bajo tiempo medio de reparación en comparación a los sistemas que serán parte del AMFEC. Dichas métricas indican que las problemáticas presentadas pueden ser abordadas con mantenimiento genérico (Aguilar-Otero et al., 2010).

3.3 Análisis de modos de falla y jerarquización de efectos

Previo a la utilización de la herramienta AMFEC es importante destacar que el 91% de la flota de la empresa Cónдор en sus rutas de corta distancia son de la marca Mercedes Benz con carrocería Modasa modelo Zeus 2. Por lo tanto, se tomará como referente técnico para el análisis con el objetivo de estandarizar los datos y dejar

fuera del estudio las variables asociadas la marca de chasis y la política de mantenimiento a la que están sometidos los buses de otro fabricante.

Como se establece en la sección 3.2 la empresa no cuenta con un método de registro que permita ver las causas de las fallas categorizadas por sistema, de acuerdo a esta limitante se solicita ayuda a los jefes de mantenimiento y supervisores del área de Diagnostico 1 y 2, que cuentan con una vasta trayectoria en la empresa Cóndor y otras similares dentro del rubro de los buses interurbanos. Para el desarrollo del análisis se genera la instancia para la revisión de los datos y a partir de su experiencia y conocimiento establecer como fallan los sistemas detectados como críticos en relación a la cantidad de fallas y su respectivo tiempo de reparación.

Para la presentación de los diferentes sistemas se tomará el modelo propuesto por Aguilar-Otero, Torres-Arcique, & Magaña-Jiménez en el trabajo *introdutorio “Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad”*, ya que posee una estructura clara y un orden que deja en evidencia la utilidad del método de análisis (Aguilar-Otero et al., 2010).

El primer paso es el análisis funcional, el cual permite establecer la tarea principal de los sistemas estudiados para posteriormente definir los escenarios en los que se deja de cumplir dicha tarea, ya sea de forma parcial o total. En la Tabla 18 se presentan la funciones principales de cada sistema a estudiar y sus respectivas fallas funcionales.

Tabla 18. Funcionalidad y fallas funcionales de sistemas seleccionados.

Sistema	Función	Falla funcional	
Motor central	Convertir energía química en potencia mecánica continua (360CV) que permita desplazar el bus, bajo los límites térmicos (<95°C) y de emisiones establecido en la norma euro 3 (<0,5 g/km de Nox)	1.1	Motor no enciende
		1.2	El motor no entrega la potencia nominal (360 CV) requerida en condiciones de carga.
		1.3	Motor no cumple la normativa de emisión de gases
		1.4	El motor se sobrecalienta al operar por encima de 105 °C durante más de 2 minutos.
Sistema electrónico	Garantizar la alimentación eléctrica, control y monitoreo de condiciones del bus, suministrando energía y conexión de forma segura entre los subsistemas del bus.	2.1	Pérdida total o parcial de comunicación entre unidades de control (CAN BUS).
		2.2	Monitoreo erróneo por corte eléctrico en líneas de conexión
		2.3	Variación de parámetros de voltaje que provoca apagado de sistemas o mediciones erróneas
		2.4	luces de operación o señalización no encienden
Aire acondicionado	Mantener el ambiente interior del bus entre 20–25 °C para confort del pasajero mediante la regulación de la temperatura mediante la recirculación de refrigerante	3.1	El sistema no logra mantener interior en los rangos de funcionamiento óptimo (temperatura interior supera los 30 °C).
		3.2	Ciclo de refrigeración incompleto por compresor/evaporador con funcionamiento nulo o parcial
		3.3	Deficiencia en la ventilación y/o distribución de aire enfriado
Sistema de transmisión	Transmitir la potencia del motor al tren motriz con suavidad, eficiencia y dentro de los parámetros de operación (<90C)	4.1	Pérdida total o parcial en la transmisión de par motor hacia ruedas motrices
		4.2	Cambio de marcha con golpe o retraso
		4.3	Temperatura de aceite de caja o retardador fuera de rango// Sobrecalentamiento
Sistema de carrocería	Proporcionar una estructura resistente para proteger a los pasajeros y tripulación. Además de mantener condiciones adecuadas de confort y aislamiento.	5.1	Perdida en aislamiento térmico o acústico
		5.2	Aflojamiento o falla de sujeción de componentes externos e internos de carrocería
		5.3	Filtración de agua al interior de salón o cabina

		5.4	Mal funcionamiento en elementos de baño para pasajeros como bombas de agua o sistema de descarga
--	--	-----	--

A partir de las funciones definidas para cada sistema y sus respectivas fallas funcionales es posible elaborar un listado de modos de falla, que se definen como el evento único que provoca que el activo pierda la capacidad de desempeñar su función o, en otras palabras, la forma en que se evidencia la falla, sin hondar en las causas raíz (SAE,1999). Dentro de la lista de modos de falla hay que considerar los modos que han ocurrido de forma histórica, los modos de falla que estén siendo prevenidos por parte del plan de mantenimiento y los modos de falla que no hayan ocurrido pero que es probable su ocurrencia (Aguilar-Otero et al., 2010). En la Tabla 19 se muestran los modos de falla para cada falla funcional.

Tabla 19. Modos de falla de cada falla funcional.

Falla funcional		Modo de falla	
1.1	Motor no enciende	1.1.1	Motor de partida sin potencia
		1.1.2	Motor bloqueado o trabado
		1.1.3	Baja presión de combustible en líneas de alimentación
		1.1.4	Unidad de control electrónico (ECU) no envía señal con los parámetros de arranque
1.2	El motor no entrega la potencia nominal (360 CV) requerida en condiciones de carga.	1.2.5	Sistema de filtros obstruidos
		1.2.6	Turboalimentado trabado
		1.2.7	Sistema de inyección con baja presión o regulación incorrecta por modulo ECU
		1.2.8	Baja compresión en cilindros de motor
		1.2.9	Perdida de compresión por válvulas o culatas
		1.2.10	Bloqueo en sistema de escape de gases
		1.2.11	Sensores de posición de cigüeñal (CKP) o árbol de levas (CMP) con lectura errónea
		1.2.12	Distribución desincronizada por lectura errónea de sensores MAP o MAF
1.3		1.3.13	Alza de presión en líneas de combustible

	Motor no cumple la normativa de emisión de gases	1.3.14	Emisión de humo azul por quema de aceite en cámara de combustión.
		1.3.15	Sistema DPF (filtro de partículas) obstruido o defectuoso
		1.3.16	Alerta en tablero por en sistema de recirculación de gases (EGR)
1.4	El motor se sobrecalienta al operar por encima de 105 °C durante más de 2 minutos.	1.4.17	Bajo nivel o fuga de refrigerante
		1.4.18	Termostato atascado
		1.4.19	Obstrucción interna de enfriadores (refrigerante o aceite)
		1.4.20	No activa electroventilador de motor
		1.4.21	Caudal de refrigerante proporcionada por bomba de agua es insuficiente
2.1	Pérdida total o parcial de comunicación entre unidades de control (CAN BUS).	2.1.22	Cable cortado o expuesto al chasis impidiendo conexión
		2.1.23	Perdida de alimentación en algún modulo
		2.1.24	Conectores sueltos o sulfatados
2.2	Monitoreo erróneo por corte eléctrico en líneas de conexión	2.2.25	Cortocircuito intermitente o total
2.3	Variación de parámetros de voltaje que provoca apagado de sistemas o mediciones erróneas	2.3.26	Alternador no gira o gira de forma parcial entregando parámetros de voltaje alterados
2.4	Luces de operación o señalización no encienden	2.4.27	Ampolletas quemadas
		2.4.28	Contactos o pines sulfatados
		2.4.29	Cables cortados
		2.4.30	Fusible o relé en corte impidiendo conexión
3.1	El sistema no logra mantener interior en los rangos de funcionamiento óptimo (temperatura interior supera los 30 °C).	3.1.31	Fuga de refrigerante por cañerías o conexiones
		3.1.32	Sensor de temperatura con lectura errónea
		3.1.33	Condensador sucio
		3.1.34	Evaporador o válvula de expansión bloqueada
		3.1.35	Ventilador del sistema sin movimiento

3.2	Ciclo de refrigeración incompleto por compresor/evaporador con funcionamiento nulo o parcial	3.2.36	Compresor de aire acondicionado no acopla
		3.2.37	Compresor no trabaja por bloqueo en funcionamiento
3.3	Deficiencia en la ventilación y/o distribución de aire enfriado	3.3.38	Difusores bloqueados
4.1	Pérdida total o parcial en la transmisión de par motor hacia ruedas motrices	4.1.39	Ruedas dentadas con dientes dañados
		4.1.40	Rotura o desgaste de componentes de kit de embrague
		4.1.41	Cardan fracturado o juntas cardánicas con juego excesivo
		4.1.42	Bomba de aceite de transmisión con bajo caudal
4.2	Cambio de marcha con golpe o retraso	4.2.43	Nivel de aceite de caja bajo
		4.2.44	Válvulas controladoras de marchas obstruidas
4.3	Temperatura de aceite de caja o retardador fuera de rango// Sobrecalentamiento	4.3.45	Aceite degradado
		4.3.46	Enfriador de aceite obstruido
5.1	Pérdida en aislamiento térmico o acústico	5.1.47	Filtración de aire y ruido por juntas estructurales
		5.1.48	Sonidos de motor elevados en salón de pasajeros
		5.1.49	Descuadre en cierre de puertas o portalones
5.2	Aflojamiento o falla de sujeción de componentes externos e internos de carrocería	5.2.50	Fijación de componentes (Asientos, molduras, pasamanos, paneles, etc.) mal instaladas o sueltas
		5.2.51	Asientos sin inclinación o con un rango menor de inclinación
		5.2.52	Rotura de fijaciones o soportes de piezas o estructuras
5.3	Filtración de agua al interior de salón o cabina	5.3.53	Presencia de agua en puertas o ventanas
		5.3.54	Fisuras en carrocería exterior

		5.3.55	Presencia de agua en juntas de techo de salón de pasajeros o cabina de conductores
		5.3.56	Presencia de agua en ubicación de conexión de luces exteriores
5.4	Mal funcionamiento en elementos de baño para pasajeros como bombas de agua o sistema de descarga	5.3.57	Bomba de agua sin caudal para descarga de agua
		5.3.58	Rotura de componentes (grifería, tapas pestillo, etc.)
		5.3.59	Estanque o líneas de conexión fisuradas u obstruidas

Con la identificación de los modos de falla para cada una de las fallas funcionales dentro de los sistemas seleccionados, es posible definir sus respectivos efectos de falla, que según la norma IEC 60812:2018 se define como la manifestación observable de la falla en la operación del bus, ya sea mediante alertas electrónicas con las que cuente la máquina como por ejemplo la variación de algún parámetro de desempeño o la evidencia de alguna alerta como la lectura de algún código de falla en el tablero de instrumentos. El otro tipo de alertas que puede evidenciar la falla son los síntomas perceptibles por el conductor pero que no necesariamente están asociados a algún sensor como lo son los ruidos, vibraciones inusuales, fuga de fluidos o una falla de algún sistema que trabaje de forma colaborativa.

En relación con las consecuencias de la falla indican los impactos a nivel organizacional que genera la falla del activo. Para el caso de la empresa Cóndor hace referencia a las consecuencias inmediatas como por ejemplo en la activación de los protocolos de atención en ruta, la activación de proveedores externos del servicio de grúa para el traslado de los buses detenidos cuando no es posible realizar la reparación en la vía, también considera los aspectos económicos de la reparación, como lo son los repuestos, mano de obra y herramientas utilizadas. Por otra parte, también se consideran las consecuencias operacionales como lo son las pérdidas de disponibilidad del bus durante el tiempo que tome llevar a cabo la reparación.

Los efectos y consecuencias de falla para cada modo de falla están en la Tabla Anexo A 2.

Según los parámetros establecidos por la norma SAE JA1011 donde se indica que las consecuencias de los modos de falla deben ser categorizados con el fin de establecer una prioridad ante las implicancias que tiene cada modo de falla en específico, para luego así focalizar los esfuerzos en solucionar aquellos que tengan consecuencias mayores para la empresa ya sea en el nivel de servicio que se entrega, rendimiento, seguridad y/o costos. Si bien la norma no hace referencia a alguna tabla que determine la criticidad si establece los criterios fundamentales para evaluar y clasificar los modos de falla.

El primer criterio hace referencia a las consecuencias que la falla pueda generar en la seguridad y objetivos del negocio, en el caso particular de la empresa Cándor hace referencia a la seguridad de los pasajeros y tripulación, además de los gastos en repuestos, mano de obra o herramientas para llevar a cabo la reparación.

El segundo criterio hace referencia a las consecuencias operacionales directas ya sea cuando un sistema pierda su funcionalidad de forma total, lo que a su vez, trae consecuencias indirectas como lo son la pérdida en la operación del activo, lo que implica que existirán consecuencias económicas. Para clasificar de forma cuantitativa las consecuencias de los modos de falla se utiliza la metodología directa del AMFEC llamada Número de Prioridad de Riesgo (NPR), esta metodología considera tres factores para el análisis de la criticidad, primer es la severidad (S) la cual mide el impacto de la falla, donde considera el impacto que tiene el modo de falla.

El siguiente parámetro es la ocurrencia (O) que hace referencia a la frecuencia con la que es posible que ocurra cada modo de falla. El ultimo es el factor de Detección (D) que se define como la capacidad que se tiene para la detección de la falla previa a la pérdida la funcionalidad (Defense Acquisition University, 2006). Si bien la literatura indica una valoración de entre 1 y 10, esta clasificación está enfocada en sistemas que cuentan con un grado de diferenciación superior y poseen las herramientas técnicas para realizar la medición. Como se menciona a lo largo del documento, las empresas Turbus y Cándor no tienen un sistema de registro que permita asignar ese nivel de especificación a los modos de falla. Por lo tanto, para el caso de las empresas GTP los criterios se aplican de forma cualitativa a partir de

la experiencia de los jefes de mantenimiento y supervisores, es por ello que se adopta una escala simplificada que solo cuenta con una escala de uno a cinco para cada criterio. La definición y puntuación de cada categoría es establecida en conjunto con el equipo de mantenimiento considerando su expertiz.

En la Tabla 20,

Tabla 21 y Tabla 22 se muestran las escalas para cada uno de los factores de Severidad, Ocurrencia y Detección.

Tabla 20. Clasificación de factores de Severidad de falla. Fuente: Elaboración propia.

Valor	Descripción	Criterio orientativo
1	Sin impacto operativo relevante	Reparación en menos de 1 día, costos menores a los \$200.000.
2	Impacto operativo bajo	Reparación entre 1–2 días, costos entre los \$200.000 y \$500.000.
3	Impacto operativo moderado	Reparación entre 3–4 días, costos entre los \$500.000 y \$1.500.000.
4	Impacto operativo alto	Reparación de 5 días o más y/o costos entre los \$1.500.000 y \$3.000.000.
5	Impacto operativo crítico	Reparación prolongada (más de 7 días), costos mayores a los \$3.000.000.

Tabla 21. Clasificación de factores de Ocurrencia. Fuente: Elaboración propia.

Valor	Descripción	Criterio orientativo
1	Muy poco probable	La falla nunca ha ocurrido en la flota.
2	Poco probable	Puede ocurrir una vez al año.
3	Ocasional	Puede ocurrir una vez al mes.
4	Frecuente	Puede ocurrir una vez a la semana.
5	Muy frecuente	Ocorre varias veces a la semana o de forma continua.

Tabla 22. Clasificación de factores de Detección de falla. Fuente: Elaboración propia.

Valor	Descripción	Criterios
1	Muy fácil de detectar	Se identifica claramente con inspección rutinaria.

