

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**DISEÑO Y EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO
PREVENTIVO BASADO EN FMECA PARA LOS EQUIPOS DE LA PLANTA DE REVISIÓN
TÉCNICA B-1344**

Trabajo titulación para optar al título de la
ingeniería en MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL

Alumno:

Felipe Ariel Osorio Osorio

Profesor guía:

Mg. Ing. Carlos Baldi González

2024

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: DISEÑO Y EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN FMECA PARA LOS EQUIPOS DE LA PLANTA DE REVISIÓN TÉCNICA B-1344

Nombre del candidato(a): Felipe Ariel Osorio Osorio

Carrera / Grado: Ingeniería en Mantenimiento Industrial modalidad residencial

Campus: Viña del Mar Departamento: Mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Carlos Baldí González, 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 (marcar una opción)

☒ 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 (marcar una opción):

☐ 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: 31-08-2026 Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 31-08-2026 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.

RESUMEN

Este trabajo aborda la falta de una estrategia y de un plan de mantenimiento de la PRT analizada, con un enfoque en la evaluación de riesgos y la propuesta de un plan preventivo. El problema identificado radica en la necesidad de reducir los tiempos de reparación de las fallas que se ocasionan y mejorar la mantenibilidad de los equipos.

Utilizando herramientas como el FMECA y el AMEF, se analizaron los componentes críticos y se determinaron los riesgos asociados. Basándonos en estos resultados, se desarrolló un plan trimestral de mantenimiento preventivo. Este enfoque proactivo busca minimizar las interrupciones en la operación y garantizar el cumplimiento de las regulaciones vigentes.

El método utilizado incluyó la revisión detallada de los equipos, el análisis de datos de fallas y tiempos de inactividad, así como la aplicación de herramientas de evaluación de riesgos. Los resultados obtenidos destacan la alta criticidad de ciertos componentes y la necesidad de una estrategia preventiva para mitigar los riesgos asociados.

Las principales conclusiones señalan la importancia de adoptar un enfoque proactivo en el mantenimiento, anticipándose a las fallas y garantizando la seguridad operativa. Se resalta la eficacia del plan propuesto para reducir los tiempos de reparación y mejorar la mantenibilidad de los equipos. Este enfoque preventivo sienta las bases para un mantenimiento más eficiente y confiable en el futuro, contribuyendo a mejorar confiabilidad de la PRT.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE GRÁFICOS	9
SIGLAS Y SIMBOLOGÍA	9
INTRODUCCIÓN	11
OBJETIVOS	12
CAPITULO 1: INFORMACIÓN GENERAL	14
1.1 MARCO REGULATORIO	15
1.1.1 Tipos de Vehículos	15
1.1.2 Bases de Licitación	17
1.1.3 Calendario de revisión	18
1.1.4 Interpretación de Resultados.	19
1.2 DESCRIPCIÓN DE LA PRT EN ANÁLISIS	21
1.2.1 Zonas de una PRT	21
1.2.2 Estaciones de revisión	22
1.3 USUARIOS	23
1.4 PROBLEMÁTICA	24
1.5 MARCO TEÓRICO	27
1.5.1 Mantenimiento y sus tipos	27
1.5.2 Metodología FMECA y Análisis Modal de Efectos y Fallos (AMEF)	27
1.5.3 Diagrama de priorización Jack Knife	28

1.5.4	Indicadores de mantenibilidad y disponibilidad	28
CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE LOS EQUIPOS		30
2.1	DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS EN LA PRT.	31
2.1.1	Medidor de Alineación de Ruedas (Side Slip Tester)	31
2.1.2	Banco de Prueba de Amortiguadores (Shock Absorber Tester)	32
2.1.3	Frenómetro (Brake Tester).	32
2.1.4	Detector de holguras (Play Detector)	34
2.1.5	Luxómetro	35
2.1.6	Sistema de medición de emisiones conforme al método ASM (Dinamómetro).	36
2.1.7	Opacímetro	40
2.2	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO (FMECA).	41
2.2.1	Diagrama de Procesos EPS.	42
2.2.2	Priorización de equipos y sus componentes mediante diagrama “Jack Knife”.	42
2.2.3	Análisis de resultados de diagramas “Jack Knife”	50
2.2.4	AMEF Metodología de criticidad (Análisis modal de efectos y fallos).	53
CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO.		59
3.1	PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL	60
3.2	RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	60
3.2.1	Resumen de resultados de Diagramas Jack Knife.	61
3.2.2	Riesgo Cuantitativo	63
3.2.3	Riesgo Cualitativo	64
3.3	PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO.	65

3.4	MANTENIMIENTO PREVENTIVO TRIMESTRAL.	65
3.4.1	Desarrollo de la actividad de mantenimiento	66
3.4.2	Detalle de actividades de Mantenimiento propuestas	67
3.4.3	Informe de Mantención.	70
3.4.4	Lista de Inspección	73
3.4.5	Recursos necesarios para llevar a cabo las actividades de mantenimiento.	74
3.5	COSTOS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO	79
3.5.1	Costos fijos	79
3.5.2	Costos de Implementación	80
3.5.3	Resumen de Costos	82
3.6	BENEFICIOS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO	82
3.6.1	Cálculo del MTTR de la PRT	83
3.6.2	Disminución de horas de inactividad	85
3.6.3	Cuadro comparativo	87
3.6.4	Tiempo de Recuperación de la Inversión	88
3.6.5	Evaluación económica: VAN, TIR y VAC	89
	CONCLUSIÓN	91
	BIBLIOGRAFÍA	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Calendario de Revisión Técnica	18
Figura 2.	Nomenclatura para identificar una PRT según su código	19
Figura 3.	Distribución de una Planta de Revisión Técnica según bases de Licitación .	21
Figura 4.	Identificación de estaciones según Manuel de Revisión Técnica.	22

Figura 5. Conjunto de equipos de PRT destacado Alineador al paso 31

Figura 6. Conjunto de equipos de PRT destacado Prueba de Amortiguadores 32

Figura 7. Conjunto de equipos de PRT destacado Frenómetro 33

Figura 8. Placas detectoras de Holguras y pozo de revisión 34

Figura 9. Luxómetro.....35

Figura 10. Dinamómetro prueba ASM 39

Figura 11. Opacímetro 40

Figura 12. Flujograma de Mantenición.....66

Figura 13. Informe de Mantenición 72

Figura 14. Lista de inspección.....73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Horas de funcionamiento de la PRT 24

Tabla 2. Distribución semestral de vehículos revisados por la PRT 24

Tabla 3. Información de cierre de líneas informada a Seremitt. 26

Tabla 4. Información sobre Vehículos no revisados.....26

Tabla 5. Descripción diagrama EPS 42

Tabla 6. Diagrama EPS.....42

Tabla 7. “Componentes, Fallas, MTTR” 43

Tabla 8. “Resultados Jack Knife componentes alineador al paso v/s MTTR”.....44

Tabla 9. “Resultados Jack Knife componentes banco de suspensión v/s MTTR” 45

Tabla 10. “Resultados Jack Knife componentes Frenómetro v/s MTTR”.....46

Tabla 11. “Resultados Jack Knife componentes placas de holguras v/s MTTR” 47

Tabla 12. “Resultados Jack Knife componentes luxómetro v/s MTTR” 48

Tabla 13.	“Resultados Jack Knife componentes dinamómetro v/s MTTR”	49
Tabla 14.	“Resultados Jack Knife componentes opacímetros v/s MTTR”	50
Tabla 15.	AMEF – Alineador al Paso	53
Tabla 16.	AMEF – Banco de Suspensión	53
Tabla 17.	AMEF – Frenómetro	54
Tabla 18.	AMEF – Placa Detectora de Holguras	55
Tabla 19.	AMEF – Luxómetro	56
Tabla 20.	AMEF – Dinamómetro	57
Tabla 21.	AMEF – Opacímetro	58
Tabla 22.	Resumen cuadrantes Diagramas Jack Knife	61
Tabla 23.	“Resultados Jack Knife componentes de los equipos de la PRT v/s MTTR” 62	
Tabla 24.	Cuadrantes fallas agudas Diagramas Jack Knife	62
Tabla 25.	Riesgo Cuantitativo de los equipos.	63
Tabla 26.	Factor de impacto en la producción	63
Tabla 27.	Riesgo Cualitativo de los equipos.	64
Tabla 28.	Resumen de costos fijos	82
Tabla 29.	Resumen costos de implementación del plan de mantenimiento.....	82
Tabla 28.	Información de cierre de líneas informada a Seremitt.	84
Tabla 30.	Resumen de fallas de equipos	84
Tabla 31.	Revisión de vehículos con la PRT 100% operativa	87
Tabla 32.	Aumento de vehículos revisados.....	87
Tabla 33.	Cuadro Comparativo: Situación Actual vs. Nuevo Plan de Mantenimiento .	88

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Diagrama “Jack Knife Alineador al Paso” 44

Gráfico 2. Diagrama “Jack Knife Banco de Suspensión” 45

Gráfico 3. Diagrama “Jack Knife Frenómetro” 46

Gráfico 4. Diagrama “Jack Knife Placas detectoras de Holguras” 47

Gráfico 5. Diagrama “Jack Knife Luxómetro” 48

Gráfico 6. Diagrama “Jack Knife Dinamómetro” 49

Gráfico 7. Diagrama “Jack Knife Opacímetro” 50

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

A. SIGLAS

- PRT : Planta de Revisión Técnica
- D.S : Decreto Supremo
- MTT : Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones
- SEREMITT: Secretaría Regional Ministerial de Transportes
- SGPRT: Sistema de Gestión de PRT
- GNC : Gas Natural Comprimido
- GLP : Gas Licuado del Petróleo

HC : Hidrocarburos
CO : Óxido de Carbono
NO : Óxido de Nitrógeno
CO2 : Dióxido de Carbono
O2 : Oxígeno
PPU : Placa Patente Única
3CV : Centro de Control y Certificación Vehicular
DM : Defecto Menor
DG : Defecto Grave
ASM : Modo de Aceleración Simulada
HP : Caballos de Fuerza
Ppm : Partículas por Millón
RH : Humedad Relativa
mmHg: Miligramos de Mercurio
Kh : Factor de Corrección de NO
RPM : Revoluciones por Minuto
ISO 11614: Norma para equipos que miden opacidad
NDIR: Sensor infrarrojo no dispersivo

B. SIMBOLOGÍA

kg: Kilogramo
lbs: Libras
km/h: Kilómetro por hora
m/km: Metros por Kilómetro
mm: Milímetros
kCd: Kilo Candelas
N: Newton
Hrs: Horas

INTRODUCCIÓN

El proceso de revisión técnica se instauró en Chile a fines de los años 90 mediante el Decreto Supremo N°156, el cual autoriza y reglamenta la existencia de Planta de Revisión Técnica (PRT). Las cuales son las encargadas de revisar nuestros vehículos y emitir un certificado de revisión técnica.