2	Fácil de detectar	Requiere inspección específica, pero el hallazgo es confiable.
3	Detección moderada	Puede detectarse mediante pruebas técnicas o monitoreo especializado.
4	Difícil de detectar	La falla solo se identifica cuando el componente ya está próximo a fallar.
5	Muy difícil de detectar	No existen mecanismos efectivos de detección hasta que la falla ocurre.

Luego de clasificar cada consecuencia de los modos de falla de acuerdo con los factores de severidad, ocurrencia y detección, es necesario priorizarlos con el fin de identificar aquellos modos de falla que poseen un mayor nivel de riesgo a la operación de la flota Cónдор. Para ello es necesario calcular el índice NPR que se define como el producto de los tres factores:

$$NPR = Severidad (S) * Ocurrencia (O) * Detección(D)$$

El índice obtenido permite generar una jerarquía para orientar las propuestas de mejora hacia los modos de falla que presenten un mayor índice.

A continuación, se muestra la Tabla 23 falla que indica todos los modos de falla según la clasificación de acuerdo con los tres factores y su respectivo NPR. Cabe destacar que dicha clasificación no solo se hizo de acuerdo al análisis técnico, sino que también se realizó en conjunto con la expertiz y criterio de los jefes de mantenimiento del taller central de Turbus, lo que aporte mayor validez y realismo a los resultados.

Tabla 23 Índice NPR para cada modo de falla.

Modo de falla	Modo de falla	Severidad (S)	Ocurrencia (O)	Detección (D)	NPR
1.1.1	Motor de partida sin potencia	2	4	3	24
1.1.2	Motor bloqueado o trabado sin posibilidad de girar	5	3	4	60
1.1.3	Baja presión de combustible en líneas de alimentación	3	3	4	36
1.1.4	Unidad de control electrónico (ECU) no envía señal con los parámetros de arranque	2	2	4	16
1.2.5	Sistema de filtros obstruidos	2	3	2	12
1.2.6	Turboalimentado trabado	4	3	4	48

1.2.7	Sistema de inyección con baja presión o regulación incorrecta por modulo ECU	3	2	2	12
1.2.8	Baja compresión en cilindros de motor	5	3	4	60
1.2.9	Perdida de compresión por válvulas o culatas	4	3	4	48
1.2.10	Bloqueo en sistema de escape de gases	3	2	3	18
1.2.11	Sensores de posición de cigüeñal (CKP) o árbol de levas (CMP) con lectura errónea	2	2	3	12
1.2.12	Distribución desincronizada por lectura errónea de sensores MAP o MAF	3	2	2	12
1.3.13	Alza de presión en líneas de combustible	2	2	2	8
1.3.14	Emisión de humo azul por quema de aceite en cámara de combustión.	3	1	2	6
1.3.15	Sistema DPF (filtro de partículas) obstruido o defectuoso	3	3	3	27
1.3.16	Alerta en tablero por el sistema de recirculación de gases (EGR)	3	3	3	27
1.4.17	Bajo nivel o fuga de refrigerante	4	4	2	32
1.4.18	Termostato atascado	2	2	2	8
1.4.19	Obstrucción interna de enfriadores (refrigerante o aceite)	3	3	2	18
1.4.20	No activa electroventilador de motor	2	3	2	12
1.4.21	Caudal de refrigerante proporcionada por bomba de agua es insuficiente	2	2	2	8
2.1.22	Cable cortado o expuesto al chasis impidiendo conexión	4	3	4	48
2.1.23	Perdida de alimentación en algún modulo	2	2	2	8
2.1.24	Conectores sueltos o sulfatados	3	2	3	18
2.2.25	Cortocircuito intermitente o total	2	3	2	12
2.3.26	Alternador no gira o gira de forma parcial entregando parámetros de voltaje alterados	2	2	2	8

2.4.27	Ampolletas quemadas	3	1	5	15
2.4.28	Contactos o pines sulfatados	1	2	2	4
2.4.29	Cables cortados	2	3	2	12
2.4.30	Fusible o relé en corte impidiendo conexión	1	3	2	6
3.1.31	Fuga de refrigerante por cañerías o conexiones	3	4	4	48
3.1.32	Sensor de temperatura con lectura errónea	3	2	4	24
3.1.33	Condensador sucio	1	3	3	9
3.1.34	Evaporador o válvula de expansión bloqueada	3	3	2	18
3.1.35	Ventilador del sistema sin movimiento	2	2	2	8
3.2.36	Compresor de aire acondicionado no acopla	3	3	4	36
3.2.37	Compresor no trabaja por bloqueo en funcionamiento	3	3	4	36
3.3.38	Difusores bloqueados	2	4	3	24
4.1.39	Ruedas dentadas con dientes dañados	3	2	2	12
4.1.40	Rotura o desgaste de componentes de kit de embrague	3	3	4	36
4.1.41	Cardan fracturado o juntas cardánicas con juego excesivo	3	2	2	12
4.1.42	Bomba de aceite de transmisión con bajo caudal	2	2	2	8
4.2.43	Nivel de aceite de caja bajo	3	3	2	18
4.2.44	Válvulas controladoras de marchas obstruidas	2	2	2	8
4.3.45	Aceite degradado	3	4	2	24
4.3.46	Enfriador de aceite obstruido	4	2	4	32
5.1.47	Filtración de aire y ruido por juntas estructurales	3	3	2	18
5.1.48	Sonidos de motor elevados en salón de pasajeros	3	2	1	6
5.1.49	Descuadre en cierre de puertas o portalones	2	2	1	4
5.2.50	Fijación de componentes (Asientos, molduras, pasamanos, paneles, etc.) mal instaladas o sueltas	4	3	3	36
5.2.51	Asientos sin inclinación o con un rango menor de inclinación	1	3	1	3

5.2.52	Rotura de fijaciones o soportes de piezas o estructuras	2	3	2	12
5.3.53	Presencia de agua en puertas o ventas	2	2	1	4
5.3.54	Fisuras en carrocería exterior	3	2	2	12
5.3.55	Presencia de agua en juntas de techo de salón de pasajeros o cabina de conductores	3	3	3	27
5.3.56	Presencia de agua en ubicación de conexión de luces exteriores	1	1	2	2
5.3.57	Bomba de agua sin caudal para descarga de agua	3	2	2	12
5.3.58	Rotura de componentes (grifería, tapas pestillo, etc.)	2	2	3	12
5.3.59	Estanque o líneas de conexión fisuradas u obstruidas	3	2	2	12

Por medio del índice NPR es posible identificar los modos de falla más críticos y los que afectan significativamente la operación de la empresa Cónдор y sus rutas de corta distancia.

Con esa información es posible continuar con la metodología AMFEC dado que el siguiente paso es el desarrollo de las estrategias de mantenimiento para abordar cada modo de falla crítico, para ello se recomendarán tareas de mantenimiento con un nivel de detalle más específico en los sistemas detectados, nuevas pautas de mantenimiento en sistemas específicos, cambios dentro de las políticas de mantenimientos preventivos y cambios en la estructura de llenado de las órdenes de trabajo lo que permitirá alcanzar un nivel mayor de detalle tanto en la descripción de las fallas como en reparaciones realizadas.

Para la priorización de los modos de falla se utiliza la misma técnica que fue utilizada anteriormente para seleccionar los sistemas que mantienen un mayor nivel de impacto, es decir, por medio del análisis de Pareto. Para ello se ordenan los diferentes modos de falla de mayor a menor y se grafican como muestra la Figura 12.

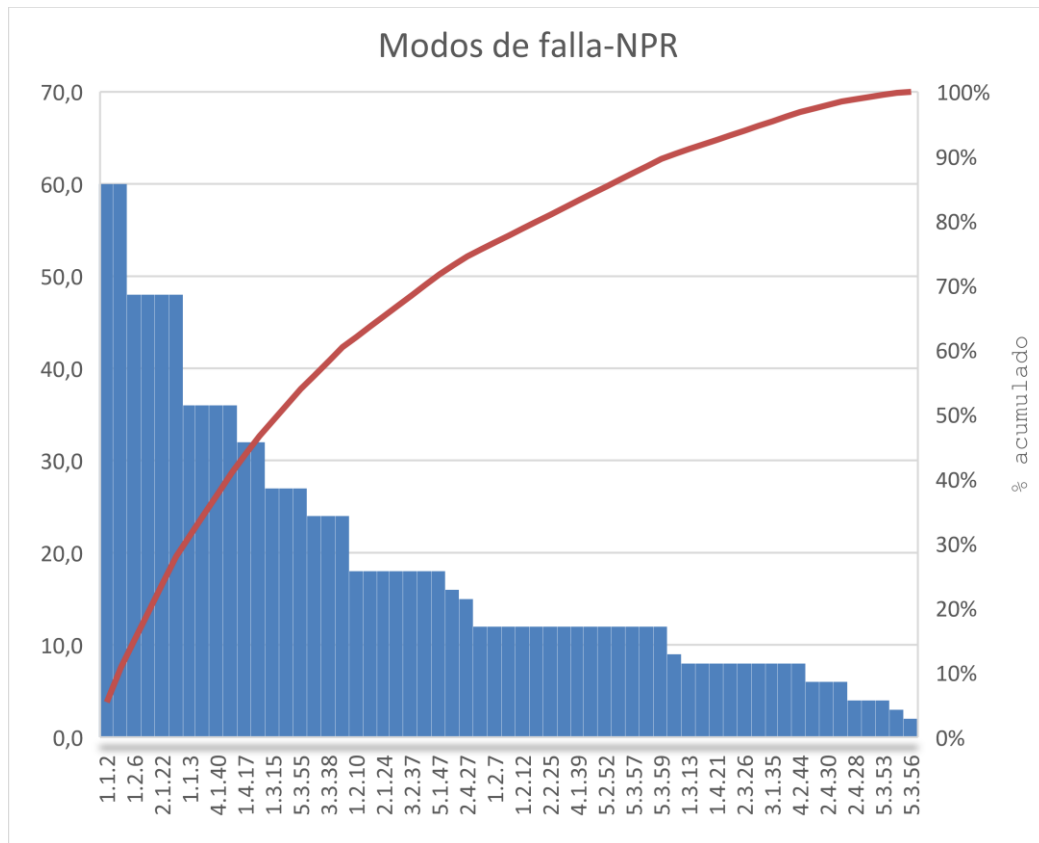


Figura 12. Gráfico de Pareto para modos de falla en relación con el NPR

A partir de la Figura 12 y sustentado en los datos respectivos, es posible determinar que el 20% de los modos de falla están concentrados en los primeros 5 que poseen un mayor índice NPR. Para ampliar el análisis hay que indicar que los 13 primeros modos de falla se llevan el 46,7% del porcentaje acumulado total y que poseen un NPR mayor a 30, por lo tanto, se determinan como modos de falla críticos. Dentro los siguientes 29 modos de falla se establece otro 42,9% del total indicando los modos de falla con un NPR entre los 12 y 30, lo que los determina como una criticidad media. Finalmente, el otro 10,4% de la muestra se consideran de baja criticidad, con un NPR menor que 12.

Los modos de falla críticos según la clasificación anterior evidencian el impacto que provocan a la operación de Cóndor corta distancia y que son aquellos que necesitan tratamiento por medio de las propuestas de mejora. Cabe destacar que al dar solución a los primeros 13 modos de falla, no solo permitirá aminorar sus efectos directos, sino que también se busca reducir los efectos de los modos de falla

de media y baja criticidad, dado que en muchos casos existe la posibilidad de que compartan causas o estrategias de mantenimiento similares.

El listado de los 13 modos de falla más críticos se muestra a continuación:

1.1.2 Motor bloqueado o trabado sin posibilidad de girar

1.2.8 Baja compresión en cilindros de motor

1.2.6 Turboalimentado trabado

1.2.9 Pérdida de compresión por válvulas o culatas

2.1.22 Cable cortado o expuesto al chasis impidiendo conexión

3.1.31 Fuga de refrigerante por cañerías o conexiones

1.1.3 Baja presión de combustible en líneas de alimentación

3.2.36 Compresor de aire acondicionado no acopla

3.2.37 Compresor no trabaja por bloqueo en funcionamiento

4.1.40 Rotura o desgaste de componentes de kit de embrague

5.2.50 Fijación de componentes (Asientos, molduras, pasamanos, paneles, etc.) mal instaladas o sueltas

1.4.17 Bajo nivel o fuga de refrigerante

4.3.46 Enfriador de aceite obstruido

4. Propuestas de mejora al plan de mantenimiento

Flota Cóndor Corta Distancia

Posterior al análisis y detección de los modos de falla que afectan de mayor forma a la flota Cóndor corta distancia, es necesario establecer tareas de mantenimiento, ejecución de pautas preventivas o de inspección, programación de mantenimientos correctivos mayores o bien, un ajuste a la planificación dentro de la estrategia de mantenimiento todo esto con el objetivo de aminorar los efectos de los modos de falla más críticos. Para ello en la etapa 4 se establecen las mejoras al plan de mantenimiento para superar los aspectos deficitarios detectados en el análisis anterior. Teniendo en consideración los aspectos técnicos presentes en la red de talleres de GTP y las consideraciones económicas de su ejecución.

Las propuestas de mejora desarrolladas en el presente trabajo se basan en tres ejes principales. En primer lugar, se plantea la ejecución de nuevas pautas de inspección preventivas enfocadas en la detección temprana de fallas. En segundo lugar, se propone la incorporación de pautas ya existentes al ciclo actual de mantenimiento con el fin de aumentar la cantidad de inspecciones, basado en el contexto de operación de la flota Cóndor, la cantidad de kilómetros que recorre la flota y el ciclo operacional diario que debe cumplir la flota. Por último, el tercer eje hace referencia al mejoramiento de registro de tareas y el proceso de trabajo que se lleva a cabo actualmente a lo largo de la red de mantenimiento de las empresas GTP, ya que la mejora está orientada en la estandarización y mejorar la trazabilidad de los trabajos que se llevan a cabo en el plan de mantenimiento.

4.1 Incorporación de pautas preventivas y de inspección

A partir de los modos de falla priorizados es importante destacar que aquellos que tienen un mayor índice NPR se concentran en el sistema motor. Para realizar una propuesta de mejora se estudió el comportamiento de todos buses que registran un cambio de motor por motivo de alguna falla mayor, entre periodo que va desde el 1/01/2022 hasta 30/06/2024, este código describe el componente “MOTOR MB 457 EURO III 360CV”, que es la unidad de motor que mantienen por diseño de fábrica el 91% de la flota Cóndor de corta distancia como se mencionó

anteriormente, el detalle de cambios de motor para dicha flota es el mostrado en la Tabla Anexo A 3. Cabe destacar que todos los buses registrados, es su primer cambio de motor, es decir, son componentes de primera vida.

El objetivo de este análisis es la determinación de un kilometraje de inspección con un cierto nivel de confianza de acuerdo con las políticas presupuestarias que define la empresa Cóndor para el cambio de componentes mayores, en este caso el motor. Para establecer dicho parámetro de inspección es posible realizar un análisis estadístico que permite estimar la vida útil empírica del componente. Así es posible identificar un rango de kilometrajes críticos donde se concentran la mayor cantidad de fallas y por consecuencia, un rango de kilómetros para definir una inspección preventiva orientada a reducir el riesgo de falla mayor.

A partir de la data es posible construir un gráfico de frecuencia de falla por intervalos de 100.000 kilómetros que se muestra en la Figura 13.