La revisión técnica llega a ser un hito en la modernización del parque automotriz, para mantener estándares de calidad técnicos y ambientales. Mientras para algunos la revisión técnica es una instancia para evitar multas y obtener el permiso de circulación todos los años, otros la consideran una garantía de seguridad. Sin embargo, las plantas de revisión técnica se enfrentan a un desafío: el aumento acelerado del parque automotriz exige que las plantas sean eficientes y operen de manera continua, ya que de no ser así se exponen a multas por parte de la Seremitt e incluso a la pérdida de la licitación si las interrupciones del servicio son reiteradas, además de la pérdida económica que ello conlleva.

Este trabajo aborda este desafío mediante la evaluación de los equipos, analizando los modos de fallos, los efectos que estos tienen y su criticidad en el sistema, para utilizar una

herramienta de mantenimiento que minimice las interrupciones en el servicio y evite así las posibles multas.

El estudio se llevará a cabo en una planta de la Región Metropolitana ubicada en la comuna de Maipú cuya denominación es B-1344 la cual atiende a vehículos clase B.

Habiendo analizado los datos obtenidos sobre los equipos y procedimientos de la PRT se estableció como primera medida un análisis de modos de falla de los equipos, ya que la pauta de mantenimiento es muy genérica y solo se centra en cumplir con lo exigido legalmente.

La magnitud del problema queda en evidencia al cuantificar la indisponibilidad del servicio: durante el primer semestre de 2025 la PRT B-1344 informó a la Seremitt 318 horas de línea cerrada por fallas en los equipos, distribuidas en 14 eventos de interrupción, lo que equivale a un tiempo medio de reparación (MTTR) de 22,71 horas por cierre. Considerando que cada línea revisa 8 vehículos por hora y una tarifa de \$12.250 por vehículo, estas detenciones representan una pérdida económica estimada de \$31.164.000 en el semestre, sin contabilizar el riesgo de multas ni la eventual pérdida de la licitación por interrupciones reiteradas. Estas cifras evidencian que las fallas se concentran en unos pocos equipos críticos y justifican la necesidad de una estrategia de mantenimiento preventivo estructurada.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo para los equipos de la Planta de Revisión Técnica B-1344, aplicando la metodología FMECA, de modo de disminuir las horas de cierre de líneas informadas a Seremitt y las pérdidas económicas que estas generan.

OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Describir la operación de la PRT B-1344, su marco normativo (D.S. N°156), los equipos de la línea de revisión y los usuarios atendidos, identificando las exigencias de continuidad operacional que enfrenta la planta.
- Analizar los modos de falla de los equipos de la PRT B-1344 mediante la metodología FMECA, complementada con diagramas Jack Knife y con el análisis AMEF, para reconocer qué componentes generan los cierres de línea más largos y frecuentes.
- Detallar, dentro del plan diseñado, el programa de mantenimiento preventivo de frecuencia trimestral, especificando para cada equipo las actividades concretas y los recursos humanos y materiales requeridos para su ejecución.
- Evaluar la conveniencia del plan calculando el MTTR esperado y los indicadores VAN, TIR, VAC y plazo de recuperación de la inversión, para verificar si la propuesta se justifica frente a la situación actual.

CAPITULO 1: INFORMACIÓN GENERAL

1.1 MARCO REGULATORIO

El 29 de noviembre del año 1990 se promulga el decreto supremo N° 156 que autoriza y reglamenta el funcionamiento de las Plantas de Revisión Técnica. Este decreto ha sufrido constantes modificaciones debido al avance tecnológico de los Vehículos siendo la última versión de este promulgada el 23 de marzo del 2023.

Estas Plantas de Revisión Técnica (PRT) se encargan de revisar que los vehículos reúnan las condiciones técnicas necesarias para garantizar la seguridad en la circulación y protección del medio ambiente. Para ello, el proceso cuenta con un chequeo preventivo que se realiza periódicamente ante un ente certificador, en donde se verifica que el vehículo cumpla con las normas de seguridad y emisión de contaminantes. Este proceso de certificación garantizaría que los vehículos se encuentran en estado apto para transitar sin contaminar más allá de lo permitido, ni poner en peligro a los actores viales.

Específicamente, el proceso de revisión técnica consiste en una secuencia de estaciones de inspección, donde se verifica el estado mecánico y de emisión de contaminantes del vehículo.

En base al Decreto supremo N° 156, la ley de tránsito N° 18.290, el Decreto supremo N°212 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones y la legislación vigente se establecen 3 tipos de vehículos sujetos a revisión técnica:

1.1.1 Tipos de Vehículos

Tipo A1: Son aquellos que de acuerdo a la legislación vigente cuentan con 18 o más asientos incluido el del conductor los cuales según el D.S. N°212/92 MTT se clasifican en los siguientes:

- Buses de transporte público Urbano: Sólo pueden efectuar revisión técnica en una planta revisora de la misma región donde el bus se encuentre inscrito en el Registro Nacional de Servicios de Transporte Público de Pasajeros.
- Buses de transporte público rural: Sólo pueden efectuar revisión técnica en una planta revisora de la misma región donde el bus se encuentre inscrito en el Registro Nacional de Servicios de Transporte Público de Pasajeros.

- Buses de transporte público Interurbano: Sólo se le puede efectuar revisión técnica bajo esta modalidad a los buses tipo Pullman. Además, deberá tratarse sólo de modelos estándar de fabricación, sin modificaciones ni adaptaciones en su estructura. Lo anterior no rige para los buses que se hayan inscrito en el Registro Nacional de Servicios de Transporte Público de Pasajeros con anterioridad al 16 de noviembre de 2006.
- Buses destinados al transporte privado de personas.

Tipo A2: Los vehículos que deben someterse a revisión técnica tipo A2, de acuerdo a la legislación vigente, son los siguientes:

- Vehículos medianos y pesados de pasajeros con más de nueve asientos incluidos el del conductor (incluye vehículos de servicio aeropuertos).
- Vehículos que utilicen GNC o GLP como combustible.
- Vehículos medianos y pesados de carga, con capacidad mayor que 1750 kg.
- Vehículos Taxis básicos, colectivos, ejecutivos y de turismo (La revisión técnica deben efectuarla exclusivamente en una planta de la región donde se encuentran inscritos en el Registro Nacional de Servicios de Transporte Público de Pasajeros),
- Autoescuela.
- Transporte escolar. (La revisión técnica deben efectuarla exclusivamente en una planta de la región donde se encuentran inscritos en el Registro Nacional de Servicios de Transporte Público de Pasajeros).
- Remolques y semirremolques.
- Maquinarias.

Vehículos Tipo B: Los vehículos que deben someterse a revisión técnica tipo B, de acuerdo a la legislación vigente, son los siguientes:

- Vehículos livianos y medianos de pasajeros con hasta nueve asientos incluidos el del conductor que no presten servicios de taxi básico, taxi colectivo, taxi de turismo, auto escuela, transporte escolar o servicio de aeropuertos.
- Vehículos livianos y medianos de carga, con capacidad hasta 1750 kg.
- Remolques y semirremolques de capacidad de carga inferior a 1750 kg.
- Motocicletas.

Una vez que tenemos claro las clases de plantas de revisión Técnica que existen y que tipos de vehículos asisten a cada una de ellas nos enfocaremos en nuestra Planta de Revisión Técnica en estudio que es del Tipo B.

1.1.2 Bases de Licitación

En base a la legislación vigente el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT) a través de la Secretaría Ministerial Regional (SEREMIT) crea las bases de licitación para la adjudicación de concesiones para operar como Plantas de Revisión Técnica (PRT) bajo la Resolución N°251 del año 2012. En estas bases de licitación se establece la imagen corporativa de estas, la infraestructura, los equipos necesarios para la correcta revisión de los vehículos, etc.

Cuando una concesión se adjudica la licitación deberá cumplir con los establecido en el manual de imagen corporativa donde especifica los tipos de letreros informativos, uniforme del personal, dimensiones y distribución de los certificados, colores autorizados, etc. Esto con el fin de unificar las PRT y que usuario elija la que se encuentra más cercana a su domicilio y no una concesión en específico.

En Chile existen 151 Plantas de Revisión Técnica separadas en Zona Norte con 28 PRTs, Zona Centro con 84 PRTs y Zona Sur con 39 PRTs.

La distribución de las PRTs está dada según la cantidad de vehículos inscritos por Región y comuna para que no se formen filas de vehículos en los últimos días de cada mes.

1.1.3 Calendario de revisión

El D.S 156 establece un calendario para el vencimiento de la revisión de técnica de cada vehículo según el último número de Placa Patente Vehicular (PPU). Esto quiere decir que su el último dígito de una PPU es 7 a ese vehículo se le vence su revisión Técnica en el mes de octubre de cada año. No obstante, a esto ese vehículo puede realizar su proceso de revisión técnica el mes que antecede al de su vencimiento es decir en este caso el mes de septiembre.



Figura 1. Calendario de Revisión Técnica

Fuente: página web www.prt.cl

Cabe mencionar que nuestra legislación también estable un proceso de homologación para vehículos nuevos los cuales deber ser efectuados en el Centro de Control y Certificación Vehicular (3CV) el cual emite un certificado de homologación que mantiene exento a los vehículos nuevos de realizar su proceso de revisión técnica por 3 años, luego de este plazo al aprobar si primera revisión esta tiene una vigencia de 2 años. Al culminar este plazo se comienza con el proceso normal de revisión cada 1 año.

Como se mencionó anteriormente en la Zona centro existen 84 plantas de revisión técnica dentro de las cuales se encuentra la Región Metropolitana con un total de 43 PRTs de las cuales 30 son del tipo B.

Precisamente la plana de revisión técnica sobre la que realizaremos nuestro análisis de modo de fallos y criticidad es del Tipo B. y sería La PRT B-1344.

En la siguiente imagen se explica el tipo de nomenclatura que se emplea para identificar la PRT.

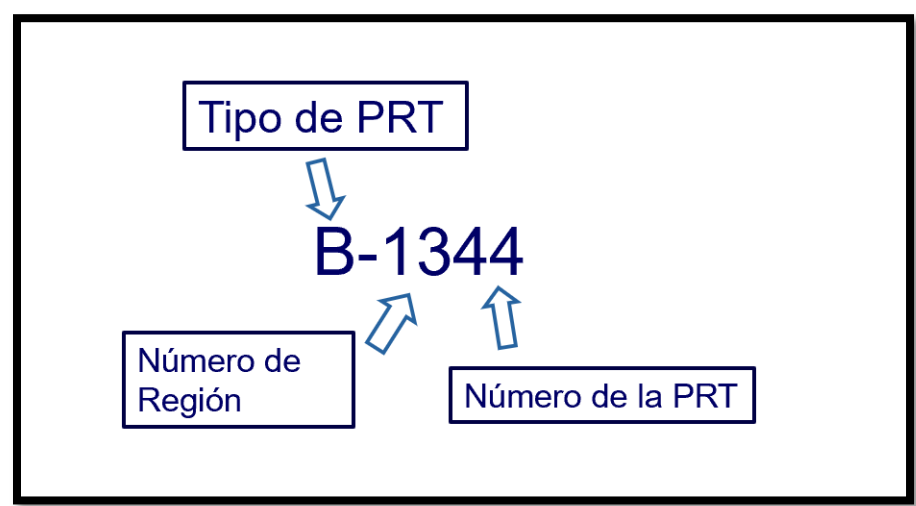


Figura 2. Nomenclatura para identificar una PRT según su código
Fuente: Elaboración propia

Como última parte del marco regulatorio se encuentra el Manual de Procedimientos e interpretación de resultados el cual reúne todas las leyes y resoluciones existentes para dar las directrices de todo el proceso de revisión, en este se establece la documentación que el usuario debe llevar para iniciar el proceso de revisión, las distintas estaciones de revisión que posee una PRT, la correcta ejecución de los procedimientos de revisión y por supuesto los criterios de aprobación y rechazo.

1.1.4 Interpretación de Resultados.

Para comprender por qué un vehículo es aprobado o rechazado se citará el siguiente texto desde el Manual de Procedimientos.

“INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS En la tercera parte del presente Manual, se incluye una pauta para la interpretación de resultados y evaluación de defectos. Este último aspecto, contempla la siguiente clasificación, cuyo significado es el que se indica:

DM Defecto Menor: Son aquellos defectos incipientes, o bien no revisten un peligro claro para la circulación, pudiendo ser, sin embargo, objeto de sanción ante una eventual inspección en la vía pública. La especificación de este tipo de defectos tiene la finalidad de entregar información al usuario, anticipándole la ocurrencia de un defecto mayor o advirtiéndolo que puede ser sancionado en la vía pública. El sentido de esta calificación es puramente informativo y, quedando constancia en un informe anexo al certificado, no tiene implicancia alguna sobre el resultado global de la revisión técnica.

DG Defecto Grave: Son aquellos defectos que revisten un peligro para la circulación vial. La existencia de este tipo de defectos demanda una nueva inspección, donde se verificará únicamente el(los) aspecto(s) que fue(fueron) calificado(s) de esta forma. El vehículo no es apto para circular.”

Cuando en el proceso de revisión se encuentra un defecto grave el vehículo es rechazado en su proceso de revisión y debe volver a repetir su revisión en una segunda instancia en la cual se revisarán solo los defectos graves por los que fue rechazado, pero si en esta segunda instancia vuelve a presentar problemas, deberá presentarse una nueva vez, pero se tomara como si fuese una nueva revisión, es decir se revisara completamente el vehículo.

1.2 DESCRIPCIÓN DE LA PRT EN ANÁLISIS

La PRT B-1344 está ubicada en la comuna de Maipú, Ciudad de Santiago en la Región Metropolitana y pertenece a la empresa San Damaso S.A. Esta PRT revisa vehículos del Tipo B, y cuenta con cinco líneas de revisión al igual que todas las plantas de revisión técnica clase de B de la región, ya que está establecido en las bases de licitación que todas las plantas tengan las mismas dimensiones en sus líneas de revisión y la misma distribución.

1.2.1 Zonas de una PRT

Zona de Pre-revisión: se encuentra luego de ingresar a la PRT y es donde los vehículos esperan su ingreso a la zona de revisión.

Zona Administrativa: Es donde está el personal administrativo de la PRT el cual es el encargado de ingresar los documentos al sistema, recepcionar el pago y posterior a la revisión entregar el certificado. Esta zona debe tener conexión con la zona de Pre-revisión.

Zona de Revisión: Es donde se realiza el proceso de revisión, está bajo techo con iluminación acorde y se encuentran todos los equipos de revisión necesarios. En esta zona está el personal mecánico calificado y encargado de realizar el proceso de revisión y prohibido el ingreso de público.

Zona de Post-revisión: En este lugar son dejados los vehículos luego de salir de la zona de revisión y son retirados de esta por los usuarios a cargo de ellos cuando se les entrega su certificado de revisión. En esta zona también se pueden realizar inspecciones visuales a vehículos que fueron rechazados, para evitar que ingresen a la línea de revisión y así agilizar el proceso.

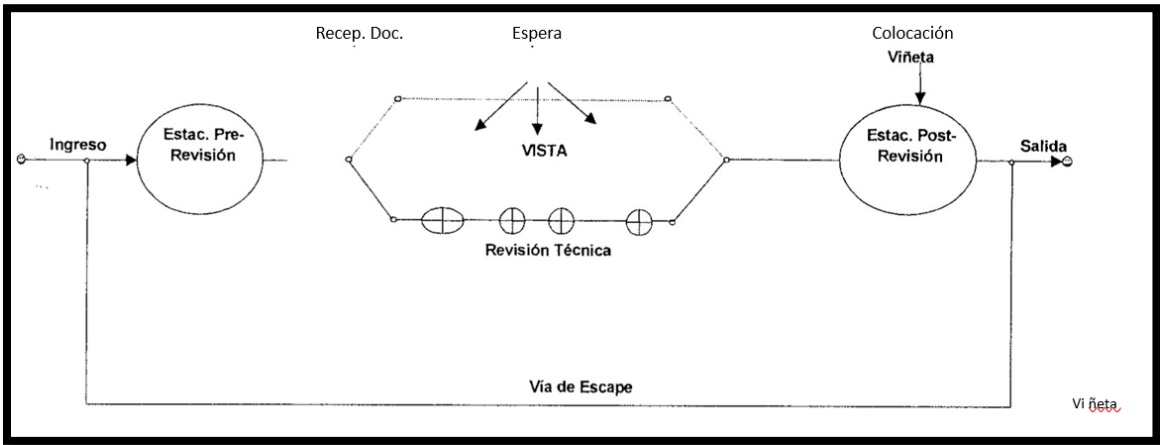


Figura 3. Distribución de una Planta de Revisión Técnica según bases de Licitación

Fuente: Bases de Licitación de Revisión Técnica

1.2.2 Estaciones de revisión

Desde la sala de recepción hacia la derecha según el sentido de circulación de tránsito de Chile se enumeran las líneas de revisión comenzando por la N° 01 a la N° 05

Cada línea de revisión posee las mismas estaciones de revisión que son las siguientes:

- Alineación
- Frenos
- Suspensión
- Detección de Holguras
- Inspección visual
- Luces
- Emisiones Gases

Nº	ESTACION
1	IDENTIFICACION DEL VEHICULO
2	INSPECCION VISUAL
3	LUCES
4	ALINEACION
5	FRENOS
6	DETECCION DE HOLGURAS
7	SUSPENSION
8	EMISIONES DE GASES
9	OPACIDAD

Figura 4. Identificación de estaciones según Manuel de Revisión Técnica.

Fuente: Manual de Revisión Técnica.

En cada una de estas estaciones se entrega un resultado de la revisión y ya sea aprobado o rechazado el vehículo continuo a la siguiente estación, es decir no se interrumpe el proceso. Ahora bien, si uno de los equipos de revisión presenta un desperfecto que impide su funcionamiento, la línea entera se deberá cerrar e informar de inmediato a la autoridad fiscalizadora. Al ser cada equipo independiente podría teóricamente seguir operando parte de la línea de revisión, pero por el ordenamiento legal se exige a la PRT cerrar esa línea de revisión completa, esto pensando en la

seguridad de los trabajadores y los vehículos en revisión, ya que no están las condiciones de mover un vehículo a otra línea de manera expedita por lo que provocaría un riesgo y un problema mayor.

El Marco regulatorio establece que una PRT puede operar a un 50% de su capacidad previa autorización de la autoridad competente que en este caso es la Secretaría regional de Transporte. (SEREMITT).

1.3 USUARIOS

En la elaboración de las actuales bases de licitación se realizó un estudio demográfico y un cruce de información con los registros de vehículos del registro civil distribuyendo según la cantidad de población y automóviles ya existentes las plantas de revisión técnica en toda la Región Metropolitana. Debido a esto la comuna de Maipú cuenta con dos plantas de revisión técnica para atender un universo de 280.000 vehículos.

En el caso de la PRT B-1344 en estudio, además de atender parte de los vehículos de la comuna de Maipú debe atender los de las comunas aledañas como son Padre Hurtado, Peñaflor y Talagante. Por lo que se estima según bases del sistema de gestión de PRT que se han revisado un total de 77.000 vehículos hasta Julio del año 2025.

Al ser el certificado de revisión técnica una obligación para poder circular en un vehículo motorizado los usuarios están obligados a realizar el proceso, solo pueden decidir a qué PRT asistir y se deciden entre una u otra principalmente por los siguientes motivos:

- Calidad de Servicio
- Rapidez del proceso
- Mejor precio del mercado (presentados en la oferta técnica y no se pueden modificar a libre criterio)
- La PRT más expedita
- Cercanía con la vivienda

1.4 PROBLEMÁTICA

Como se mencionó anteriormente, la cantidad de vehículos revisados por la PRT B-1344 al primer semestre de 2025 es de 77.000, es decir, un promedio aproximado de 12.800 vehículos mensuales.

El horario de funcionamiento de la PRT es de lunes a viernes de 07:00 a 20:00 hrs. y sábado de 07:00 a 16:00 hrs., lo que totaliza 74 horas semanales de operación, según se detalla en la Tabla 1.