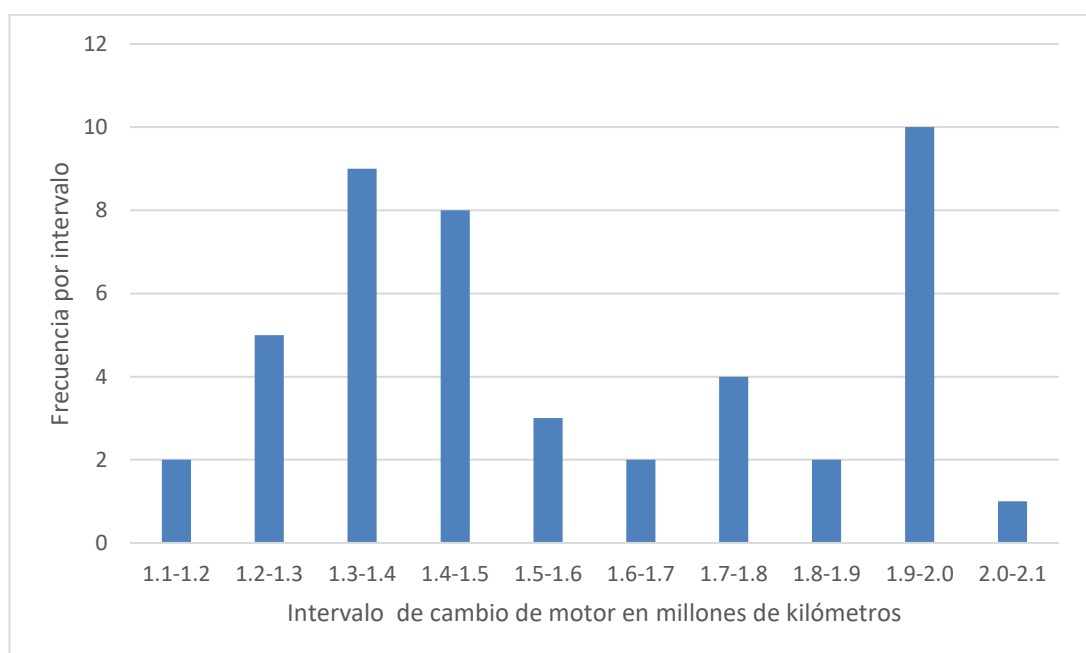


Figura 13. Gráfico de frecuencia de cambio de motor de kilómetro por cada 100.000 [km]

En base a lo mostrado en la Figura 13 es posible ver que existen 2 concentraciones en cuanto a los cambios de motor, el primero cerca del intervalo que abarca entre 1,3 y los 1,5 MM de kilómetros y el otro intervalo es cercanos a los 2,0 MM de kilómetros recorridos. Sin embargo, dicho análisis no es suficiente para caracterizar

de forma precisa el comportamiento de las fallas de los motores, por lo que se realiza un análisis estadístico descriptivo mediante el procesamiento de datos por medio del programa SPSS by Máximo. El procesamiento de los datos mediante el software permite obtener los indicadores de media, mediana desviación estándar, asimetría y curtosis, el resumen de los datos se muestra en Tabla 24.

Descriptivos			Estadístico	Error estándar
KM de cambio	Media		1582035,6087	42082,98588
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1497276,1242	
		Límite superior	1666795,0932	
	Media recortada al 5%		1581007,9807	
	Mediana		1488052,5000	
	Varianza		81464974229	
	Desv. estándar		285420,69692	
	Mínimo		1,12E+6	
	Máximo		2,07E+6	
	Rango		947318,00	
	Rango intercuartil		527746,75	
	Asimetría		,315	,350
	Curtosis		-1,324	,688

Tabla 24. Estadísticos descriptivos de muestra de kilómetros de cambio de motor para flota Córdor corta distancia.

En la Tabla 24 se observa que la media es de 1.582.035 km y la mediana de 1.488.053 km lo que indica una asimetría de coeficiente positivo lo que se condice con índice de asimetría. En relación con la dispersión de los datos el indicador de desviación estándar es de 285.420 kilómetros. Por otra parte, el índice de la curtosis muestra que la distribución es más aplanada en relación con una distribución normal, es decir, los datos están más dispersos en torno al valor de la media, lo que se muestra en el histograma de la Figura 13

A continuación, en la Tabla 25 se muestran los intervalos cada 100.000 [km], la frecuencia de cambio de motor para cada intervalo, la frecuencia acumulada y la tasa de falla acumulada para la muestra.

Tabla 25. Datos empíricos de cambios de motor cada 100.00 km

Intervalos en MM de kilómetros	Cambios de motor en el intervalo	Cambios de motor acumulados	Tasa de cambio de motor acumulada
1.1-1.2	2	2	4%
1.2-1.3	5	7	15%
1.3-1.4	9	16	35%
1.4-1.5	8	24	52%
1.5-1.6	3	27	59%
1.6-1.7	2	29	63%
1.7-1.8	4	33	72%
1.8-1.9	2	35	76%
1.9-2.0	10	45	98%
2.0-2.1	1	46	100%

A partir de la información mostrada en la Tabla 25 es posible ver que desde los 1.300.000 km la tasa de cambio de motores aumenta con mayor velocidad, este comportamiento permite identificar ese kilometraje como punto de referencia para definir una pauta de inspección preventiva. Esta pauta tiene como objetivo evaluar el estado del motor y establecer oportunamente la detención de la unidad para una intervención ya sea mayor como un mantenimiento Overhaul o bien una intervención menor. En caso de que el estado del motor muestre que no tiene un daño considerable, es posible definir una política de seguimiento y que el bus siga operando.

Con el fin de complementar este análisis, es presentado con el personal del taller de producción Rotables, a los cuales se les solicita el apoyo técnico para definir las tareas y procedimiento con los que debe la pauta de inspección preventiva para así asegurar que la pauta este orientada a la detección de daño prematuros a componentes del motor y facilitar la toma de decisión con respecto a la programación de la detención para reparación mayor, la propuesta de pauta de inspección se muestra en la Tabla Anexo A 5.

Esta pauta de inspección se debe llevar a cabo por parte de los técnicos especializados pertenecientes al taller de producción Rotables dado que cuentan con las herramientas de diagnóstico especializadas y en relación con el tiempo les debe tomar alrededor de 8 horas de trabajo, por lo tanto, no se debe incurrir en gastos en relación con a horas humanas o herramientas especializadas.

Para finalizar la propuesta de mejora se recomienda verificar el estado del motor bajo condiciones de carga para lo cual se debe llevar el bus a pruebas dinamométricas con el fin de evaluar el funcionamiento bajo diferentes escenarios de carga además de realizar una medición de gases contaminantes.

Los resultados esperados de la inspección preventiva de motor van a asociados a bajar las métricas en cuanto al gasto que se incurre en cambiar un motor de forma no planificada ya que es posible realizar Semi-ajuste que según los registros rondan los \$7.000.000, a diferencia de los motores estudiados en la Tabla Anexo A 3 que tienen un costo promedio de \$12.300.000, en relación a los factores operacionales se espera que aumente la disponibilidad de la flota estudiada ya que la planificación de las reparaciones e inspecciones viene dada por la misma área de operaciones para que no involucre una baja en la cantidad de buses disponibles para servicio. Por último, se debe optimizar la planificación de repuestos en bodega ya que al ser una inspección programada será posible contar con los repuestos de forma anticipada asegurando la disponibilidad.

En relación con los modos de falla asociados al aire acondicionado, como se deja en evidencia en la Tabla 6 en ninguna pauta de mantenimiento preventivo de la flota Mercedes Benz se realiza alguna inspección ni cambio de componentes dentro del sistema de aire acondicionado, por lo tanto la propuesta de mejora va relacionada a la instauración de una pauta de intervención preventiva priorizando en la programación la flota que mantenga una mayor cantidad de reportes con el objetivo de reducir la cantidad de novedades correctivas no planificadas, principalmente asociadas al cambio de componentes mayores como lo son el compresor, alternador y evaporadores, dado que su cambio involucra una cantidad de horas de trabajo considerable, lo que se traduce en indisponibilidad del bus para efectuar un viaje con pasajeros. Para la generación de la pauta de mantenimiento

se establece una colaboración en conjunto al supervisor del área de climatización, quien a modo de recomendación indica que se debe abordar el sistema climatización completo.

La propuesta de pauta de mantenimiento preventivo de climatización se encuentra descrita en la Tabla Anexo A 4.

Los recursos que se deben utilizar en repuestos son aproximadamente \$1.500.000. según el costo promedio de cada componente lo indicado en el sistema máximo

La planificación y control de datos se deberá llevar a cabo por medio de la subgerencia de planificación en conjunto con el jefe de mantenimiento de corta distancia, quien está cargo de la flota estudiada. En relación a los recursos, se mantienen 10 técnicos especializados en el área de climatización que habitualmente trabajan en parejas, la propuesta utilizaría una pareja de técnicos con la capacidad de tomar un bus de forma secuencial, por lo que la utilización de HH será solo de un 20% del total, que irán enfocados estratégicamente en intervenir las unidades que tienen mayor recurrencia de fallas y por consecuencia reducir la cantidad de máquinas detenidas por el sistema de climatización, sobre todo en los meses de la temporada estival que es donde el modelo de negocio de las compañías de buses genera una mayor cantidad de viajes. Además, contar con un sistema de climatización en óptimas condiciones, mejorara la experiencia del pasajero durante los viajes.

4.2 Evaluación de la política de programación de mantenimientos preventivos

El segundo eje de las propuestas de mejora apunta a intervenir el ciclo de mantenimiento ya que muchos de los modos de falla tienen solución y un método de detección en el actual régimen de mantenimientos preventivos. Sin embargo, la cantidad de kilómetros recorridos por la flota Cóndor corta distancia es baja en comparación a un bus de las rutas largas, lo que provoca que los ingresos a taller por intervenciones preventivas sean mucho menores en relación a las intervenciones correctivas como se evidencia en el apartado 3.2. Es por ello, que la tercera propuesta de mejora se orienta a abordar esta problemática ya que gran parte

de los modos de falla definidos como críticos es posible subsanarlos mediante el cambio de componentes de forma oportuna o es posible anticiparse a la falla mediante la inspección más frecuente de los sistemas estudiados. Actualmente la flota mantiene un plan de mantenimiento con una periodicidad de 60.000 [km] entre un mantenimiento preventivo y otro, por lo que el ciclo completo es de 360.000 [km] como se explica en la Tabla 6 para flota Mercedes Benz. Uno de los ejemplos más tangibles es el modo de falla 3.2.37 que hace referencia a la falla en el compresor de aire en el bus, componente que por definición se cambia por uno nuevo solo en la pauta MP5 que justamente se realiza cada 420.000 [km] que en promedio es equivalente a 42 meses considerando que el promedio de kilómetros recorrido de forma mensual son 10.000 [km] para un bus de corta distancia. Es por ello que, la propuesta consiste en implementar una pauta de inspección intermedia a la mitad entre un MP y otro, es decir, cada 30.000 [km], esta pauta estará enfocada en inspecciones visuales, inspección mediante scanner, revisión de niveles e inspección de los sistemas críticos con un mayor NPR. El objetivo de la pauta es levantar alertas que puedan transformarse en una potencial panne en ruta para así poder evitarla y no se vea afectado el indicador de eventos en ruta de la flota, además de generar un reporte con el cual el área de planificación pueda ingresar la máquina de forma coordinada con la gerencia de operaciones para así no afectar la oferta de servicios, esto siempre respetando la política de novedades diferibles y NO-GO. En relación a los recursos que se utilizara para esta propuesta de mejora, el sector de MP cuenta con una cantidad de 18 técnicos mecánicos más 4 técnicos básicos lo que entrega un total de 11 parejas de trabajo, la propuesta indica la utilización de 2 parejas para realizar estas pautas intermedias, ya que sino complicaría la programación habitual del taller de MP, por lo que se desprende que la pauta debe ser relativamente corta con el objetivo de que cada pareja pueda tomar de 2 buses de forma diaria. La propuesta de pauta intermedia se muestra en la Tabla Anexo A 6.

Además de las tareas señaladas en la pauta intermedia, dentro de la compañía existe una pauta de inspección al sistema eléctrico/electrónico. En uno de los apartados de la pauta, específicamente en el séptimo capítulo de dicha pauta, se abordan los modos de falla en relación con los cortes eléctrico, ruteo de cables para que no

tengan contacto con puntos de alta temperatura y a la correcta conexión de estos, sin embargo, al igual que la pauta intermedia no cuenta con una periodicidad definida dentro de los ciclos del plan de mantenimiento preventivo, actualmente solo se ejecuta a modo de campaña ante alguna alerta. En este aspecto la propuesta consiste en anexarla a las tareas realizadas en la pauta intermedia, es decir, se va a realizar cada 60.000 [km] entre cada mantenimiento mayor definido en el ciclo. Las tareas se agrupan en cinco puntos principales que se muestran a continuación en la Tabla Anexo A 7.

Con todas estas tareas se apunta a que la pauta intermedia más el inciso 7 de la pauta de inspección eléctrica/electrónica dure como máximo un total de 4 horas de trabajo para así poder alcanzar el objetivo de 2 máquinas diarias, o bien, lograr dejar operativa una máquina, pero con las intervenciones correctivas que levante la pauta intermedia.

4.3 Propuesta de registro jerárquico de fallas

La última propuesta si bien no apunta directamente a reducir los efectos de los modos de falla críticos detectados por medio del análisis AMFEC, ayuda a generar una herramienta de análisis de falla de mayor capacidad para las empresas del grupo GTP, ya que como se mencionó a lo largo del documento las Órdenes de Trabajo son de campo abierto e impide la posibilidad de realizar análisis estadísticos más robustos, dado que la única clasificación existente es la referente a los sistemas mostrada en la Tabla 4, es por ello que esta propuesta de mejora tiene por objetivo el desarrollo e implementación de una estructura jerárquica de fallas con niveles taxonómicos inferiores (SAE, 2016), la cual organiza el registro de la información en Sistema → Subsistema → Componente, este a su vez se complementa con un catálogo transversal de falla, el cual tiene conceptos de falla codificados aplicables a toda la flota.

El sistema jerárquico de registro de información se muestra en la tabla Anexo A 8. Adicional a dicha tabla, se debe agregar un cuarto nivel destinado a describir la característica asociada a la pérdida de funcionalidad (SAE International, 2016). Para ello se define un listado de 27 características genéricas de falla, todo esto con el

objetivo de caracterizar por completo el reporte de falla. El listado de características se presenta a continuación en la tabla ubicada Anexo A 9.

Para generar el registro de falla y sus respectivas reparaciones, es posible mezclar los conceptos de las Tablas Anexo A 8 y Anexo A 9 de modo de establecer un código asociado a una falla específica. Como por ejemplo el 40.3.1.9, lo que se traduce como que existe una falla en el sistema de transmisión (40), en el subsistema árbol de cardan (3), específicamente en el componente crucetas (1) existe un juego excesivo (9).

Mediante esta forma de registro es posible construir una base de datos que permite mejorar la trazabilidad de tareas de mantenimiento, permite la construcción de los indicadores de confiabilidad y mantenibilidad en niveles taxonómicos inferiores, ya que será posible obtener los tiempos de detención y de buen funcionamiento por subsistema y componente, establecer comparaciones, identificar patrones en buses específicos, medir la vida útil de componentes bajo las exigencias de la operación de cada empresa. Todo lo anterior contribuye a la toma de decisiones por parte de los líderes del Gerencia de Mantenimiento de GTP.

Otro de los beneficios de la estructura jerárquica de registro, es la posibilidad de identificar los modos de falla de forma directa y así facilitar la toma de decisiones para los líderes de mantenimiento dentro de la gerencia.