Días	Horario de Apertura	Horario de Cierre	Horas operativas	Horas Semanales	Horas Mensuales	Horas Semestrales
Lunes	7:00	20:00	13	74	444	2664
Martes	7:00	20:00	13			
Miércoles	7:00	20:00	13			
Jueves	7:00	20:00	13			
Viernes	7:00	20:00	13			
Sábado	7:00	16:00	9			

Tabla 1. Horas de funcionamiento de la PRT

Fuente: Elaboración propia

La PRT opera 2.664 horas semestrales con un promedio de 12,33 horas diarias. Con base en los datos del primer semestre de 2025, se atendieron 77.000 vehículos en ese período, lo que permite estimar la distribución de carga operacional presentada en la Tabla 2.

Vehículos Revisados Semestralmente	Vehículos Revisados Mensualmente	Vehículos Revisados Semanalmente	Vehículos Revisados por día	Vehículos Revisados por hora
77.000	12.833	2.962	494	40,07

Tabla 2. Distribución semestral de vehículos revisados por la PRT

Fuente: Elaboración propia

Según los datos obtenidos la PRT es capaz de revisar en promedio 40 vehículos en 1 hora con sus 5 líneas de revisión operativas, por lo que cada línea revisa 8 vehículos por hora aproximadamente.

Teniendo en cuenta estos datos el jefe de planta plantea que sus equipos presentan contantes fallas las cuales según su opinión se deben a falta de mantenciones.

Es importante mencionar que la normativa vigente obliga a la PRT a realizar mantenciones periódicas cada 90 días y si algún equipo de la línea esta con desperfectos esta se deberá cerrar e informar a la Seremitt respectiva y esta será quien autorice a la PRT seguir operando con una o más líneas de revisión cerradas y siempre que estas no impliquen el 50% del total de las Líneas de revisión de la PRT. En el caso de la PRT en estudio que cuenta con 5 líneas de revisión puede operar con un máximo de 2 líneas cerradas.

A pesar de las mantenciones periódicas obligatorias los equipos presentan fallas reiteradas que afectan el funcionamiento de la PRT.

Se solicita al jefe de planta la información enviada a la Seremitt vía correo informando el cierre de líneas por problemas en los equipos. Con esta información se confecciona la Tabla 3, que consolida los eventos de cierre del primer semestre de 2025.

Cierre de Líneas informadas a Seremitt al 31 de Julio de 2025						
Línea N°	Equipo	Cierre		Apertura		Horas de Línea Cerrada
		Fecha	Hora	Fecha	Hora	
3	Dinamómetro	06-01-2025	8:00	07-01-2025	17:00	23
4	Frenómetro	15-01-2025	15:00	17-01-2025	18:00	29
5	Dinamómetro	30-01-2025	7:00	30-01-2025	19:00	12
2	Alineador	13-02-2025	12:00	15-02-2025	17:00	34
1	Placas de holguras	25-02-2025	13:45	25-02-2025	19:45	5
3	Alineador	05-03-2025	13:10	08-03-2025	14:10	40
4	Dinamómetro	26-03-2025	7:00	26-03-2025	19:00	12
2	Placas de holguras	12-05-2025	10:00	15-05-2025	14:00	30
2	Frenómetro	19-05-2025	11:00	20-05-2025	18:00	20
4	Dinamómetro	22-05-2025	17:00	25-05-2025	17:00	39
3	Dinamómetro	23-06-2025	12:00	24-06-2025	15:00	16
1	Alineador	27-06-2025	11:00	28-06-2025	16:00	18
5	Dinamómetro	07-07-2025	9:00	08-07-2025	10:00	19
3	Frenómetro	21-07-2025	17:00	23-07-2025	12:00	21
Total						318

Tabla 3. Información de cierre de líneas informada a Seremitt.

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 3 se desprende que la sumatoria de horas de línea cerrada por fallas en los equipos durante el primer semestre de 2025 asciende a 318 horas. Considerando que cada línea revisa 8 vehículos por hora y que en ningún evento se cerró más de una línea simultáneamente, se estima que dejaron de revisarse 2.544 vehículos. Con una tarifa de \$12.250 por vehículo, la pérdida económica asociada alcanza los \$31.164.000, según se resume en la Tabla 4. Asimismo, se observa que el equipo con mayor recurrencia de falla es el dinamómetro, lo que constituye un primer antecedente para el análisis técnico desarrollado en el Capítulo 2.

Cobro x Vehículo Revisado	Horas de Línea Cerrada	Vehículos Revisados en 1 línea por hora	Vehículos que se podrían haber revisado	Pérdida económica por vehículos que no se revisaron
\$ 12.250	318	8	2.544	\$ 31.164.000

Tabla 4. Información sobre Vehículos no revisados.

Fuente: Elaboración propia

La concesión a la que pertenece la PRT B-1344 opera en la Región Metropolitana seis plantas de revisión técnica de iguales características, por lo que la pérdida económica a nivel de concesión podría ser significativamente mayor. En este contexto, y considerando los antecedentes analizados, se propone aplicar la metodología FMECA al conjunto de equipos de la PRT, con el fin de identificar los modos de falla críticos y construir, a partir de ellos, un plan de mantenimiento preventivo que reduzca las horas de inactividad y las pérdidas asociadas.

1.5 MARCO TEÓRICO

El presente trabajo se sustenta en un conjunto de conceptos y herramientas propios de la ingeniería de mantenimiento, los cuales se describen a continuación para establecer el marco conceptual sobre el que se desarrolla el análisis. Se abordan los tipos de mantenimiento, la metodología FMECA y su análisis modal de efectos y fallos (AMEF), el diagrama de priorización Jack Knife y los indicadores de mantenibilidad y disponibilidad empleados en la evaluación.

1.5.1 Mantenimiento y sus tipos

Se entiende por mantenimiento al conjunto de actividades técnicas y administrativas orientadas a conservar o restituir un equipo a un estado en el que pueda cumplir la función para la que fue diseñado. De acuerdo con la norma EN 13306, el mantenimiento se clasifica en dos grandes grupos: el mantenimiento correctivo, que se ejecuta una vez que la falla ya se ha producido y busca restablecer la operación, y el mantenimiento preventivo, que se realiza a intervalos predeterminados o según criterios establecidos con el fin de reducir la probabilidad de falla.

Dentro del mantenimiento preventivo se distingue el mantenimiento programado, basado en frecuencias fijas de tiempo o uso, y el mantenimiento basado en condición, que se ejecuta a partir del monitoreo del estado real del equipo. El enfoque preventivo resulta especialmente relevante en instalaciones donde la continuidad operativa es crítica, como en una Planta de Revisión Técnica, ya que una detención no planificada se traduce directamente en horas de servicio perdidas y en sanciones contractuales.

1.5.2 Metodología FMECA y Análisis Modal de Efectos y Fallos (AMEF)

La metodología FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) es una técnica sistemática de análisis de confiabilidad cuyo objetivo es identificar los modos de falla potenciales de un sistema, equipo o componente, evaluar los efectos que cada falla produce sobre la operación y jerarquizar dichas fallas según su criticidad. Constituye una extensión del Análisis Modal de Efectos y Fallos (AMEF o FMEA), al que incorpora el componente cuantitativo de criticidad.

El AMEF descompone cada equipo en sus componentes y, para cada uno, identifica el modo de falla, su causa y su efecto sobre el sistema. La criticidad se cuantifica mediante el Número

de Prioridad de Riesgo (NPR), que se obtiene del producto de tres factores valorados en escalas predefinidas: la gravedad o severidad del efecto (G), la probabilidad de ocurrencia de la causa (O) y la capacidad de detección de la falla antes de que ocurra (D). De esta forma, el NPR se expresa como:

$$\text{NPR} = G \times O \times D$$

Cuanto mayor es el NPR, más crítico es el modo de falla y mayor prioridad debe asignársele en el plan de mantenimiento. Esta priorización permite concentrar los recursos en aquellos componentes cuya falla genera el mayor impacto sobre la disponibilidad del servicio, lo que resulta coherente con el objetivo de reducir las horas de inactividad de la PRT.

1.5.3 Diagrama de priorización Jack Knife

El diagrama Jack Knife es una herramienta gráfica de priorización que complementa el análisis de criticidad al cruzar dos dimensiones de cada componente: la frecuencia de fallas y el tiempo medio de reparación (MTTR). Se construye sobre un plano de dispersión logarítmica en el que el eje horizontal representa la frecuencia y el eje vertical el tiempo de detención, lo que permite clasificar las fallas en cuatro cuadrantes.

Los componentes ubicados en la zona de alta frecuencia se asocian a fallas crónicas, mientras que aquellos con tiempos de reparación elevados corresponden a fallas agudas. Los componentes que combinan alta frecuencia y largos tiempos de reparación constituyen las fallas crónicas y agudas a la vez, y son los de mayor prioridad. Esta representación resulta particularmente útil cuando un cierre de línea prolongado tiene mayor impacto que uno breve pero recurrente, situación característica de la PRT en estudio.

1.5.4 Indicadores de mantenibilidad y disponibilidad

Para evaluar el desempeño del mantenimiento se emplean indicadores cuantitativos ampliamente reconocidos. El Tiempo Medio de Reparación (MTTR, Mean Time To Repair) mide el tiempo promedio que toma restituir un equipo a su condición operativa tras una falla, y se calcula como el cociente entre las horas totales de reparación y el número total de intervenciones:

$$\text{MTTR} = \text{Horas totales de reparación} / \text{Número total de cierres}$$

Un MTTR menor indica una mayor capacidad de respuesta ante fallas y, por lo tanto, una menor indisponibilidad del servicio. Junto con el MTTR, la disponibilidad expresa la fracción del tiempo en que un equipo se encuentra en condiciones de operar, y depende tanto del tiempo medio entre fallas como del tiempo medio de reparación. La reducción del MTTR mediante un plan de mantenimiento preventivo se traduce directamente en una mayor disponibilidad y en una disminución de las pérdidas económicas asociadas a las detenciones, criterio que orienta la propuesta desarrollada en los capítulos siguientes.

CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE LOS EQUIPOS

2.1 **DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS EN LA PRT.**

Para que la PRT pueda realizar la revisión de los vehículos y certificarlos requiere de equipos e instrumentos que se detallan a continuación los cuales son requeridos en las bases de licitación según sus características técnicas.

2.1.1 **Medidor de Alineación de Ruedas (Side Slip Tester)**

Aparato para comprobar la convergencia o divergencia de las ruedas, mediante la pasada del vehículo sobre la placa del aparato a baja velocidad (aprox. 4 km/h), de las siguientes características:

Instalación	: Fijo
Tipo	: De placa deslizante y bastidor empotrado a ras del suelo.
Carga de Placa	: 1.000 kg mínimo.
Rango de Lectura	: -15 a +15 m/km mínimo
Precisión	: 1 m/km
Dimensiones	: Largo: 1 metro; Ancho: 0,5 metros

La PRT opera con el equipo Marca: ACTIA MULLER modelo: 44100-D-BMUX el cual cumple con todas las especificaciones técnicas requeridas.

La convergencia o divergencia máxima permitida según manual de revisión técnica es de 12 m/km.



Figura 5. Conjunto de equipos de PRT destacado Alineador al paso
Fuente: Elaboración propia

2.1.2 Banco de Prueba de Amortiguadores (Shock Absorber Tester)

Aparato para comprobar el estado de los amortiguadores, de las siguientes características:

Tipo : De doble placa, para las ruedas de un mismo eje.

Acondicionamiento : Por impulsos mecánicos, con motor eléctrico

Ancho de vía vehículo: Entre 900 mm y 1.700 mm, aprox.

Resistencia : Debe permitir el ensayo de vehículos de 1.000 kg por eje, mínimo.

La PRT opera con el equipo Marca: ACTIA MULLER modelo: 46600\$0033 el cual cumple con todas las especificaciones técnicas requeridas.



Figura 6. Conjunto de equipos de PRT destacado Prueba de Amortiguadores

Fuente: Elaboración propia

2.1.3 Frenómetro (Brake Tester).

Equipo que consiste en dos pares de rodillos montados en un chasis, sobre los cuales se colocan las ruedas de un eje, destinado a la medición del esfuerzo y equilibrio de frenado para vehículos livianos y medianos, que debe reunir las siguientes características.

- Instalación: Fija, empotrada en el suelo; indicación y unidad de mando centralizada
- Funcionamiento: Automático, con puesta en marcha temporizada; puesta en marcha y detención manual de cada juego de rodillos.
- Tipo: De rodillos con motor eléctrico de arrastre.

- Juego de Rodillos: Diseñados para soportar, como mínimo, una carga de 1.200kg por rueda. Diámetro y longitud de rodillos mayor o igual a 150mm y 600mm respectivamente. Rodillos recubiertos para aumentar el coeficiente de adherencia.
- Rango de Medición: De 0 a 4.0000 Newton por rueda, mínimo.
- Sistema Seguridad: Parada automática en caso de bloqueo de una de las ruedas o deslizamiento de aprox. un 20% entre ruedas del vehículo y rodillos de accionamiento. Rodillos provistos de un dispositivo de doble contacto, mediante el cual los mismos no puedan ser accionados a menos que ambas ruedas del vehículo estén situadas sobre dichos rodillos. Pulsador de emergencia de desconexión rápida.
- Precisión: Precisión de indicación del campo de medida $\pm 5\%$ del valor medio y $\pm 3\%$ del valor final de la escala. Desviación de las dos indicaciones para las ruedas del mismo eje, como máximo $\pm 5\%$ de la indicación mayor, y como máximo $\pm 1,5\%$ del valor final de la escala.

La PRT en su estación de frenos opera con el equipo Marca: ACTIA MULLER modelo: 43300\$A411030 el cual cumple con todas las especificaciones técnicas requeridas.



Figura 7. Conjunto de equipos de PRT destacado Frenómetro

Fuente: Elaboración propia.

2.1.4 Detector de holguras (Play Detector)

Banco de prueba para apreciar las holguras que puedan existir en las ruedas, sistema de dirección, órganos de suspensión, de amortiguación y de frenado, y en los dispositivos de unión entre aquellos órganos y el propio bastidor (chasis) del vehículo.

Tipo: Dos placas metálicas móviles con desplazamientos en su plano.

Accionamiento: Neumático o hidráulico, por medio de válvulas electromagnéticas.

Lámpara Detectora: Portátil, con interruptor/inversor de tres posiciones.

Peso a soportar: 1.000 kg por placa, mínimo

La PRT opera en la estación de Holguras con el equipo Marca: ACTIA MULLER modelo: 46100 el cual cumple con todas las especificaciones técnicas requeridas.

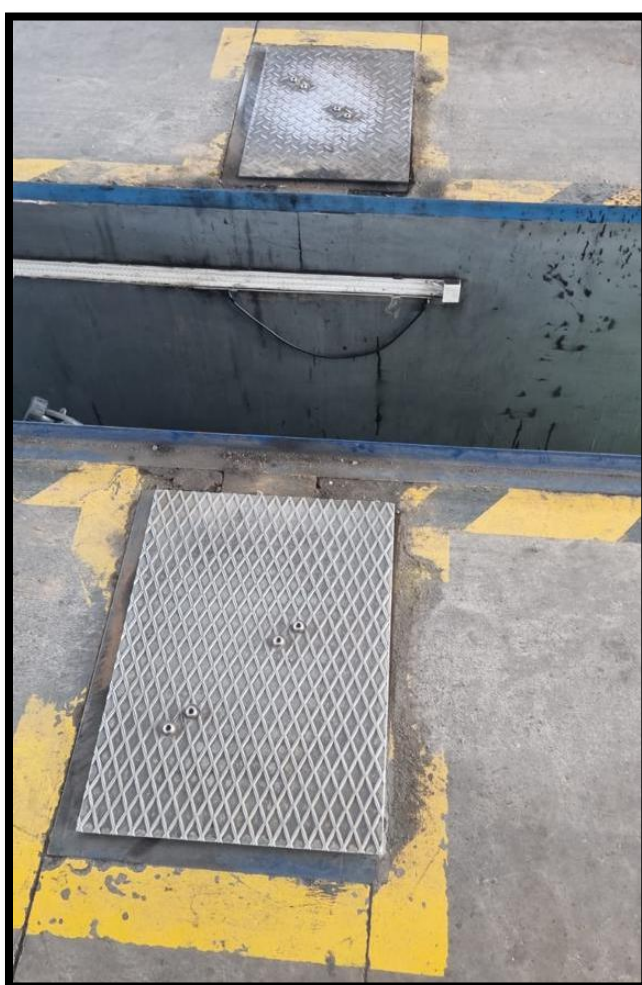


Figura 8. Placas detectoras de Holguras y pozo de revisión

Fuente: Elaboración propia.

2.1.5 Luxómetro

Deberá presentar las siguientes características:

- Medición de la dirección del haz de luz.
- Medición de la intensidad lumínica del haz de luz
- Rango de medición: 0 a 125 kCd
- Ajuste de altura regulable (300 a 1200 mm aprox.)
- Contar con software de inspección y de prueba
- Contar con software de ajuste
- Bloque de ajuste/chequeo para todo tipo de luces (altas, bajas, neblineros) y bloque óptico adaptable a todo tipo de proyectores incluyendo los de superficies elipsoidales o más complejas.
- Capacidad de almacenamiento de pruebas
- Capacidad universal para revisar luces tipo europeo, americano y japonés.

La PRT opera en estación de luces con el equipo Marca: ACTIA MULLER modelo: 764-8 el cual cumple con todas las especificaciones técnicas requeridas.



Figura 9. Luxómetro

Fuente: @prtsgs_chile.

2.1.6 Sistema de medición de emisiones conforme al método ASM (Dinamómetro).

A continuación, se describe el equipamiento para la medición de emisión de contaminantes mediante el procedimiento denominado Acceleration Simulation Mode (ASM), especificaciones y requerimientos generales.

El sistema deberá cumplir con las especificaciones técnicas indicadas en el manual desarrollado por EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) y cuyo título en inglés es "Acceleration Simulation Mode Test - Procedures, Emissions Standards, Quality Control Requirements, and Equipment Specifications - Technical Guidance".

El equipamiento básico consiste en un dinamómetro, un sistema de recolección de muestra de gas de escape y un analizador de gases, a los que se agrega un software de automatización del procedimiento de prueba y una pantalla, algunas de cuyas características se traducen a continuación:

Dinamómetro

Capacidad: La estructura (rodamientos, rodillos, blindaje de pozo, etc.) deberá soportar vehículos de hasta 3.860 kg de peso bruto vehicular. La potencia de carga en HP para cada modo de prueba ASM (HP5015 0 HP2525) debe ser seleccionada automáticamente a partir de los parámetros del vehículo.

Deberá contar con una placa de identificación permanente que contendrá como mínimo nombre del fabricante, nombre del proveedor del sistema, fecha de fabricación, modelo, número de serie, tipo, ancho de rodillo, peso de inercia base y requerimientos eléctricos.

Absorción de potencia

Rango de Potencia Absorbida: Debe ser suficiente para simular la carga en el modo 2525 y en el modo 5015 a vehículos de hasta 3.860 kg de peso bruto vehicular. Debe absorber, a 14 mph (22.5 km/h) o más, como mínimo 25 HP continuamente, para una prueba en estado estable, por 5 minutos a lo menos, con 3 minutos entre cada prueba.

La unidad de absorción de potencia deberá ser eléctrica y deberá poder ajustarse a incrementos de 0.1 HP a 15 mph (24 km/h) y 25 mph (40 km/h). La precisión de la potencia absorbida (potencia absorbida por la unidad de absorción más pérdidas parásitas) deberá ser +/- 0.25 HP o +/- 2 % de la potencia requerida (lo que resulte mayor).

Precisión: No debe existir una desviación mayor a ± 0.5 HP dentro del rango de temperaturas ambientales (1°C a 43°C).

Tamaño de rodillos: El par de rodillos debe tener un diámetro entre 8.6 y 20 pulgadas.

Inercia: El dinamómetro debe estar equipado con volantes mecánicos, de modo que se tenga una inercia base de 2000 lbs ± 40 lbs.

Velocidad del vehículo: La medición de velocidad del rodillo debe tener una precisión de 0.1 mph en todo el rango de operación. El dinamómetro debe permitir velocidades de hasta 60 mph (96.5 km/h).

Según lo determine el Ministerio, se deberá disponer en una línea de revisión de la concesión un dinamómetro para vehículos con tracción a las cuatro ruedas que deberá asegurar la aplicación correcta de la potencia de ensayo y no deberá dañar el sistema de doble tracción del vehículo y permitirá la medición de vehículos equipados con frenos antideslizante y/o control de tracción. La sincronía de la velocidad de los neumáticos delanteros y con la tracción deberá mantenerse dentro de 0,2 mph.