Una de las dificultades que se puede presentar a la hora de implementar la nueva estructura jerárquica de registro de falla es la carga administrativa para los supervisores de mantenimiento, ya que, bajo este nuevo modelo, son ellos los encargados de dar cierre a la OT, dado que poseen un mayor grado de formación técnica y una mayor experiencia lo que les permite identificar tanto el componente como la característica de la falla. Esta propuesta conlleva un cambio en el proceso habitual de atención para un mantenimiento correctivo como muestra la Figura 8 y podría generar resistencia o bien una complicación en la adaptación. Para mitigar estas posibles consecuencias la propuesta de mejora incluye una capacitación en la nueva forma de registro y una muestra de los beneficios del nuevo sistema para así fomentar la participación y reducir la resistencia al cambio.

5. Plan piloto de aplicación de propuestas de mejora al plan de mantenimiento-Flota Córdor corta distancia

Luego de mostrar los beneficios que podría traer la implementación de las propuestas de mejora a la flota Córdor corta distancia, la gerencia de mantenimiento de GTP estableció las directrices para implementar parte de ellas a modo de plan piloto para así evaluar los resultados en condiciones reales de operación y analizar la factibilidad de escalar al resto de las flotas y compañías del grupo.

El plan piloto tiene por objetivo mostrar y validar la efectividad de las propuestas de mejora, tanto en la reducción de ingresos a mantenimiento por fallas asociadas a los sistemas y modos de falla críticos como el nivel de planificación de mantenimientos mayores en relación con los sistemas críticos. Para ello se estableció una sub-flota para cada una de las propuestas para poder tener resultados claros y comparables de acuerdo con indicadores que muestren de manera cuantitativa el grado de mejora.

La primera iniciativa implementada por la gerencia de mantenimiento es la ejecución de la pauta de mantenimiento preventivo del sistema de climatización mostrada en la Tabla Anexo A 4, que tiene por objetivo la inspección de condición de prácticamente el sistema completo y de acuerdo con el estado se procede al cambio o reparación menor de cada componente. Para establecer la programación de los buses para la respectiva ejecución de la pauta, se realiza en base a la cantidad de novedades como indica la misma propuesta, además se agregan a la programación máquinas que evidencien algún indicio de algún tipo de falla incipiente que a futuro podría provocar una falla mayor al sistema, esto según lo revisado por los técnicos en alguna intervención correctiva. De acuerdo con estos dos criterios el área de planificación de mantenimiento establece las fechas de ingresos a taller en conjunto con el área de operaciones.

Para medir el impacto de la ejecución de la pauta de mantenimiento se analizan los ingresos previos y posteriores a la fecha de ejecución de la pauta por algún reporte

asociado al sistema Aire Acondicionado (10) declarado en la OT. Para ello se construye una base de datos de los ingresos a taller en periodo comprendido entre 1/07/2024 al 31/12/2024 que son los 6 meses posteriores a la base de datos con la que se obtuvo el análisis previo para establecer los sistemas críticos dentro del plan de mantenimiento. Los resultados de este análisis se muestran en la Figura 14.

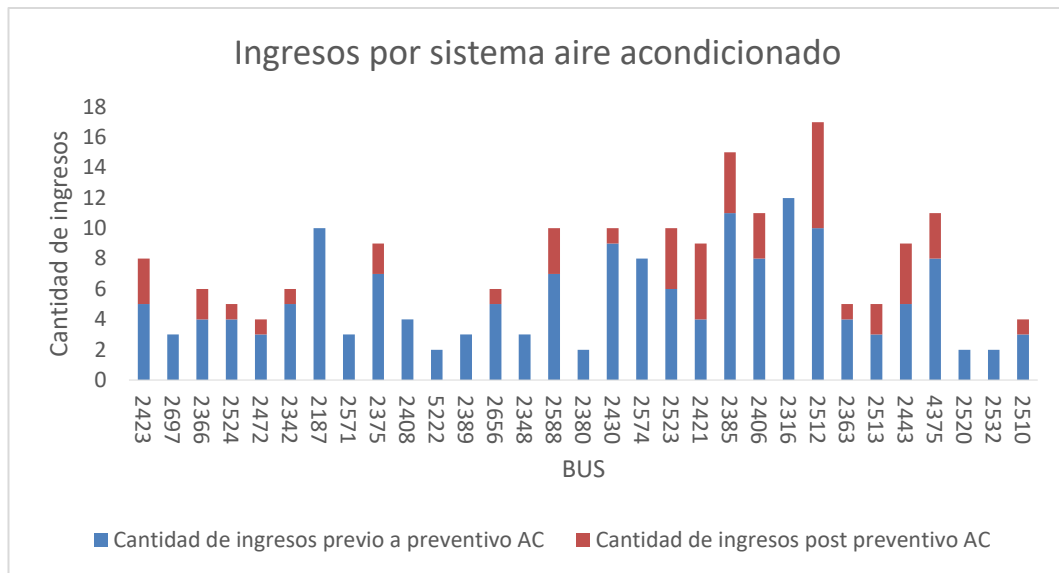


Figura 14. Cantidad de ingresos antes y después de la aplicación de la pauta

El análisis de ingresos muestra que previo a la aplicación de la pauta de mantenimiento preventivo del sistema de aire acondicionado el promedio de ingresos en la flota estudiada era de 5,23 ingresos por bus a taller por un reporte de falla y que posterior a la ejecución bajo a 1,58 ingresos en promedio por bus, lo que indica una diferencia del 69,8%. Al incluir la variable tiempo en relación a los días sin presentar falla, se contabilizó la cantidad de días previos a la ejecución de la pauta y la cantidad de días posterior a la pauta. A su vez se consideraron la cantidad de reportes de falla en ambos periodos y así fue posible obtener la métrica del MTBF en días. Previo a la ejecución de la pauta, la flota estudiada presentaba un MTBF de 60,2 [día], y posteriormente subió a un total de 73,3 [día]. Estos resultados indican que el tiempo de buen funcionamiento del sistema de aire acondicionado aumento dentro de la flota estudiada y puede implementarse de manera permanente dentro del plan de mantenimiento, lo que mejoraría el índice de tasa de falla del sistema y lo por consiguiente aumentaría la satisfacción del pasajero en relación con el confort en cada viaje.

Por otra parte, a modo complementario fue posible observar que durante la ejecución del plan piloto uno de los factores críticos fue la disponibilidad de repuestos del sistema de climatización, por lo que se solicitó por medio de la gerencia el cambio del stock de seguridad de los componentes principalmente mangueras, kit de embrague del sistema de aire, motores evaporadores y empaquetaduras del compresor de A/C.

La siguiente propuesta de mejora que fue tomada por parte de la gerencia de mantenimiento fue la de la incorporación de la pauta de inspección mayor de motores, ya que, según sus registros, es una de las cuentas de la gerencia que posee mayores gastos a lo largo del año. Para ello se toma la determinación de enfocar los esfuerzos en los buses de una antigüedad menor dado que gran parte de la flota Cóndor corta distancia es del año 2013 y cuentan con un promedio cercano a 1.778.583 de kilómetros recorrido lo que se aleja de la propuesta de mejora ya que se recomienda la inspección mayor al 1.400.000 [km] y, por lo tanto, es prácticamente inminente la falla de motor. Esta diferencia se debe a que el estudio se realiza solo con los cambios de motor entre 2022 y 2024, pero según lo indicado por parte de la gerencia existían cambios de motor previos a ese rango de fechas, pero no fue posible tener acceso a esa base de datos. Dado estas complicaciones y definiciones por parte de la gerencia la pauta de inspección mayor de Motor se realizará a buses del año 2015 y 2016 que representan flota en las que aún es posible tomar acciones preventivas. La propuesta se ejecuta a partir del mes de junio de 2024 priorizando los buses de Cóndor corta distancia, pero se extendió al mismo tiempo para buses Turbus corta distancia que poseen un contexto de operación similar y por lo tanto se asume un comportamiento similar en el desgaste del sistema motor.

Para la ejecución de la pauta, la gerencia de mantenimiento dio un plazo de 2 meses para la inspección de todos los buses de flota objetivo para así establecer un nivel de prioridad para un semi ajuste y no llegar a la falla mayor de motor que requiere un Overhaul del componente. La información recopilada se muestra en la Tabla 26, la cual hace referencia a la empresa Cóndor de ruta Corta Distancia y los chasis de marca Mercedes Benz.

Tabla 26: Costo Provisionado de reparación según categorización de estado de motor.

Bus	Año	Kilómetros de integración	Nivel de prioridad	Costo Provisionado
2653	2016	1.234.608	2	\$ 8.000.000
2587	2015	1.324.054	2	\$ 8.000.000
2584	2015	1.337.495	2	\$ 8.000.000
2586	2015	1.443.170	1	\$ 8.000.000
2588	2015	1.443.686	2	\$ 12.000.000
2583	2015	1.481.623	1	\$ 8.000.000
2658	2016	1.505.390	2	\$ 12.000.000
2585	2015	1.522.853	1	\$ 8.000.000
2641	2016	1.540.533	2	\$ 12.000.000
2646	2016	1.541.132	1	\$ 8.000.000
2649	2016	1.541.912	1	\$ 8.000.000
2640	2016	1.732.130	2	\$ 12.000.000
2659	2016	1.842.620	1	\$ 8.000.000
2657	2016	1.876.520	3	\$ 12.000.000
2648	2016	1.883.780	3	\$ 12.000.000
2656	2016	1.897.763	3	\$ 12.000.000
2650	2016	1.907.900	3	\$ 12.000.000
2655	2016	1.916.020	4	\$ 12.000.000
2660	2016	1.916.040	4	\$ 12.000.000
2652	2016	1.935.490	4	\$ 12.000.000

Tras la recopilación de información, se estableció en conjunto con el taller de motores, un nivel de prioridad para la intervención correctiva del motor.

- Nivel 1: indica que debe ser intervenido a mediano plazo ya que no presenta daño significativo, pero debe quedar en seguimiento para realizar solo un ajuste menor (60.000 [km]). Con relación al presupuesto se provisiona un total de \$8.000.000 que es lo destinado en promedio a una intervención menor de motor para la flota Mercedes Benz euro3-360CV.

- Nivel 2: indica que el daño es menor por lo que se debe establecer un seguimiento de mayor frecuencia en comparación con el nivel 1 (cada 30.000 [km]). En relación con el gasto solo se provisiona la cantidad para un semi ajuste.

- Nivel 3: este nivel muestra que el daño ya es significativo y debe ser programado el semi ajuste lo antes posible de acuerdo con la condición de taller. Se establece que el ingreso con un plazo máximo de 2 meses. En relación con la

reparación se provisiona el presupuesto de una reparación mayor en caso de que no ingrese

- Nivel 4: muestra que la falla es inminente y debe quedar detenido inmediatamente para ajuste mayor u Overhaul. Se provisiona el gasto de una reparación mayor.

De acuerdo luego de la inspección y clasificación del estado de los motores, uno de los principales beneficios es la determinación de la tarea de mantenimiento que requiere cada unidad motriz y por consiguiente el monto que se debería desembolsar en cada intervención. Considerando solo la flota objetivo, se debería ahorrar un total de \$36.000.000 ya que nueve de los motores se deberían reparar previo a una falla mayor.

La tercera propuesta recogida por la gerencia fue la incorporación de la pauta intermedia más la inspección de sistema eléctrico entre cada uno de los mantenimientos preventivos mayores de acuerdo al ciclo normal que define el plan de mantenimiento. Sin embargo, solo se aplicó a 10 buses de la flota Cóndor corta distancia a modo de plan piloto, para así ver la efectividad y los resultados empíricos de su aplicación, antes de una eventual implementación a escala en toda la flota.

Siguiendo la metodología utilizada en la medición de resultados de la aplicación de la pauta de climatización, se construyó una base de datos que contempla todos los reportes de falla del año 2024 categorizados de acuerdo con los sistemas abordados en la pauta intermedia como lo son Motor central (25), Transmisión (40), Refrigeración (75), Sistema eléctrico(50), Sistema neumático (70) y Carrocería (20). Este enfoque permite cuantificar los ingresos antes y después de la aplicación de la pauta intermedia. A continuación, en la Tabla 27 se presentan las métricas correspondientes a los 10 buses seleccionados de la flota Cóndor Corta Distancia que fueron parte del plan piloto.

Tabla 27. Análisis de resultados de ejecución de pauta Intermedia.

Bus	Fecha Pauta intermedia	Cantidad de ingresos previo Pi	Cantidad de ingresos post PI	MTBF previo [día]	MTBF post [día]	Variación Porcentual
2652	10/07/2024	38	31	5,0	5,6	11,7%
2653	04/08/2024	153	111	1,4	1,3	-4,9%
2657	17/07/2024	44	50	4,5	3,3	-25,8%
2480	15/08/2024	99	31	2,3	4,5	94,1%
2383	18/07/2024	72	30	2,8	5,5	100,2%
2646	24/07/2024	94	37	2,2	4,3	98,3%
2479	30/07/2024	41	26	5,1	5,9	15,1%
2658	30/07/2024	135	103	1,6	1,5	-4,3%
2444	09/08/2024	79	44	2,8	3,3	17,0%
2437	31/08/2024	82	32	3,0	3,8	28,7%

A partir de los resultados mostrados en la Tabla 27, es posible establecer que la implementación de la pauta intermedia aumento en un 33% en promedio el tiempo medio entre fallas (MTBF) medido en días, lo que se relaciona directamente con la cantidad de ingresos antes y después de la ejecución de la pauta. Pero al analizar una a una los buses de la flota objetivo se destaca la unidad 2657 que en contraste a los resultados esperados tuvo una reducción de su MTBF. Para establecer las causas de esta disminución se analizan todas las novedades levantadas posterior al 17/07/2025. A partir de los datos fue posible apreciar que gran parte de las órdenes de trabajo son por reparación de componentes del baño, lo que si bien pertenece al sistema Carrocería no es parte de los ítems abordados en la Pauta intermedia.

Como resultado de este hallazgo, se propone agregar al apartado enfocado en el sistema de carrocería un ítem que tenga relación a la inspección visual y comprobación de funcionamiento de los componentes del baño.

La gerencia de mantenimiento de GTP, analiza la incorporación de la pauta intermedia dentro del ciclo de mantenimiento preventivo de la flota Cóndor Corta distancia.

Por último, una de las propuestas que tuvo mejor recepción por parte de la Gerencia de Mantenimiento, fue la incorporación del registro jerárquico de información de fallas, ya que aumenta la capacidad de análisis de los datos obtenidos a partir de las

tareas de mantenimiento realizadas en los buses. El grupo GTP está en proceso de cotización y modelamiento con varios sistemas de información para la gestión del mantenimiento y una de las necesidades presentadas a los distintos proveedores es la incorporación de este registro jerárquico de la información.

CONCLUSIONES

Se presentan las conclusiones del trabajo desarrollado como una propuesta de mejora al plan de mantenimiento de una flota de buses del Grupo de Transporte de Pasajeros (GTP), con el propósito de optimizar los indicadores de la operación de mantenimiento tales como la disponibilidad, la cantidad de eventos técnicos en ruta, confiabilidad, y por último a elevar los niveles de satisfacción de los clientes.

A partir de la experiencia obtenida a lo largo del desarrollo del presente trabajo, es posible afirmar que la gestión del mantenimiento es uno de los pilares fundamentales dentro de la estrategia operacional de una empresa de transporte de pasajeros y su respectiva gestión trae consigo grandes desafíos como el equilibrio entre los indicadores de desempeño y el control presupuestario, o bien, la adaptabilidad que debe poseer el plan de mantenimiento ante las necesidades del mercado. Es por ello que la incorporación de conceptos como modos de falla o análisis de criticidad en la planificación de mantenimiento apuntan a mejorar los resultados de acuerdo los lineamientos de la empresa desde la perspectiva del mantenimiento.