Analizador de gases del sistema.

Gases medidos: Los analizadores deberán medir HC, CO, NO y CO₂, (O₂ es opcional).

Métodos de Detección:

Los HC se detectan con instrumentos NDIR, con un rango entre 0 y 9999 ppmHC (hexano). La precisión para 0 a 2000 ppmHC debe ser de $\pm 3\%$ del punto o 4 ppmC₆ (se ocupa el valor más grande), para 2001-5000 ppmHC la precisión debe ser de $\pm 5\%$ del punto, y entre 5001 y 9999 ppmHC la precisión debe ser $\pm 10\%$ del punto.

El CO también ocupa un analizador infrarrojo no dispersivo con un rango de 0% a 14% de CO. La exactitud para el rango 0.01 % y 10 % debe ser de $\pm 3\%$ del punto o 0.02 % CO, mientras que en el rango 10.01 % a 14 % debe ser $\pm 5\%$ del punto.

Para CO₂ se ocupa un analizador NDIR, con un rango de 0.0% a 18.0% de CO₂. La exactitud para el rango de 0.01 % a 16 % debe ser de $\pm 3\%$ del punto o 0.3% de CO₂ (se ocupa el valor más grande). Para el rango 16.01% a 18.00 % la exactitud debe ser de $\pm 5\%$ del punto.

El analizador de NO debe cubrir un rango de 0 ppm a 5000 ppm de NO, la exactitud para el rango de 0 a 4000 ppm debe ser de $\pm 4\%$ del punto o 25 ppm NO (se ocupa el valor mayor). Para el rango 4001 a 5000 ppm la exactitud debe ser $\pm 8\%$ del punto.

El analizador de O₂ (opcional) debe cubrir un rango de 0.0% a 25% de O₂, la exactitud para el rango debe ser a lo menos 5% del punto o $\pm 0.1\%$ de O₂, se usa el valor mayor.

Repetibilidad, para el analizador de HC, el rango de 0 a 1400 ppmHC debe ser el 2% del punto o 3 ppmHC (el que sea mayor), para el rango 1400 a 2000 ppmHC la repetibilidad debe ser 3% del punto.

Para el analizador de CO, el rango de 0 a 7.00 0/0 debe ser 2% del punto o 0.02 % de CO (el que sea mayor). En el rango de 7.00 0/0 a 10.00% de CO la repetibilidad debe ser 3% del punto.

Para el analizador de CO₂, el rango de 0 a 10.0% de CO₂ debe ser el 2% del punto o 0.1% de CO₂ (el que sea mayor). En el rango de 10.0% a 16.0% de CO₂, la repetibilidad debe ser 3% del punto.

Para el analizador de NO la repetibilidad debe ser 3% del punto o 20 ppm NO (el que sea mayor).

Para el analizador de O₂ la repetibilidad debe ser 3% del punto o 0.1 % de O₂ (el que sea mayor).

Condiciones Ambientales.

La humedad relativa, temperatura y presión barométrica deben ser medidas y registradas antes de cualquier inspección, para así calcular el Kh (factor de corrección de NO).

Humedad Relativa: El dispositivo de medición de la humedad relativa debe cubrir un rango desde 5% a 95% RH, entre 1° C a 43° C, con un mínimo de precisión de $\pm 3\%$ RH.

Temperatura de Bulbo Seco: El dispositivo de temperatura debe cubrir un rango desde 1° C a 43° C con un mínimo de precisión de 2° C.

Presión Barométrica: El dispositivo de medición debe cubrir un rango desde 610 mmHg a 810 mmHg absolutos (24-32 pulgadas) y 1° C a 43° C, con un mínimo de precisión de $\pm 3\%$ del punto o mejor.

Detección de la velocidad del motor: El analizador debe utilizar un tacómetro capaz de detectar la velocidad del motor en revoluciones por minuto (RPM) con un tiempo de respuesta de

0.5 seg. y una precisión de $\pm 3\%$ de las RPM. reales. Las lecturas de RPM deberán ser registradas segundo a segundo para los diez segundos del período de medición de la prueba.

Software.

El proceso de ensayo, recolección de datos y facilidades para el control de calidad del sistema analizador deberá ser automatizado en el máximo grado posible. El software deberá seleccionar automáticamente el estándar de emisión y seleccionar la potencia de ensayo del vehículo, basado en la tabla provista por la Subsecretaría de Transportes por marca y modelo de vehículo.

La PRT opera con el equipo Marca: MUSTANG modelo: MD-100 y el modelo: MD-150 este último para vehículos con tracción permanente. Ambos equipos cumplen con todos los requerimientos antes descritos.



Figura 10. Dinamómetro prueba ASM

Fuente: Elaboración propia

2.1.7 Opacímetro

Tipo: de flujo parcial

El instrumento deberá cumplir las exigencias indicadas en la norma ISO 11614

"Reciprocal internal combustion compression-ignition engines - apparatus for measurement of the opacity and the determination of the light absorption coefficient of exhaust gas".

El instrumento deberá tener pre-programado directamente o mediante el uso de un computador externo, el procedimiento de medición de aceleración en vacío descrito en el Manual de Procedimientos e Interpretación de Resultados.

El instrumento debe estar conectado al sistema de administración de información de la línea de revisión, registrándose los valores de las pruebas directamente, sin digitación por parte del operador.

La PRT opera con el equipo Marca: ACTIA MULLER modelo: ACTIGAS el cual con todas las especificaciones técnicas requeridas.



Figura 11. Opacímetro

Fuente: Elaboración propia.

Todas las Líneas de revisión de la PRT cuentan con los mismos equipos antes individualizados, salvo la línea de revisión N° 05 que en su estación de emisión de gases cuenta con un equipo analizador del tipo ASM con un dinamómetro para vehículos con tracción permanente.

2.2 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO (FMECA).

El funcionamiento del proceso de producción de la PRT es muy distinto a un proceso de producción común, ya que la normativa legal que las regula le exige cerrar toda la línea de producción (revisión de vehículos) si un equipo falla, por lo que todos los son igual de críticos.

Debido a esta particularidad es que la mejor opción para disminuir los tiempos de cierre de la línea es identificar los componentes de cada equipo, conocer su principal función y asignar un modo de fallo para cada uno. Y para ello se realizará un Análisis de Modo de falla, efecto y criticidad. “FMECA” Por sus siglas en inglés “Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis”

En un FMECA, además de identificar los modos de fallo y sus efectos, también se calcula un índice de criticidad. Este índice de criticidad combina todos estos factores y proporciona una clasificación que prioriza los modos de fallo en función de su impacto potencial en el sistema.

Es por ello que se decide aplicar esta herramienta para dar una mayor continuidad a la operación de la PRT, dado que las interrupciones del servicio a los usuarios generan además de una pérdida económica, posibles sanciones administrativas, que podrían significar el cierre de las operaciones ya sea de forma momentánea o permanente.

Antes de fijar la metodología se revisaron otras tres herramientas que aparecen normalmente en este tipo de trabajos. El diagrama de Pareto se descartó porque ordena las fallas por frecuencia, y en la PRT eso no sirve: un alineador que falla una vez al semestre puede dejar la línea 40 horas cerrada, mientras que un cierre corto de 5 horas en placas de holguras no genera el mismo daño. Si se ordenara por frecuencia la prioridad quedaría mal puesta. El Ishikawa y los 5 Porqués son útiles cuando ya se sabe sobre qué falla puntual hay que trabajar, pero acá el problema es el contrario: hay que decidir sobre cuáles de los 37 componentes de los 7 equipos enfocar el esfuerzo, y esas dos herramientas no entregan ese ordenamiento. Con FMECA se obtiene un NPR por modo de falla que combina gravedad, ocurrencia y detección, y eso permite comparar componentes entre equipos distintos, que es lo que en este caso se necesita.

Como paso previo al FMECA se hará un Jack Knife por equipo, que cruza la frecuencia de fallas con el MTTR. La idea es no llegar al AMEF con los 37 componentes, sino con los que

efectivamente concentran el tiempo de línea cerrada. Sobre ese grupo más acotado se aplica el FMECA.

2.2.1 Diagrama de Procesos EPS.

Comenzaremos por conocer el proceso de revisión mediante un diagrama EPS

ENTRADA	PROCESO	SALIDA
Vehículo ingresa a línea de revisión para comenzar su proceso	El vehículo avanza por la línea de revisión, donde están ubicados los equipos.	Luego de someterse a las pruebas realizadas por los equipos. El Vehículos termina su proceso con el resultado de “Aprobado” o “Rechazado” según corresponda.

Tabla 5. Descripción diagrama EPS

Fuente elaboración propia

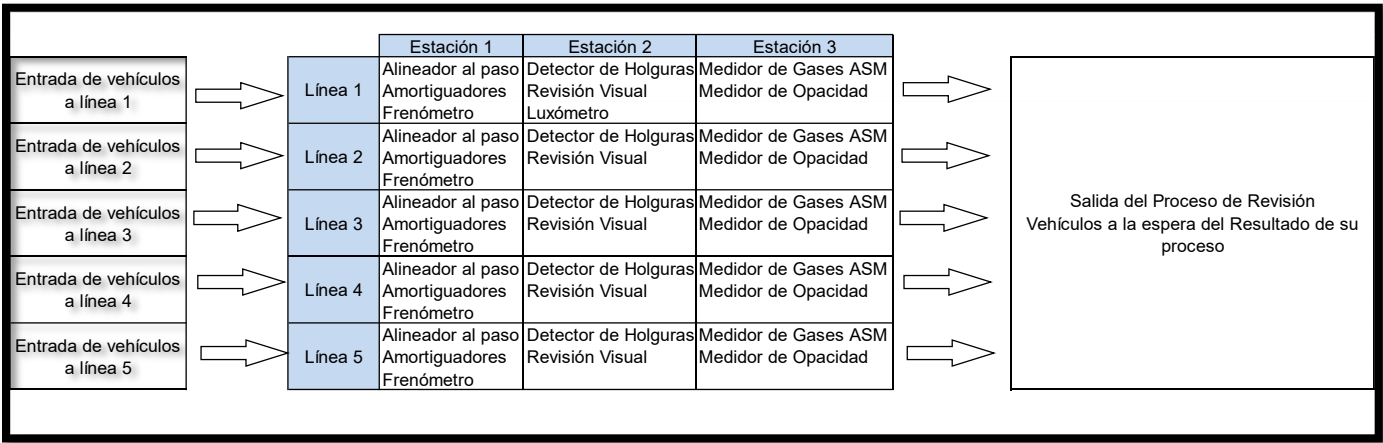


Tabla 6. Diagrama EPS

Fuente elaboración propia

2.2.2 Priorización de equipos y sus componentes mediante diagrama “Jack Knife”.

La priorización de los equipos y sus componentes se efectuará mediante un diagrama de dispersión logarítmica de Jack Knife. Para encontrar el componente más crítico de cada equipo. Se realizará un cruce de información entre los parámetros de frecuencias de fallas anuales de cada componente versus su MTTR. Ya que debemos identificar los componentes que generan un mayor tiempo de interrupción del servicio.