En relación al desarrollo del trabajo, el proceso de diagnóstico permitió identificar las falencias estructurales que posee el plan de mantenimiento actual ya que se destaca la alta proporción de intervenciones correctivas frente a las preventivas, además de la falta de inspecciones para la detección de fallas. En cuanto a los sistemas que concentran la mayor cantidad de fallas y horas de indisponibilidad destacan el motor, aire acondicionado, transmisión y el sistema eléctrico/electrónico.

En cuanto a la metodología utilizada AMFEC, demostró ser una herramienta eficaz de análisis para jerarquizar e identificar las fallas críticas, pero su aplicación fue limitada debido a la falta sistema de registro de falla más robusto. Aun así, este enfoque permitió establecer las necesidades técnicas y sus respectivas acciones preventivas específicas, como lo son la implementación de una pauta de inspección del sistema motor a los 1.300.000 [km], la incorporación de una pauta intermedia cada 60.000 [km] entre cada pauta mayor del plan de mantenimientos preventivos para la flota estudiada y ante la problemática de registro de información, la creación

de una estructura jerárquica de registro de fallas para mejorar el análisis de datos y la trazabilidad.

Con respecto a la ejecución de las propuestas de mejora al plan de mantenimiento mediante el plan piloto, los resultados obtenidos son consistentes a las expectativas de mejora, ya que se observó un incremento en el promedio del indicador MTBF (Tiempo medio entre Fallas) y una reducción en los ingresos a la red de talleres por parte de la flota estudiada en relación a los sistemas críticos. Por otro lado, la ejecución de la pauta de inspección preventiva de motores, estableció niveles en relación al daño, para posteriormente programar las intervenciones correctivas, pero bajo un nivel menor de gasto, lo que reafirma una viabilidad técnica y económica de esta medida y que puede ser escalable a otras flotas de la compañía.

Respecto al registro de información de las órdenes de trabajo, su incorporación fortalece la trazabilidad de la información y la calidad de los datos para la toma de decisiones y la mejora continua. Además, es posible establecer que adoptar este enfoque constituye una estrategia replicable dentro de las empresas del grupo GTP y que favorece la adopción de un sistema de mantenimiento basado en confiabilidad, al mejorar la recolección de los datos necesarios.

Es importante destacar que el nivel de éxito que puedan obtener las propuestas va en directa relación al nivel de compromiso que puedan adquirir tanto de la Gerencia de Mantenimiento como su personal técnico, quienes son los que deben mantener la disciplina operativa en la ejecución de las pautas y registros de fallas.

Finalmente, a modo de recomendación se propone que las medidas probadas en el plan piloto deberían consolidarse para el resto de la flota Cóndor Corta distancia y extenderse gradualmente al resto de flota de grupo GTP.

BIBLIOGRAFÍA

- 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, 15–26.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48215094003>
- Amjadian, A., O’Neil, R., Khatab, A., Chen, J., Venkatadri, U., & Diallo, C. (2025). Optimising resource-constrained fleet selective maintenance with asynchronous maintenance breaks. *International Journal of Production Research*, 63(7), 2385–2407.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2024.2403114>
- Gelashvili, V., Gomez-Ortega, A., & Flores-Ureba, S. (2023). Transport companies based on their size and management type: has Covid-19 conditioned their solvency? *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 36(3). <https://doi.org/10.1080/1331677X.2022.2163510>
- Gerencia de Mantenimiento- GTP. (2024). *Planilla de disponibilidad*.
- International Organization for Standardization. (2014). *ISO 55000:2014 — Asset management — Overview, principles and terminology*.
<https://www.iso.org/standard/55088.html>
- International Organization for Standardization. (2016). *ISO 14224:2016 — Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*.
<https://www.iso.org/standard/62770.html>
- Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (1999). *Juran’s Quality Handbook* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Knights, P. F. (2004). *Downtime priorities, Jack-knife diagrams, and the business cycle*.
- Meritor. (2007). *Manual de mantenimiento 1: Lubricación y mantenimiento preventivo*. <https://graphicvillage.org/meritor/MM1SP.pdf>

- Ministerio de Transportes de Chile. (2023). *21° Ranking de Infracciones – Año 2023*. Fiscalización Transporte. <http://www.fiscalizacion.cl/programa/21-ranking-de-infracciones-ano-2023/>
- Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile. (1992). *Reglamento de los Servicios Nacionales de Transporte Público de Pasajeros — Decreto Supremo N.º 212, de 1992*. https://www.suseso.cl/612/w3-article-19044.html?utm_source=chatgpt.com
- Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile. (2002). *Decreto Supremo N.º 130: normas de emisión de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos totales (HCT), hidrocarburos no metánicos (HCNM), metano (CH₄), óxidos de nitrógeno (NO_x) y material particulado (MP) para motores de buses de locomoción colectiva de la ciudad de Santiago*. <https://www.bcn.cl/leychile/Navegar?idNorma=195386> Biblioteca Congreso Chile +2 Fuentes Móviles +2
- Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile. (2004). *Decreto Supremo N.º 80, de 2004: Reglamenta el transporte privado remunerado de pasajeros y modifica el Decreto Supremo N.º 212, de 1992*. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=226488>
- Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile. (2019, October). *Fiscalización del transporte interurbano*. Cámara de Diputadas y Diputados de Chile. <https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmID=182421&prmTIPO=DOCUMENTOCOMISION>
- Mora, L. A. (2009a). *Mantenimiento: gestión, organización y técnicas*. Alfaomega.
- Mora, L. A. (2009b). *Mantenimiento: planeación, ejecución y control*. Alfaomega.
- Pistarelli, A. J. (2010). *Manual de mantenimiento ingeniería, gestión y organización*. El Autor: Talleres Gráficos R y C.

- Roger, B. (2018). *Bus maintenance management: Planning and strategy*. Routledge. <https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9781315206468>
- SAE International. (2016). *SAE JA1011: Evaluation criteria for reliability-centered maintenance (RCM) processes*. https://doi.org/10.4271/JA1011_201608
- Schulze Spüntrup, F., Ave, G. D., Imsland, L., & Harjunoski, I. (2022). Integration of maintenance scheduling and planning for large-scale asset fleets. *Optimization and Engineering*, 23(3), 1255–1287. <https://doi.org/10.1007/s11081-021-09647-7>
- SERNAC. (2015). *Estudio Regional “Comparación Regional de Precios en Pasajes en medios de Transporte Interurbano.”* https://www.sernac.cl/portal/619/articles-8977_archivo_01.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Soesatijono, S., & Darsin, M. (2021). Literature Studies on Maintenance Management. *Journal of Energy, Mechanical, Material, and Manufacturing Engineering*, 6(1), 67–74. <https://doi.org/10.22219/jemmme.v6i1.12571>
- Teherán Suárez, Y. A. (2021). *Aplicación de la técnica AMFEC: Análisis de los modos de falla, efectos y criticidad para optimizar el plan de mantenimiento de los motores Caterpillar 3512, embarcaciones tipo remolcador* [Trabajo final de especialización]. Universidad Tecnológica de Bolívar.
- Thomas W. Sanchez, & Xinyue Ye. (2023). Implications of Human Mobility and Accessibility for Transportation and Livable Cities. *Urban Science*, 7, 107.
- Turbus S.A. (n.d.). *Uniendo personas*. Retrieved October 11, 2025, from <https://www.turbus.cl/about>
- Turbus S.A. (2018, December). *Somos servicio Turbus*. <https://somosservicio.turbus.cl/wp-content/uploads/2018/12/TURBUS.pdf>
- Turbus S.A. (2023). *Reclamos Mantenimiento 2023*.

ANEXO

Anexo 1: Tabla de definición de los distintos sistemas y su categorización

Anexo A 1: Tabla de fallas asociadas a Sistemas NO-GO y Diferibles

Sistema	NO-GO
Sistema frenos	Todo El Sistema
Neumáticos	Todo El Sistema
Sistema mazas	Todo El Sistema
Sistema dirección	Todo El Sistema
Sistema de suspensión	Todo El Sistema
Sistema neumático	Todo El Sistema, excepto desgaste de muñón inferior a 03mm
Sistema electrónico	Equipo SACEL completo
	Sin AUDIO para video de seguridad
	Monitor primario INOPERATIVO
	Falla funcionamiento sistema Turbus-play. EXEPCION: solo si está en ruta aplica DIF A
	Monitor secundario INOPERATIVO. EXEPCION: solo si está en ruta aplica DIF A
	Desfase velocidad. EXEPCION: solo si está en ruta aplica DIF A
	Sin posicionamiento GPS. EXEPCION: solo si está en ruta aplica DIF A
	Sin marcaciones. EXEPCION: solo si está en ruta aplica DIF A
Sistema refrigeración	Bajo nivel de refrigerante
	Fuga refrigerante excluyendo calefacción

	Bomba de agua deteriorada o con fisura
	Deposito fisurado o tapa rodada
	Sensor de temperatura defectuoso/malo
	Electroventilador fijo (No gira)
	Tapas deflectoras
	Baja concentración de refrigerante
	Falta correa
	Perdida gas refrigerante R134A
	Problema polea compresor A/C
Aire acondicionado	Todo el sistema. EXEPCION: solo si está en ruta aplica DIF A
Calefacción	Todo el sistema. EXEPCION: solo si está en ruta aplica DIF A
Sistema motor	Filtración de aceite. EXCEPCIÓN: solo si filtración < 10 gotas por minuto en ruta, aplica DIF A.
	Abrazaderas de turbo cortadas o faltantes
	Intercooler / Mangueras rotas
	Fuga de petróleo
	Freno motor pegado
	Temperatura de servicio excesiva > 90º
	Golpe Motor
	Bajo nivel de aceite (según cantidad reflejada en varilla) DIF A
	Falta correa
	Cañerías con roce
	Tuerca cañería inyector manipuladas
	Aceite contaminado
	Humo blanco

	Baja presión de aceite
	Falla de Turbo
Sistema de transmisión	Golpe en cardan
	Cambios se saltan
	Fuga en cilindro de mando (alivianado)
	Golpe en transmisión
	Gamma no funciona
	Cambios no engranan
	Fuga liquido embrague
	Embrague Patina
Carrocería	Sin espejo retrovisores
	Vidrios rotos o trizados
	Escotillas (SEGURIDAD)
	Limpiaparabrisas Inoperativo Piloto/Copiloto
	Claraboyas desprendidas o con daño
	Grafica Interna y certificado de desinfección (Seguridad y COVID-19)
	Luces Exteriores
	Piquete en parabrisas que afecta visual piloto
	Parachoques en mal estado, con compromiso de desprendimiento y seguridad
	Extintores vencidos o ausentes
	Cinturón de seguridad en mal estado
	Tapas laterales sueltas
	Pasamanos y escaleras rotos o con daño
	cortinas de separación de asientos faltantes o rotas
	Baño inoperativo (solo si, tiene 1 años)
	Guillotina de baño Inoperativa

	Llaves de agua inoperativo
	Seguro de puerta de baño inoperativo
	Dispensador toalla papel interfoliado ausente o sin papel
	Dosificador de alcohol gel
	Sellado de techo o ventana incompleto
Sistema eléctrico	Falla de Batería
	Roce cables eléctricos
	Corte o consumo eléctrico
	Conectores o enchufes sulfatados
	Fusible en corte
	Alternador Motor / A/C
	Motor de Arranque defectuoso (Partida)
	Descenso programado
	Luz exterior quemada
	De-froster
	Ampolletas exteriores
	Bocina Inoperativa
Frenos auxiliares	Freno motor poco efectivo
	Top Brake INOP
	Retardador INOP
	Freno Estacionamiento INOP
SISTEMA DIFERIDO A	
Sistema dirección	Problema muñón < 0,3
Sistema aire	Cañerías con desgaste
Sistema electrónico	Cables a la vista

	Dispositivo USB mal estado
Sistema aire acondicionado	Atraso MP Aire Acondicionado > 10% contado en días
	Motor Evaporador (1 máx INOP)
Sistema calefacción	Motor soplador INOP
	Convectores sucios
Sistema motor	Fuga aceite (10 gotas por minuto máx.)
	Humo visible azul y negro
Sistema de transmisión	Palanca cambio con juego menor
	Diferencial con ruido leve y sin signos de filtración
	Caja de cambio con ruido leve y sin signos de filtración
	Fuga aceite (10 gotas por minuto máx.)
	Cruceta de palanca con juego
Carrocería	Maletero bloqueado
	Luz asiento (lectura)
	Paquetera con daño o sin control de volumen
	Espejos sueltos
	Cortinas de ventana
	Reclinación de asientos
	Regulación asiento conductor
Sistema eléctrico	Indicación de falla en tablero
	Que no compromete seguridad
	Regulación de luces
	Velocidad crucero no funciona
	Sensor de proximidad en falla
SISTEMA	DIFERIDO B

Sistema electrónico	Letrero itinerario
Sistema de transmisión	Embrague corta abajo
Carrocería	Malla Revistera rota o en mal estado
	Reclinación de asiento defectuosa
	Apoya brazos roto o desgastado
	Apoya pies en mal estado
	Luces Interior
	Espejo de baño
Sistema eléctrico	Baja intensidad de
	iluminación interior
	Ampolletas interiores inoperativas (máximo 2 no contiguas)
SISTEMA	DIFERIDO C
Carrocería	Grafica Interna (No seguridad)
	Limpiaparabrisas copiloto
	Bombines maleteros
	Luz asiento (lectura) INOP

Anexo 2: Tabla de Efectos y Consecuencias por Modo de Falla

Anexo A 2: Tabla de Efectos y Consecuencias de Falla

Modo de falla		Efectos de falla	Consecuencias de falla
1.1.1	Motor de partida sin potencia	Motor no enciende al accionar llave de contacto	bus queda inmovilizado y no disponible para la realización de un viaje de pasajeros, atrasando o suspendiendo la postura
1.1.2	Motor bloqueado o trabado sin posibilidad de girar	Cigüeña no gira o gira con mucha dificultad lo que trae consigo ruidos metálicos y una detención en ruta o terminal	Daño grave en motor central lo que implica el reemplazo o reparación del componente, lo que su a vez trae como consecuencia una inversión en repuestos y utilización de mano de obra especializada por alrededor de 2 semanas, periodo donde el bus no podrá operar. Si la falla se presenta en ruta se incurre en gastos de grúa y el reembarco de pasajeros
1.1.3	Baja presión de combustible en líneas de alimentación	Genera dificultad al momento de dar arranque o bien el bus pierde potencia de forma progresiva hasta la detención	Si la falla se presenta en servicio implica una detención prolongada y la activación de asistencia en ruta, de no ser posible la reparación también se incurre en gastos de traslado en grúa y el reembarco de pasajeros
1.1.4	Unidad de control electrónico (ECU) no envía señal con los parámetros de arranque	No enciende motor por la falta de señal dejando sin funcionamiento el motor de partida ni la inyección de combustible	bus queda inmovilizado y no disponible para la realización de un viaje de pasajeros, atrasando o suspendiendo la postura. Para la reparación será necesario equipo especializado