Equipos	Componente	Fallas	Tiempo fuera servicio (h)	MTTR (h)	Límite Cant. de fallas	Límite MTTR
Alineador al Paso	Sensor de Presencia	1	19	19,00	3,49	7,13
	Polines desplazadores	8	48	6,00	3,49	7,13
	Placa de medición	1	13	13,00	3,49	7,13
	Medidor de convergencia	2	9	4,50	3,49	7,13
Banco de Suspensión Prueba de Amortiguadores	Chasis del equipo	1	20	20,00	3,49	7,13
	Motor izquierdo	2	11	5,50	3,49	7,13
	Motor derecho	2	12	6,00	3,49	7,13
	Tirante izquierdo	1	7	7,00	3,49	7,13
	Tirante derecho	2	6	3,00	3,49	7,13
	Bascula de peso	5	14	2,80	3,49	7,13
Frenómetro	Sensor de velocidad	5	15	3,00	3,49	7,13
	Motor derecho	2	8	4,00	3,49	7,13
	Motor izquierdo	2	6	3,00	3,49	7,13
	Sensor de presencia	4	15	3,75	3,49	7,13
	ECU	2	12	6,00	3,49	7,13
	Cadenas y Piñones	3	14	4,67	3,49	7,13
Detector de Holguras	Chasis del equipo	2	4	2,00	3,49	7,13
	Cilindro derecho	1	4	4,00	3,49	7,13
	Cilindro izquierdo	2	6	3,00	3,49	7,13
	Ductos hidráulicos	4	5	1,25	3,49	7,13
	Comando	6	7	1,17	3,49	7,13
	Bomba hidráulica	3	9	3,00	3,49	7,13
Luxómetro	fuelle de alimentación 24 v DC (externa)	3	4	1,33	3,49	7,13
	Pantalla táctil	2	24	12,00	3,49	7,13
	Ecu interna	1	48	48,00	3,49	7,13
	Lente frontal	1	24	24,00	3,49	7,13
Dinamómetro	Chasis del equipo	1	18	18,00	3,49	7,13
	Rodillos	5	12	2,40	3,49	7,13
	Motores Eléctricos	13	18	1,38	3,49	7,13
	Sensor de Carga	4	12	3,00	3,49	7,13
	Placas neumáticas de levante	6	18	3,00	3,49	7,13
	Equipo de medición de gases	10	14	1,40	3,49	7,13
	Ecu interna	1	20	20,00	3,49	7,13
Opacímetro	Ducto de recepción	12	3	0,25	3,49	7,13
	Sensor de temperatura	3	7	2,33	3,49	7,13
	Sensor NDIR	3	2	0,67	3,49	7,13
	Ecu Interna	3	1	0,33	3,49	7,13

Tabla 7. “Componentes, Fallas, MTTR”
Fuente: elaboración propia

2.2.2.1 Alineador al paso

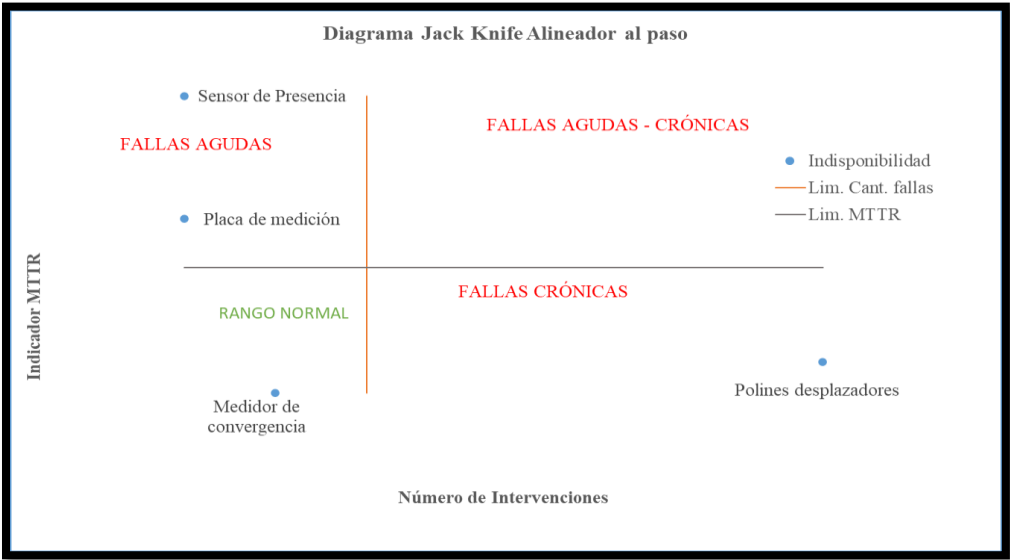


Gráfico 1. Diagrama “Jack Knife Alineador al Paso”
Fuente: elaboración propia

Los resultados del diagrama Jack Knife donde se graficaron los 4 componentes del equipo alineador al paso, son los siguientes:

Cuadrante	Cantidad
Rango Normal	1
Fallas Crónicas	1
Fallas Agudas	2
Fallas Agudas - Crónicas	0
Total	4

Tabla 8. “Resultados Jack Knife componentes alineador al paso v/s MTTR”
Fuente: elaboración propia

2.2.2.2 Banco de Suspensión Prueba de amortiguadores

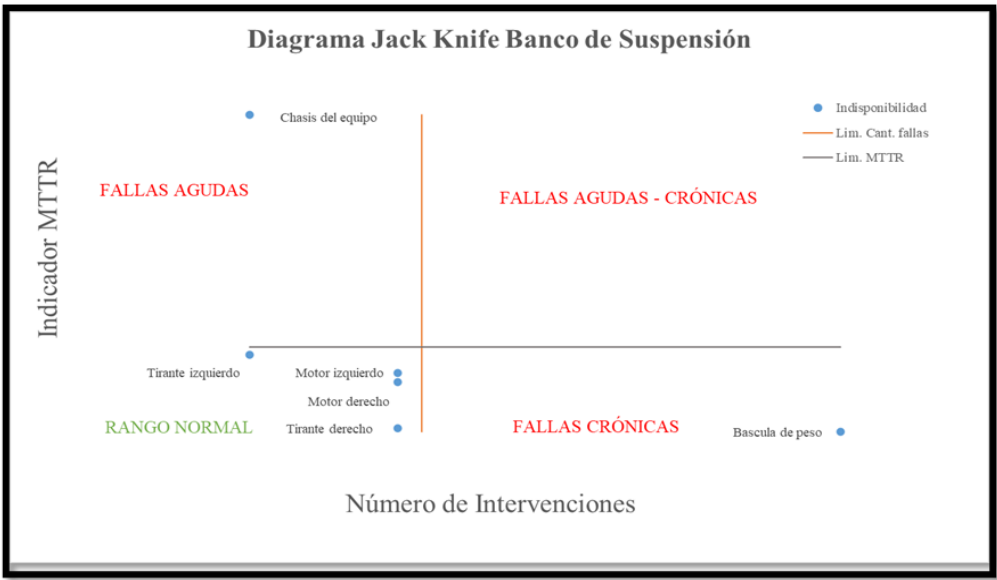


Gráfico 2. Diagrama “Jack Knife Banco de Suspensión”

Fuente: elaboración propia.

Los resultados del diagrama Jack Knife donde se graficaron los 6 componentes del equipo banco de suspensión, son los siguientes:

Cuadrante	Cantidad
Rango Normal	4
Fallas Crónicas	1
Fallas Agudas	1
Fallas Agudas - Crónicas	0
Total	6

Tabla 9. “Resultados Jack Knife componentes banco de suspensión v/s MTTR”

Fuente: elaboración propia

2.2.2.3 Frenómetro

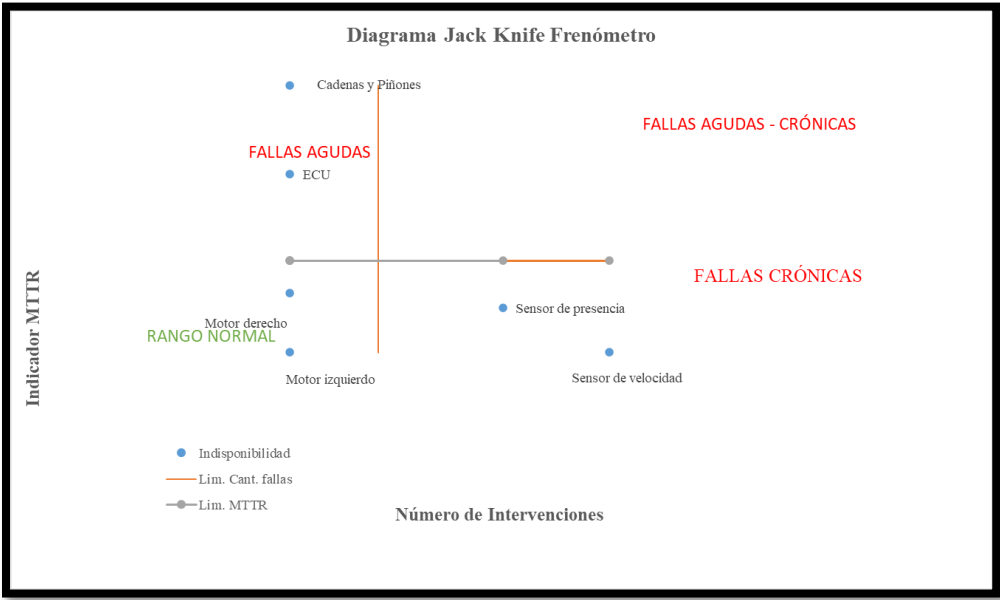


Gráfico 3. Diagrama “Jack Knife Frenómetro”