1.2.5	Sistema de filtros obstruidos	Limitación en flujo de aire o combustible al motor, lo que provoca a su vez pérdida de potencia y la presencia de humo negro	Al perder potencia el bus puede quedar inmovilizado en ruta, activando así el protocolo de atención en ruta y el transbordo de pasajeros.
1.2.6	Turboalimentado trabado	La potencia del bus se verá reducida a altas revoluciones, presencia de humo negro por combustión incompleta y es posible que se escuchen ruidos metálicos o silbidos	Al verse afectada la potencia, no es posible continuar con el viaje y se debe activar el protocolo de asistencia en ruta. En cuanto a la reparación, tomara varios días lo que se traduce en una indisponibilidad prolongada
1.2.7	Sistema de inyección con baja presión o regulación incorrecta por modulo ECU	genera una inyección de combustible deficiente lo que hará más difícil tanto el arranque como la operación del motor de combustión diésel, se evidenciará por humo negro por combustión incompleta	Se verá disminuida la potencia y rendimiento del motor, aumentará las emisiones de material particulado. Posibilidad de genera una panne en ruta. Si se mantiene la operación del bus en esa condición es posible generar daño en componentes mayores.
1.2.8	Baja compresión en cilindros de motor	Se produce una fuga de gases de la cámara de combustión al cárter, lo que trae como consecuencia la mezcla de aceite y gas. Además se propaga humo azul por el sistema de escape por quema de lubricante.	Se verá disminuida la potencia y rendimiento del motor, aumentará las emisiones de material particulado. Aumentará el consumo de aceite. Es posible provocar daño en sistema de turbocompresor. En caso extremo es posible causar un daño catastrófico al motor por material particulado en su interior y por consiguiente un tiempo de reparación extenso

1.2.9	Perdida de compresión por válvulas o culatas	El efecto principal sería la pérdida total o parcial de la compresión dentro de la cámara de combustión, impidiendo el arranque o un buen funcionamiento del motor	Se verá disminuida la potencia y rendimiento del motor, aumentará las emisiones de material particulado. Si la falla es por la culata defectuosa se incurrirá en gastos bastante altos para la reparación del equipo y la pérdida de operación por al menos 1 semana.
1.2.10	Bloqueo en sistema de escape de gases	genera un alza de temperatura de motor por la retención de gases, bajará la potencia porque la cámara de combustión no tendrá todo el volumen disponible por la contrapresión que se ejercerá desde el sistema de escape	Daños en componentes internos de motor y disminución de potencia. Fallos en los sensores por temperatura. De ocurrir en servicio se debe activar la asistencia en ruta.
1.2.11	Sensores de posición de cigüeñal (CKP) o árbol de levas (CMP) con lectura errónea	al no tener clara la posición del cigüeñal y el árbol de levas la unidad de control electrónica tendrá información errónea para el sistema de inyección lo que genera que el motor no encienda o se detenga de forma repentina.	genera la activación de códigos de error en panel, la disminución de potencia o directamente la detención del bus, lo que involucra la activación de asistencia en ruta si es que el bus está en servicio. Además se requiere de la revisión de códigos de falla por medio de scanner.

1.2.12	Distribución desincronizada por lectura errónea de sensores MAP o MAF	Mal sincronismo en la apertura y cierre de válvulas, lo que puede producir en caso extremos golpes internos de motor impacto entre válvulas y pistones.	En caso extremo se puede incurrir en la reparación interna por daños graves al interior del motor. De ocurrir en ruta se debe incurrir en gastos de grúa.
1.3.13	Alza de presión en líneas de combustible	la reacción de combustión al estar sobrealimentada de combustible genera un nivel de material particulado y Nox superior a la norma euro 3 (modelo de bus)	Si bien no implica el riesgo de una detención en ruta, aumenta el consumo de combustible, genera daños prematuros en componentes que trabajen en conjunto.
1.3.14	Emisión de humo azul por quema de aceite en cámara de combustión.	La señal de humo azul indica el ingreso aceite a la cámara de combustión lo que aumenta la emisión de contaminantes y reduce el nivel de aceite a una mayor velocidad	Si bien no implica el riesgo de una detención en ruta, aumenta el consumo de aceite poniendo en riesgo la funcionalidad del motor.
1.3.15	Sistema DPF (filtro de partículas) obstruido o defectuoso	Al no poseer una barrera física para la emisión de material particulado, el nivel de emisiones aumenta levantando la alerta de mal funcionamiento	Si bien no implica el riesgo de una detención en ruta, disminuye el flujo de los gases de salida poniendo en riesgo la funcionalidad del motor y componentes solidarios como las válvulas de recirculación de gases (EGR)

1.3.16	Alerta en tablero por en sistema de recirculación de gases (EGR)	si falla este componente no se realiza la acción de inyectar nuevamente los gases del escape a la admisión, lo que aumenta los niveles de Nox. A su vez ese déficit de gases genera una falla parcial en el funcionamiento del motor.	si el daño es mayor es posible generar una detención en ruta y su respectiva asistencia, si la falla es parcial el motor aumenta el consumo de combustible.
1.4.17	Bajo nivel o fuga de refrigerante	Reduce la capacidad para disipar el calor aumentando la temperatura interna del motor activando el luz de alerta en panel	Esta falla pone en riesgo el componente ya que al aumentar la temperatura puede ocasionar el agarrotamiento del motor, daño culatas o en la junta si es que no se detiene cuando se enciende la alerta. Requiere detención inmediata del servicio y la activación de grúa
1.4.18	Termostato atascado	dependiendo del estado de la falla, por ejemplo, si el termostato queda cerrado el refrigerante no circula aumentando la temperatura. En caso de quedar abierto el motor trabaja sin alcanzar una temperatura óptima para el funcionamiento.	En posición cerrada aumenta la temperatura y no levantaría alerta en tablero generando falla catastrófica para el motor. En posición abierta aumenta el consumo de combustible y aumenta el nivel de emisiones.
1.4.19	Obstrucción interna de enfriadores (refrigerante o aceite)	Disminuye el flujo de refrigerante lo que genera perdida en la capacidad de disipación de temperatura	Aumenta rápidamente la temperatura de motor, esta condición se ve agravada en caso de una carga excesiva el bus o en una ruta con pendiente. Si no se detiene de inmediato puede provocar falla catastrófica, además se debe

			activar activación en grúa y en caso de no ser posible la reparación es necesario activar grúa.
1.4.20	No activa electroventilador de motor	el radiador no recibe un flujo de aire adicional cuando se encuentra detenido o cuando aumenta el tráfico, o bien en condiciones normales pero aumenta un poco la temperatura.	Genera un alza de temperatura sobre todo en condiciones urbanas.
1.4.21	Caudal de refrigerante proporcionada por bomba de agua es insuficiente	Bajo flujo de agua en el sistema de refrigeración.	Rápido aumento en la temperatura de motor generando fallas como las mencionadas en los modos de falla 1.4.17 y 1.4.19
2.1.22	Cable cortado o expuesto al chasis impidiendo conexión	Interrupción del flujo eléctrico hacia uno o más componentes, apagando módulos, luces o sensores	Se genera la falla en funciones electrónicas dentro del bus incurriendo en alguna panne. Además, se incurre en el riesgo de incendio si la falla no es alertada. Se requiere reparación inmediata dejando fuera de servicio el bus.
2.1.23	Perdida de alimentación en algún modulo	El módulo des energizado deja de operar deteniendo su función principal (inyección, luces, etc.), dando la alerta en tablero. Si el módulo es central dejara la línea CAN en falla afectando más de un sistema de	Genera la detención del bus, activando así la asistencia en ruta y de no ser posible la reparación se debe activar el servicio de grúa para traslado a taller

		funcionamiento del bus.	
2.1.24	Conectores sueltos o sulfatados	a diferencia de la perdida de alimentación, este modo de falla genera intermitencia en el funcionamiento de los componentes energizados o lecturas erróneas.	Genera alertas en tablero y fallas erráticas dentro del sistema, se incurre en la utilización de mano de obra especializada ya que el diagnóstico es bastante difícil dado que la falla es intermitente
2.2.25	Cortocircuito intermitente o total	Ante el corte eléctrico ocurren apagones repentinos y la quema de fusibles, además de la presencia de olor a quemado.	Genera alertas en tablero y fallas erráticas dentro del sistema, en caso critico implica una detención en ruta por lo que se debe solicitar asistencia y/o servicio de grúa.
2.3.26	Alternador no gira o gira de forma parcial entregando parámetros de voltaje alterados	Se enciende testigo del sistema de la batería en panel de control y la batería se comienza a descargar progresivamente	En algún momento el bus se detendrá por falta de energía, lo que activará el protocolo de asistencia en ruta.

2.4.27	Ampolletas quemadas	Perdida de iluminación en donde se encuentra la falla, dejando sin visibilidad de la ruta al conductor en caso de que sean las luces principales, o de alguna señalización para los demás vehículos en ruta si es que se queman las luces de freno o de intermitente	Se pone en riesgo la seguridad de los pasajeros dado que es posible que se genere un accidente por falta de visibilidad. Además, se incurre en una falta a la norma del tránsito. Requiere atención en ruta o bien precaución por parte del conductor para terminar viaje y llegar a taller.
2.4.28	Contactos o pines sulfatados	Se presenta intermitencia en el sistema de luces de carretera o de señalización	Se pone en riesgo la seguridad de los pasajeros dado que es posible que se genere un accidente por falta de visibilidad. Además, se incurre en una falta a la norma del tránsito. Requiere atención en ruta o bien precaución por parte del conductor para terminar viaje y llegar a taller.
2.4.29	Cables cortados	Perdida de iluminación en donde se encuentra la falla, dejando sin visibilidad de la ruta al conductor en caso de que sean las luces principales, o de alguna señalización para los demás vehículos en ruta si es que se queman las luces de freno o de intermitente	Se pone en riesgo la seguridad de los pasajeros dado que es posible que se genere un accidente por falta de visibilidad. Además, se incurre en una falta a la norma del tránsito. Requiere atención en ruta o bien precaución por parte del conductor para terminar viaje y llegar a taller.

2.4.30	Fusible o relé en corte impidiendo conexión	Perdida de iluminación en donde se encuentra la falla, dejando sin visibilidad de la ruta al conductor en caso de que sean las luces principales, o de alguna señalización para los demás vehículos en ruta si es que se queman las luces de freno o de intermitente	Se pone en riesgo la seguridad de los pasajeros dado que es posible que se genere un accidente por falta de visibilidad. Además, se incurre en una falta a la norma del tránsito. Requiere atención en ruta o bien precaución por parte del conductor para terminar viaje y llegar a taller.
3.1.31	Fuga de refrigerante por cañerías o conexiones	Perdida de la capacidad del sistema para enfriar el salón y la cabina del conductor, puede generar falla en el compresor del sistema por trabajar sin fluido.	Ante el alza de temperatura los pasajeros pueden generar un reclamo a la tripulación, afectando el nivel de servicio entregado. Se debe reparar una vez llegue a la destino el bus.
3.1.32	Sensor de temperatura con lectura errónea	Ante la presencia de la falla no se activará la climatización o se mantendrá activada por más de lo necesario para mantener una temperatura en específico	Puede generar incomodidad en los pasajeros. Se debe reparar una vez llegue a la destino el bus.

3.1.33	Condensador sucio	El gas refrigerante no se condensa lo que aumentaría la presión del sistema perdiendo así la eficiencia o deteniendo por completo el A/C para el proceso de enfriamiento	Puede generar fallas en los demás componentes del sistema y al no enfrían el salón provoca el reclamo de pasajeros
3.1.34	Evaporador o válvula de expansión bloqueada	el gas refrigerante no se expande bajo las condiciones adecuadas, generando hielo en las líneas lo que puede generar goteras dentro del salón donde van los pasajeros. En caso de que la falla sea total, se perdiera la capacidad de enfriamiento del sistema de aire acondicionado	Además del malestar de los pasajeros por la temperatura, se debe intervenir el sistema de aire acondicionado lo que conlleva una reparación bastante compleja
3.1.35	Ventilador del sistema sin movimiento	El material particulado en alguno de los componentes del sistema de aire acondicionado provoca la reducción en el flujo de aire y de eficiencia en el intercambio de calor y cambia las presiones de trabajo dentro del sistema. Todo esto reduce la capacidad de enfriamiento	Disminuye la capacidad de enfriar, aumentando así la temperatura dentro del salón provocando mal estar a los pasajeros. Además puede generar falla en el compresor.

3.2.36	Compresor de aire acondicionado no acopla	El compresor no entra en funcionamiento por lo que no hay circulación de gas dentro del sistema de aire acondicionado. Perdida de la capacidad de enfriamiento	Disminuye la capacidad de enfriar, aumentando así la temperatura dentro del salón provocando mal estar a los pasajeros. Se debe detener el bus para reparación o cambio del componente
3.2.37	Compresor no trabaja por bloqueo en funcionamiento	el compresor no funciona correctamente perdiendo la capacidad de enfriamiento de forma total o parcial lo que impide enfriar el salón de pasajeros	Además del malestar de los pasajeros por la temperatura, se debe intervenir el sistema de aire acondicionado lo que conlleva una reparación bastante compleja y de alto costo económico para la empresa
3.3.38	Difusores bloqueados	Al mantener los difusores bloqueados baja el flujo de aire al salón, lo que genera una baja en la capacidad de enfriamiento	Disminuye la capacidad de enfriar, aumentando así la temperatura dentro del salón provocando mal estar a los pasajeros. Se debe detener el bus para reparación y/o limpieza del componente
4.1.39	Ruedas dentadas con dientes dañados	el sistema de transmisión no ejecuta el cambio de marcha y existe la posibilidad de que la caja de cambios quede bloqueada generando el código de falla en tablero. Además se van a sentir golpeteos metálicos y vibraciones	al ir en servicio se incurre en un panne y la activación de la asistencia en ruta por un equipo especializado en transmisión.

4.1.40	Rotura o desgaste de componentes de kit de embrague	Dependiendo del nivel de daño la maquina presentara dificultad de movimiento por resbalamiento entre el motor y la transmisión, lo que a su vez va a desprender olor a quemado y ruidos molestos	La falla en caso de ocurrir en ruta va a impedir continuar con el viaje y se deberá activar el protocolo de asistencia en ruta y muy probablemente la asistencia en grúa. La reparación tarda de 2-3 días de ejecución lo que se traduce en indisponibilidad del activo. además de que mantendrá un costo de medio a elevado.
4.1.41	Cardan fracturado o juntas cardánicas con juego excesivo	Ante la fractura el bus perderá la capacidad de moverse ya que no habrá conexión entre la caja de cambios y el eje motriz. En caso de juego en la junta cardánica existirán vibraciones y ruidos molestos	al ser una falla grave se activa el protocolo de asistencia en ruta y grúa al mismo tiempo. en relación a la reparación llevara aproximadamente 5 días de trabajo entre la reparación e instalación del componente.
4.1.42	Bomba de aceite de transmisión con bajo caudal	Al bajar el caudal de aceite, la temperatura de transmisión aumentara y si es falla critica existe un nivel de ruido metálico y un mal o nulo funcionamiento de los cambios.	En caso de que el conductor no se percate y no detenga el bus es posible la falla mayor del sistema de transmisión, activando así el protocolo de asistencia en ruta y grúa. La reparación será larga en caso de no existir una transmisión de Back-up. Además de costosa

4.2.43	Nivel de aceite de caja bajo	La caja de cambios al no tener un nivel adecuado de aceite en circulación genera que el roce entre engranes aumente lo que provoca que el cambio de marchas se produzca de forma brusca o pesada, si se continua con la operación en estas condiciones es posible que se comience con el daño de componentes por desprendimiento de material particulado. Además con un bajo nivel de aceite aumenta la temperatura de trabajo de la caja de cambios lo que se levantara como alerta en tablero	En caso de que el conductor no se percate y no detenga el bus es posible la falla mayor del sistema de transmisión, activando así el protocolo de asistencia en ruta y grúa. La reparación será larga en caso de no existir una transmisión de Back-up. Además de costosa
4.2.44	Válvulas controladoras de marchas obstruidas	Al no existir activación asistida del mecanismo de cambio de marcha, los cambios no se podrán pasar o bien se van a saltar	Al no poder realizar el cambio de marcha se debe activar el protocolo de asistencia en ruta y la grúa al mismo tiempo. En cuanto a la reparación no es costosa ni compleja.

4.3.45	Aceite degradado	Ante la presencia de algún contaminante o la perdida de las características técnicas, el aceite pierde la capacidad de lubricación de los componentes internos de transmisión generando aumento de temperatura y ruidos	Las consecuencias de esta falla son más paulatinas y fácilmente detectables por lo que es poco probable que se genere una panne en ruta y solo debe incurrir en el cambio de aceite y filtros del sistema.
4.3.46	Enfriador de aceite obstruido	la presencia de este modo de falla aumentara la temperatura del sistema de transmisión del bus, activando los testigos en tablero respectivos cuando alcance el nivel critico	Las consecuencias de esta falla son más paulatinas y fácilmente detectables por lo que es poco probable que se genere una panne en ruta y solo debe incurrir en el cambio de aceite y filtros del sistema.
5.1.47	Filtración de aire y ruido por juntas estructurales	Ante una falla en los sellos se perdiera la estanqueidad del habitáculo del salón por lo existirían fugas de calor o aberturas por donde entraría viento o agua.	De presentarse en ruta es posible causar la incomodidad al pasajero por los cambios de temperatura y los sonidos molestos. Se debe reportar por parte de la tripulación para su pronta reparación.
5.1.48	Sonidos de motor elevados en salón de pasajeros	Aumenta el nivel de ruido dentro del salón incomodando a los pasajeros, y en caso critico es posible el ingreso de gases contaminantes desde el motor.	De presentarse en ruta es posible causar incomodidad al pasajero y en caso de una falla mayor y entran gases al salón se debe reparar lo antes posible por poner en peligro la salud de los clientes

5.1.49	Descuadre en cierre de puertas o portalones	Al presentarse esta falla va a provocar la dificultad de un cierre correcto de las puertas generando así vibraciones y perdida de hermeticidad	Cuando se presenta esta falla se pone en riesgo la seguridad de los pasajeros por una posible apertura involuntaria de la puerta de acceso y se debe proceder de a la brevedad posible la reparación definitiva
5.2.50	Fijación de componentes (Asientos, molduras, pasamanos, paneles, etc.) mal instaladas o sueltas	una mala fijación de componentes genera vibraciones que el pasajero podría percibir incomodando su viaje e incluso es posible el desprendimiento de piezas en ruta	Cuando se presenta esta falla es posible afectar el confort del pasajero durante el viaje disminuyendo el nivel de servicio entregado, además la vibración puede generar impacto en otros componentes por lo que la maquina debe entrar a taller lo antes posible para su reparación definitiva
5.2.51	Asientos sin inclinación o con un rango menor de inclinación	Al no poder reclinar el asiento el pasajero vería afectado su nivel de confort, lo que puede provocar reclamos o quejas con la tripulación	Ante la presencia de esta falla es muy probable que se genere el reclamo o una baja calificación en la encuesta de satisfacción por lo que se debe reparar lo antes posible para dar una reparación definitiva y así ahorrar en el reemplazo del mecanismo completo o el asiento.
5.2.52	Rotura de fijaciones o soportes de piezas o estructuras	El efecto de la falla seria la inmovilización del componente ya sean asientos, paneles o partes de la carrocería exterior. Además de la posibilidad de generar daños en otros sistemas	Inmediatamente después de que se presenta la falla hay que evaluar la capacidad de continuar con el viaje, en caso de que sea grave como el desprendimiento de latas o puertas se debe activar la asistencia en ruta y el reembarque de pasajeros. En caso de que sea leve como la falla en un asiento se debe ver la posibilidad de cambio y generar algún tipo de compensación para el pasajero afectado.

5.3.53	Presencia de agua en puertas o ventas	El bus pierde parte de su estructura exterior dejando expuesto el salón o cabina, por donde es posible el ingreso de agua o viento, afectando a los pasajeros de sobremanera	Si se presenta esta falla es necesario detener el servicio inmediatamente, activar la asistencia en ruta y embarcar a los pasajeros en otro bus ya que estaría siendo afectada su salud y comodidad. El bus debe ser derivado a taller lo antes posible para su reparación.0
5.3.54	Fisuras en carrocería exterior	Esta falla provoca la filtración o ingreso de agua en caso de un clima húmedo o lluvioso dentro del salón, además de que afectaría la temperatura dentro del bus	las consecuencias de este modo de falla son los reclamos de pasajeros y por lo tanto en las compensaciones del caso. Además de que si no reportada es posible que genere daños en pisos o estructuras.
5.3.55	Presencia de agua en juntas de techo de salón de pasajeros o cabina de conductores	Si no se sella correctamente el bus es posible el ingreso de agua por la unión de paneles, escotillas o por el sistema de climatización	Al presentarse esta falla el confort del pasajero se ve afectado negativamente y por lo tanto se generará el reclamo y por lo tanto las compensaciones del caso
5.3.56	Presencia de agua en ubicación de conexión de luces exteriores	Si no se sellan las molduras de los faroles de posición o trochas es posible el ingreso de agua al habitáculo del bus o la falla en la conexión de las luces	Si la falla afecta de sobremanera las luces de posición es necesario detener el servicio y activar la asistencia en ruta. Además es posible incurrir en multas por dicho motivo.

5.3.57	Bomba de agua sin caudal para descarga de agua	Al no poder evacuar los líquidos es posible que se acumulen residuos y olores desagradables lo que incomodaría a prácticamente todos los pasajeros	Al presentarse esta falla, no se podría usar el baño por lo tanto no es posible prestar el servicio de transporte de pasajeros, y si se presenta en ruta es posible que genere grandes inconvenientes en los pasajeros. Debe ingresar lo antes posible a reparación.
5.3.58	Rotura de componentes (grifería, tapas pestillo, etc.)	Dejaría componentes del baño inutilizables lo que causaría incomodidad en los pasajeros y caso de que sea mayor no se podría efectuar el viaje	Al presentarse esta falla, no se podría usar alguno de los componentes el baño por lo tanto no es posible prestar el servicio de transporte de pasajeros, y si se presenta en ruta es posible que genere grandes inconvenientes en los pasajeros. Debe ingresar lo antes posible a reparación.
5.3.59	Estanque o líneas de conexión fisuradas u obstruidas	Sin agua quedaría inoperativo el lavamanos y el sistema de descarga del baño y caso de viajes más largos sería causal de interrumpir el viaje	Al presentarse esta falla, no se podría usar alguno de los componentes el baño por lo tanto no es posible prestar el servicio de transporte de pasajeros, y si se presenta en ruta es posible que genere grandes inconvenientes en los pasajeros. generando reclamos. Debe ingresar lo antes posible a reparación.

Anexo 3: Detalle de cambios de motor flota Mercedes Benz

Anexo A 3: Datos de cambio de Motor flota Mercedes Benz

Fecha	Bus	Ot	Parte	Descripción	Coste total	Kilómetros
28/06/2024	2431	5203749	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 15.811.963,81	1.933.092
23/05/2024	2445	5249983	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 15.174.109,11	1.715.983
11/05/2024	4270	5136736	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 3.563.000,00	1.520.971
16/03/2024	2507	5120877	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 3.465.000,00	1.311.005
04/03/2024	2427	5228173	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 15.188.713,56	1.226.346
17/02/2024	2426	5246218	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 13.281.078,78	1.494.868
01/02/2024	2557	4967500	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 15.729.103,84	1.734.950
01/02/2024	2480	4967496	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 15.729.103,84	1.269.224
06/09/2023	2404	4839450	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 15.729.103,84	1.980.479
30/08/2023	2364	4789502	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 15.766.161,96	1.369.614
22/08/2023	2551	4827382	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 15.766.161,96	1.998.687
12/05/2023	2444	4754641	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 15.654.987,61	1.462.346
28/04/2023	2499	4761481	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 1,00	1.169.143
24/04/2023	4278	4758339	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 15.784.189,72	1.545.568
06/03/2023	2390	4727141	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 15.779.224,43	1.857.444
20/02/2023	2361	4718503	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 15.659.486,74	1.761.460
01/02/2023	2425	4709306	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 15.382.756,99	1.657.179
16/01/2023	2488	4683248	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 15.382.756,99	1.316.283
03/01/2023	2367	4686158	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 15.294.665,84	1.544.053
14/12/2022	2574	4681061	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 826.840,95	1.390.511
07/12/2022	2357	4676823	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 14.887.998,75	1.382.528
01/12/2022	2401	4673460	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 14.887.998,75	1.913.603
25/11/2022	2503	4671091	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 14.647.042,50	1.986.683
17/11/2022	2420	4667008	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 2.674.698,22	1.680.756
26/10/2022	2531	4653080	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 14.304.904,87	1.357.344
17/10/2022	2402	4647962	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 13.919.842,39	1.992.625
04/10/2022	2564	4641737	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 13.332.861,27	1.323.361
22/09/2022	2489	4633788	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 3.092.420,25	1.984.173
12/09/2022	2528	4612326	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 13.332.861,27	1.998.647
08/08/2022	2388	4587501	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 11.675.986,86	1.999.798
24/06/2022	2501	4576124	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 11.675.986,86	1.318.614
02/06/2022	4272	4555155	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 14.611.126,48	1.436.865
25/05/2022	4272	4555155	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 14.611.126,48	1.436.865
13/05/2022	2398	4523055	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 13.181.828,76	1.117.930

09/05/2022	4273	4551489	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 13.181.828,76	1.864.259
22/04/2022	2482	4542800	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 13.181.828,76	1.388.795
06/04/2022	2430	4535676	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 13.031.561,41	1.431.938
07/03/2022	2415	4516981	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 12.823.324,52	1.481.237
07/03/2022	2563	4520134	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 12.823.324,52	1.286.849
24/02/2022	2565	4514315	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 13.074.225,22	2.065.248
23/02/2022	2523	4514793	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 13.074.225,22	1.999.616
22/02/2022	2365	4500882	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 13.184.981,27	1.244.274
07/02/2022	2418	4506981	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 13.184.981,27	1.745.757
02/02/2022	4263	4504858	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 13.184.981,27	1.437.527
02/02/2022	2346	4504854	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 13.184.981,27	1.408.949
27/01/2022	2370	4483084	68639	MOTOR MB 457 EURO III 360CV	\$ 13.184.981,27	1.230.191

Anexo 4: Pauta de mantenimiento preventivo climatización.

Anexo A 4: Propuesta de pauta de climatización

Preventivo de Climatización			
Nombre técnicos:		NºBus :	Fecha :
			Nº OT :
Nº Tarea	Capítulo 1	Bueno o Malo	Observación
1	inspeccionar funcionamiento completo del equipo de aire acondicionado		
2	primero colocar manómetro para revisar presiones y carga de gas r134a		
3	verificar funcionamiento de motores evaporadores, condensadores y sus velocidades y revisar sujeción de motores evaporadores		
4	verificar flujo de aire y temperatura de salida de difusor (anemómetro) primer y segundo piso		
5	verificar consumo y voltaje de motores evaporadores		
6	verificar estado de radiadores evaporadores si están sucios y contaminados, y limpiar filtros de polen		
7	inspección visual de compresor y circuito de presostatos		
8	revisar estado de aceite y de compresor		
9	revisar estado de fusible general		
10	revisar cables de fuerza de alternador (+) y (-)		
11	Revisar estado de terminales de ojo de alternador		
12	inspeccionar rodamientos de kit de embrague y de alternador		
13	revisar consumo de equipo completo		
14	revisar estado de correas de compresor y alternador		
15	inspección visual de estado de soportes de base compresor + Alineación de compresor y alternador		

16	revisar voltaje de alternador y carbones de caja reguladora		
17	inspección visual de placa relé y conexiones eléctricas de relés y fusibles		
18	inspeccionar donde está ubicado el arnés eléctrico de aire acondicionado		
19	inspección visual de estado de flexibles de compresor y condensador (succión y descarga)		
20	inspeccionar el estado de solenoides de condensador si aplica (aires o climabuss)		
21	Revisar set point de panel control		
Inspección Defroster			
1	verificar funcionamiento de aire acondicionado en cabina accionando el motor evaporador y verificar funcionamiento		
2	verificar flujo de aire en los difusores de cabina con (anemómetro)		
3	inspección visual y fijación de las mangas del defroster		
4	revisar filtro de polen de cabina defroster		
5	revisar funcionamiento de motor dámara del defroster		
6	revisar relé, termostato de T° del radiador ac y cable de alimentación de defroster completo		
7	revisar voltaje de alimentación de v/v de cabina a/ac e inspección visual de v/v de cabina		
8	inspección visual de flexibles a/ac de alta y baja del defroster		
Capítulo 2			
1	cambiar aceite de compresor		
2	cambiar filtro secador		
3	revisar posibles fugas con test de fuga		
4	cambiar empaquetaduras de compresor		
5	sacar evaporadores y lavarlos (sacar motores de evaporador)		
6	sacar condensador y lavar (separar base de motores condensador del mismo)		
7	cambiar rodamiento de kit de embrague		
8	medir resistencia de bobina de kit de embrague		

9	cambiar chaveta de cigüeñal		
10	motor evaporadores y condensador (verificar correctamente sujeciones y correcto montaje)		
11	realizar test de fuga, vacío y carga completa		
12	verificar funcionamiento completo de aire acondicionado		
Capítulo 3 Calefacción			
Inspección de calefacción completa			
1	revisar funcionamiento de calefacción completa (cabina, primer piso y segundo piso)		
2	revisar posibles fugas de anticongelante en uniones, llaves de paso y válvulas de calefacción		
3	revisar estado de mangueras de calefacción		
4	revisar flujo de anticongelante de retorno de retardador		
5	revisar accionamiento completo de cabina (motor, válvula de calefacción y motores de dámper de dirección de aire)		
6	revisar válvula de calefacción cabina y sus conexiones		
7	revisar estado de bomba elevadora (si la tiene, flujo y conexiones eléctricas)		
8	revisar que esté todo rotulado con su sticker correspondiente (teclas de accionamiento de motor de defroster, calefacción cabina y bomba elevadora)		
Preventivo calefacción			
1	cambiar mangueras de bus completo, (cambiar abrazaderas y tubos unión), colocar corrugado a todas las mangueras y dejar fijadas con amarras plásticas		
2	cambiar membranas de electroválvulas (obs. si lo requiere solo válvulas proart)		
3	cambiar llaves de paso de alimentación y retorno		
4	cambiar anticongelante		
5	probar funcionamiento completo de calefacción (cabina, primer piso segundo piso)		

Anexo 5: Pauta de inspección mayor de sistema Motor

Anexo A 5: Propuesta de pauta de inspección de sistema Motor

Pauta de inspección mayor de Motor Mercedes Benz O-500 RSD 360cv			
Nombre técnicos:		N°Bus :	Fecha :
			N° OT :
N° Tarea	Tarea	bueno o malo	Observación
Sistema de lubricación			
1	Análisis de muestra de aceite (presencia de partículas metálicas, principalmente de fierro y cobre. Presencia de agua o combustible)		
2	Medición de presión de aceite en condiciones de trabajo		
3	Inspección de bomba de aceite (caudal y estado de mecanismo interno)		
4	Revisión de enfriador de aceite (caudal y/o fugas)		
Sistema de refrigeración			
5	Prueba de estanqueidad completa (radiador y mangueras)		
6	Medición de presión de refrigerante		
7	Inspección de estado de bomba de agua		
8	revisión de estado de bomba de agua (caudal y fugas)		
9	Revisión de termostato		
Sistema de alimentación de aire			
10	Inspección de Turbocompresor (juego axial y radial)		
11	revisión de intercooler (obstrucciones o fugas)		
12	revisión de conductos de admisión		
13	Medición de presión de aire que entrega Turbocompresor a diferentes RPM (0,0-1,4 bar)		
Sistema de inyección y combustión			
14	Prueba de Inyectores en banco de pruebas (caudal y pulverización)		
15	Verificación de presión de bomba de inyección		

16	Inspección del sistema de retorno de combustible en el sistema de inyección		
17	revisión de parámetros por medio de Scanner (parámetros de inyección y códigos de falla en el sistema)		
Sistema Conjunto motriz			
18	Medición de compresión por cilindro		
19	Inspección de culatas (fisuras, asientos de válvulas, superficie)		
20	revisión de la cámara de combustión y superficie superior de pistones		
21	Inspección de cigüeñal y bielas (inspección visual al retirar Carter)		
Sistema de escape			
22	Verificar estado de múltiple de escape (fisuras o grietas)		
23	Inspección de funcionamiento de sensores (Oxígeno temperatura y EGR)		
24	Medición de presión de salida de gases de escape (0-0.4 bar)		
Evaluación en vuelta de prueba con Scanner conectado			
25	Registró de parámetros (potencia, temperatura, presión y consumo de combustible)		
26	Prueba en dinamómetro para comparación de parámetros		

Anexo 6: Propuesta de pauta intermedia

Anexo A 6: Propuesta de pauta intermedia. Elaboración propia

Pauta intermedia Flota Cóndor Corta distancia			
Nombre técnicos:		N° Bus:	Fecha:
			N° OT:
N° Tarea	Tarea	Bueno o malo	Observación
Sistema Motor			
1	Revisar nivel de aceite de motor (32 litros). Verificar estado, sin contaminación.		
2	Revisar que no existan fugas de aceite por empaquetaduras, tuberías ni cárter.		
3	Revisar correas (no cortadas ni partidas) y poleas (sin filos cortantes). Verificar tensión: 450 N usadas / 500 N nuevas, con tensiómetro.		
4	Verificar alineación de correas con regleta.		
5	Revisar con potenciómetro acople de electroventilador (no debe quedar fijo).		
6	Revisar sellos de agua de block de motor.		
Sistema Transmisión			
7	Revisar nivel y estado de aceite de retardador (6,7 L) y caja de cambios (13 L). Sin partículas metálicas ni espuma		
8	Revisar y registrar códigos activos de sensor de retardador con Scanner		
9	Revisar estado de cables hacia retardador (sin óxido, pines rotos o sulfatados). Limpiar y reconectar		
Sistema de Refrigeración			
10	Revisar posibles fugas de refrigerante		
11	Revisar estado de mangueras de refrigeración (retardador y calefacción). Deben tener abrazaderas		
12	Revisar bomba de agua (sin pérdidas, sin juego axial ni radial)		
13	Revisar poleas del electroventilador (sin juego, ruido ni desgaste)		
14	Revisar aspas del electroventilador (sin juego ni quebraduras)		
15	Revisar estado de tapa de depósito de refrigerante		
16	Revisar estado de depósito de refrigerante		

17	Usar refractómetro para revisar concentración de glicol		
Sistema eléctrico			
18	Revisar estado de conectores, anclajes y terminales del motor de partida		
19	Revisar estado de luces delanteras y traseras		
20	Revisar estado de cables y bornes de batería (no sulfatados ni cortados)		
21	Revisar carga y vida útil de batería con tester (12 V, 150–170 A)		
Sistema neumático (red de aire)			
22	Verificar funcionamiento válvula APU (sin fugas, acumula 10 bar)		
23	Verificar estado tubo de admisión del compresor (conectado y sin fugas)		
24	Revisar flexible de malla		
25	Revisar fugas en líneas de aire (agua + jabón en uniones)		
26	Eliminar acoples rápidos plásticos en frenos y suspensión, reemplazar por metálicos		
27	Verificar presencia de presillas en todas las cañerías		
Carrocería			
27	Revisar fijación de componentes interiores (asientos, pasamanos, molduras y paneles). Hay que asegurar que no presenten juego ni tornillería suelta		
28	Verificar estado y funcionamiento de puertas de acceso y emergencia (apertura, cierres y mecanismos)		
29	Verificar estado de espejos retrovisores y soportes (firmes, sin vibraciones)		
30	Inspeccionar carrocería exterior (corrosión, golpes, pintura desprendida)		

Anexo 7: Inciso 7 de pauta de inspección eléctrica

Anexo A 7: Capítulo 7: Pauta de inspección eléctrica.

7.- Inspección de Ramal parte inferior	
Ítem	Actividad principal
7.1	Inspeccionar parte inferior delantera del bus, ubicar red can y ramal, medir continuidad de corriente (sin dañar cableado). Rutear y normalizar cableado. - Cables sin corriente, cortados o en mal estado, eliminar y normalizar. - Asegurar el cableado quede seguro y sellado. Sin líneas expuestas a condiciones ambientales ni conexiones fuera de estándar. Ordenar y normalizar cableado.
7.2	Inspeccionar parte media del bus, revisar cableado (red can y ramal), asegurando que no existan conexiones fuera de estándar o líneas de corriente alternas no autorizadas. Nota: Ordenar y normalizar cableado, verificar que el corrugado. Importante: El cableado (Ramal) NO debe rozar con chasis, ya que puede provocar daños en el funcionamiento del bus (sin energía). Se debe procurar que los cables queden fijos, protegidos y normalizados.
7.3	Inspeccionar parte trasera de bus, ubicar ramal can y ramal eléctrico. Medir continuidad de corriente. Revisar que no existan conexiones fuera de estándar o líneas de corriente alternas no autorizadas o cables colgando sin corriente, de la misma forma revisar el corrugado que no esté mojado. Nota: Ordenar y normalizar de acuerdo con las prácticas estándar del mantenimiento eléctrico.
7.4	Inspeccionar ramal de motor de combustión, no deben existir conexiones fuera de estándar. Dejar ordenado, fijo y normalizar cableado.
7.5	Certificar la fijación de cables de fuerzas y masa para motor de partida. Preocupar que los conectores queden fijos y ordenados. Nota: Si existe alteraciones o conexiones fuera de estándar eliminar. Nota: Ordenar y normalizar cableado.

Anexo 8: Registro Jerárquico de fallas

Anexo A 8: Registro Jerárquico de fallas

Código Sistema	Sistema	Código Subsistema	Subsistema	Código Componente	Componente
10	Aire acondicionado	10.1	Compresor	10.1.1	Embrague
		10.1	Compresor	10.1.2	Polea y rodamientos
		10.1	Compresor	10.1.3	Cárter y válvulas internas
		10.2	Condensador	10.2.1	Paneles
		10.2	Condensador	10.2.2	Tuberías y conexiones
		10.3	Evaporador	10.3.1	Núcleo
		10.3	Evaporador	10.3.2	Válvula de expansión
		10.4	Ventiladores	10.4.1	Motor eléctrico
		10.4	Ventiladores	10.4.2	Aspas
		10.5	Líneas	10.5.1	Tuberías y mangueras
15	Calefacción	15.1	Radiador de calefacción	15.1.1	Núcleo
		15.1	Radiador de calefacción	15.1.2	Válvula de paso
		15.2	Ventiladores	15.2.1	Motor eléctrico
		15.2	Ventiladores	15.2.2	Aspas
		15.3	Conductos	15.3.1	Difusores/compuestas
20	Carrocería	20.1	Estructura	20.1.1	Bastidor
		20.1	Estructura	20.1.2	Paneles laterales y techo
		20.2	Puertas	20.2.1	Actuador neumático/eléctrico
		20.2	Puertas	20.2.2	Bisagras y cerraduras
		20.3	Ventanas/parabrisas	20.3.1	Conjunto vidrio y sellos
		20.4	Asientos	20.4.1	Estructura metálica
		20.4	Asientos	20.4.2	Anclajes
		20.5	Molduras/fijaciones	20.5.1	Abrazaderas y clips
25	Motor central	25.1	Refrigeración	25.1.1	Radiador
		25.1	Refrigeración	25.1.2	Bomba de agua
		25.1	Refrigeración	25.1.3	Termostato
		25.1	Refrigeración	25.1.4	Mangueras y conexiones

		25.1	Refrigeración	25.1.5	Sensor de temperatura
		25.2	Lubricación	25.2.1	Bomba de aceite
		25.2	Lubricación	25.2.2	Filtro de aceite
		25.2	Lubricación	25.2.3	Enfriador de aceite
		25.2	Lubricación	25.2.4	Líneas de lubricación
		25.3	Inyección/ alimentación	25.3.1	Inyectores
		25.3	Inyección/ alimentación	25.3.2	Bomba de alta presión
		25.3	Inyección/ alimentación	25.3.3	Riel común
		25.3	Inyección/ alimentación	25.3.4	Sensores de presión/caudal
		25.4	Tren alternativo	25.4.1	Pistones y anillos
		25.4	Tren alternativo	25.4.2	Bielas
		25.4	Tren alternativo	25.4.3	Cigüeñal
		25.4	Tren alternativo	25.4.4	Cojinetes
		25.5	Culata y válvulas	25.5.1	Culata
		25.5	Culata y válvulas	25.5.2	Válvulas admisión/escape
		25.5	Culata y válvulas	25.5.3	Árbol de levas
		25.5	Culata y válvulas	25.5.4	Junta de culata
30	Neumáticos	30.1	Neumático	30.1.1	Banda de rodadura
		30.1	Neumático	30.1.2	Banda de rodadura
		30.1	Neumático	30.1.3	Banda de rodadura
		30.2	Válvula	30.2.1	Vástago/obús
		30.2	Válvula	30.2.2	Vástago/obús
		30.2	Válvula	30.2.3	Vástago/obús
		30.3	Llanta	30.3.1	Aro
		30.3	Llanta	30.3.2	Aro
		30.3	Llanta	30.3.3	Aro
35	Suspensión	35.1	Eje Direccional	35.1.1	Pulmones de aire
		35.1	Eje Direccional	35.1.2	Válvula niveladora
		35.1	Eje Direccional	35.1.3	Amortiguadores
		35.1	Eje Direccional	35.1.4	Barra estabilizadora
		35.2	Eje Tracción	35.2.1	Pulmones de aire
		35.2	Eje Tracción	35.2.2	Válvula niveladora

		35.2	Eje Tracción	35.2.3	Amortiguadores
		35.2	Eje Tracción	35.2.4	Barra estabilizadora
		35.3	Eje Apoyo	35.3.1	Pulmones de aire
		35.3	Eje Apoyo	35.3.2	Válvula niveladora
		35.3	Eje Apoyo	35.3.3	Amortiguadores
		35.3	Eje Apoyo	35.3.4	Barra estabilizadora
40	Transmisión	40.1	Caja de cambios	40.1.1	Engranajes
		40.1	Caja de cambios	40.1.2	Ejes
		40.1	Caja de cambios	40.1.3	Rodamientos
		40.1	Caja de cambios	40.1.4	Retenes y sellos
		40.2	Embrague	40.2.1	Disco
		40.2	Embrague	40.2.2	Plato de presión
		40.2	Embrague	40.2.3	Collarín
		40.3	Árbol cardán	40.3.1	Crucetas
		40.3	Árbol cardán	40.3.2	Ejes intermedios
		40.4	Retardador	40.4.1	Unidad hidráulica
		40.4	Retardador	40.4.2	Válvula de control
		40.4	Retardador	40.4.3	Intercambiador de calor
		40.4	Retardador	40.4.4	Conexiones hidráulicas/eléctricas
45	Dirección	45.1	Caja de dirección	45.1.1	Mecanismo interno
		45.2	Bomba hidráulica	45.2.1	Conjunto bomba
		45.3	Barras y terminales	45.3.1	Bieletas/terminales
50	Eléctrico	50.1	Generación	50.1.1	Alternador
		50.1	Generación	50.1.2	Regulador de voltaje
		50.2	Almacenamiento	50.2.1	Batería
		50.3	Distribución	50.3.1	Fusibles
		50.3	Distribución	50.3.2	Relés
		50.3	Distribución	50.3.3	Arnés y conexiones
55	Electrónico	55.1	ECU motor	55.1.1	Módulo ECU
		55.2	Sensores críticos	55.2.1	Sensor RPM
		55.2	Sensores críticos	55.2.2	Sensor de presión
		55.2	Sensores críticos	55.2.3	Sensor de temperatura
		55.3	Actuadores	55.3.1	EGR
		55.4	Letreros	55.4.1	Display de velocidad
		55.4	Letreros	55.4.2	Display de destinos

60	Frenos	60.1	Eje Direccional	60.1.1	Circuito neumático
		60.1	Eje Direccional	60.1.2	Calibradores
		60.1	Eje Direccional	60.1.3	Discos/pastillas/tambores
		60.2	Eje Tracción	60.2.1	Circuito neumático
		60.2	Eje Tracción	60.2.2	Calibradores
		60.2	Eje Tracción	60.2.3	Discos/pastillas/tambores
		60.3	Eje Apoyo	60.3.1	Circuito neumático
		60.3	Eje Apoyo	60.3.2	Calibradores
		60.3	Eje Apoyo	60.3.3	Discos/pastillas/tambores
65	Mazas	65.1	Eje Direccional	65.1.1	Maza de rueda
		65.1	Eje Direccional	65.1.2	Rodamientos
		65.1	Eje Direccional	65.1.3	Retenes y sellos
		65.2	Eje Tracción	65.2.1	Maza de rueda
		65.2	Eje Tracción	65.2.2	Rodamientos
		65.2	Eje Tracción	65.2.3	Retenes y sellos
		65.3	Eje Apoyo	65.3.1	Maza de rueda
		65.3	Eje Apoyo	65.3.2	Rodamientos
		65.3	Eje Apoyo	65.3.3	Retenes y sellos
70	Neumático (aire)	70.1	Compresor principal	70.1.1	Unidad compresora
		70.2	Secador de aire	70.2.1	Cartucho desecante
		70.3	Tanques	70.3.1	Depósitos de aire
		70.4	Válvulas de control	70.4.1	Conjunto de válvulas
75	Refrigeración	75.1	Radiador auxiliar	75.1.1	Núcleo
		75.2	Enfriadores	75.2.1	Aceite/transmisión
		75.2	Enfriadores	75.2.2	Intercooler
		75.3	Ventiladores	75.3.1	Motor eléctrico
		75.3	Ventiladores	75.3.2	Conjunto aspas
80	Tren motriz	80.1	Eje de tracción	80.1.1	Diferencial
		80.1	Eje de tracción	80.1.2	Corona y piñón
		80.1	Eje de tracción	80.1.3	Semiejes
		80.2	Eje direccional	80.2.1	Integración suspensión/frenos
		80.3	Eje apoyo	80.3.1	Integración suspensión/frenos

Anexo 9: Propuesta de características genéricas de falla

Anexo A 9: Características genéricas de fallas

Código Nivel 4	Descripción de falla
1	Fuga externa
2	Fuga interna
3	Consumo excesivo de fluido
4	Desgastado
5	Roto/Perforado / fracturado
6	Deformado
7	Gripado / trabado
8	Atascado (abierto/cerrado)
9	Suelto / con juego excesivo
10	Corroído / erosionado
11	Sobrecalentado / quemado
12	Subenfriado / no alcanza temperatura
13	Dilatado fuera de tolerancia
14	Circuito abierto / cortado
15	Cortocircuito
16	Señal errónea
17	Señal intermitente
18	Actuador no responde
19	Fallo de software / ECU
20	Mal montado / instalado
21	Torque incorrecto
22	Alineación incorrecta
23	Daño inducido en mantenimiento
24	Vibrando excesivamente
25	Con ruido anómalo
26	Contaminado (polvo, agua, partículas)
27	Desajustado (pérdida de calibración, precisión)