Fuente: elaboración propia

Los resultados del diagrama Jack Knife donde se graficaron los 6 componentes del equipo Frenómetro, son los siguientes:

Cuadrante	Cantidad
Rango Normal	2
Fallas Crónicas	2
Fallas Agudas	2
Fallas Agudas - Crónicas	0
Total	6

Tabla 10. “Resultados Jack Knife componentes Frenómetro v/s MTTR”

Fuente: elaboración propia

2.2.2.4 Placas Detectoras de Holguras

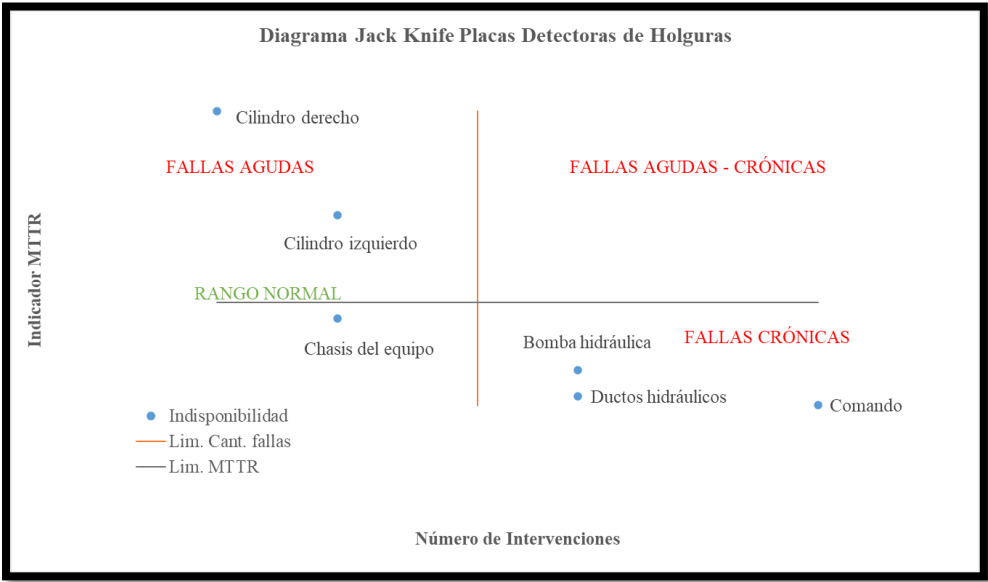


Gráfico 4. Diagrama “Jack Knife Placas detectoras de Holguras”

Fuente: elaboración propia

Los resultados del diagrama Jack Knife donde se graficaron los 6 componentes del equipo detector holguras, son los siguientes:

Cuadrante	Cantidad
Rango Normal	1
Fallas Crónicas	3
Fallas Agudas	2
Fallas Agudas - Crónicas	0
Total	6

Tabla 11. “Resultados Jack Knife componentes placas de holguras v/s MTTR”

Fuente: elaboración propia

2.2.2.5 Luxómetro.

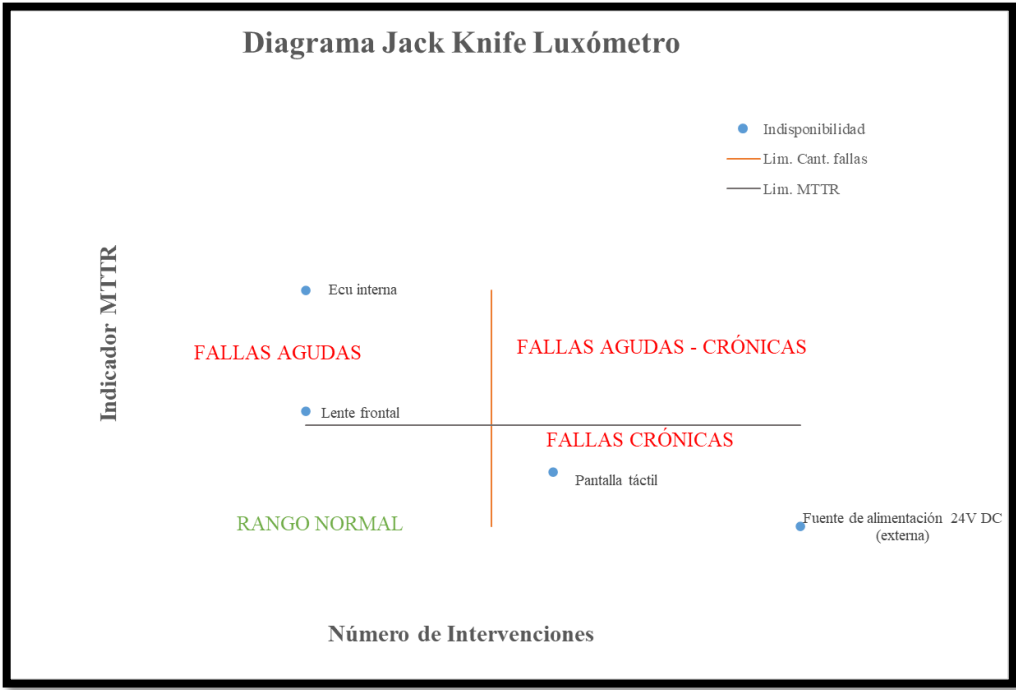


Gráfico 5. Diagrama “Jack Knife Luxómetro”

Fuente: elaboración propia

Los resultados del diagrama Jack Knife donde se graficaron los 4 componentes del equipo luxómetro, son los siguientes:

Cuadrante	Cantidad
Rango Normal	0
Fallas Crónicas	2
Fallas Agudas	2
Fallas Agudas - Crónicas	0
Total	4

Tabla 12. “Resultados Jack Knife componentes luxómetro v/s MTTR”

Fuente: elaboración propia

2.2.2.6 Dinamómetro.

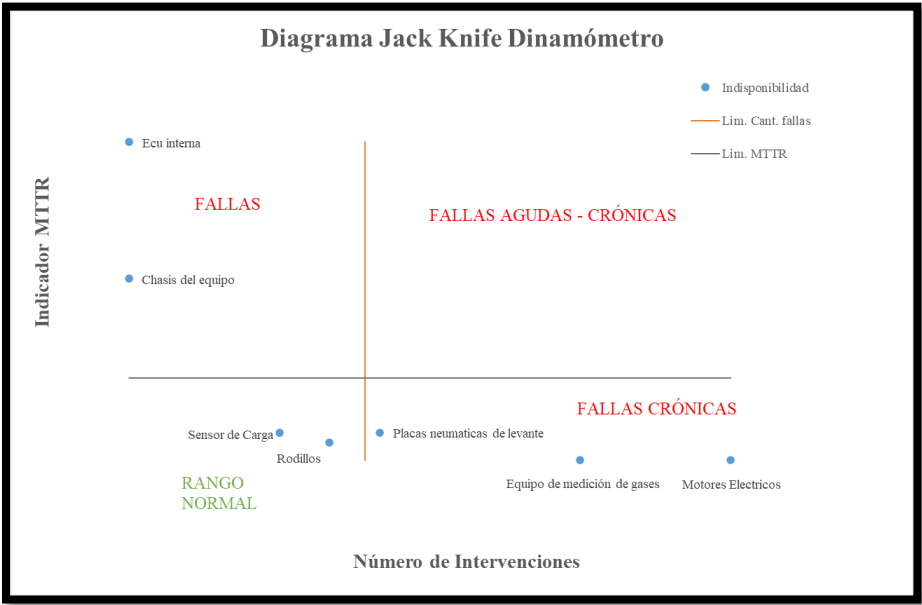


Gráfico 6. Diagrama “Jack Knife Dinamómetro”

Fuente: elaboración propia

Los resultados del diagrama Jack Knife donde se graficaron los 7 componentes del equipo dinamómetro, son los siguientes:

Cuadrante	Cantidad
Rango Normal	2
Fallas Crónicas	3
Fallas Agudas	2
Fallas Agudas - Crónicas	0
Total	7

Tabla 13. “Resultados Jack Knife componentes dinamómetro v/s MTTR”

Fuente: elaboración propia

2.2.2.7 Opacímetro.

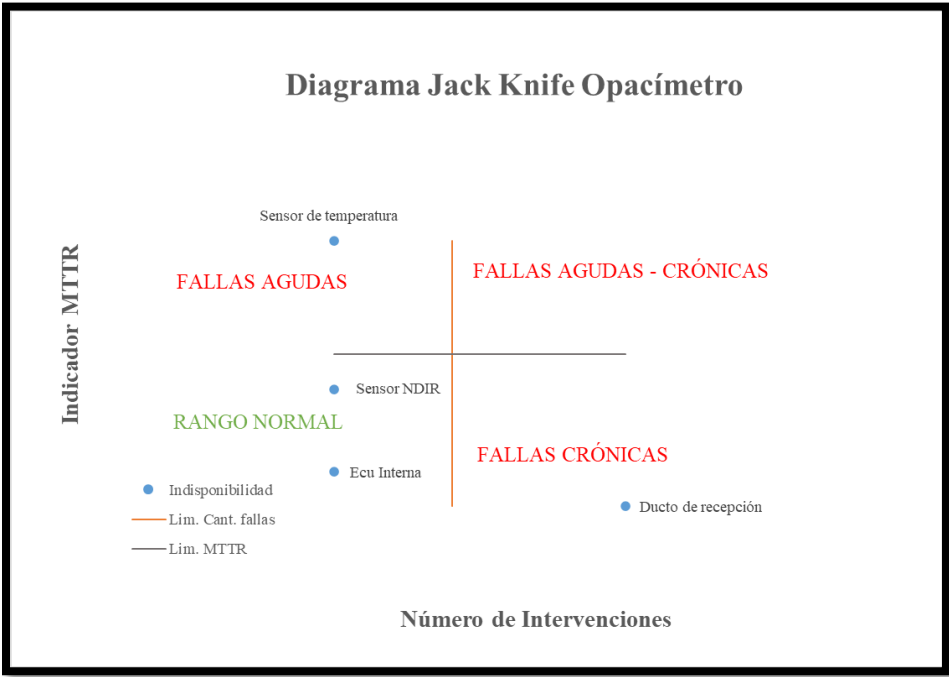


Gráfico 7. Diagrama “Jack Knife Opacímetro”

Fuente: elaboración propia

Los resultados del diagrama Jack Knife donde se graficaron los 4 componentes del equipo opacímetro, son los siguientes:

Cuadrante	Cantidad
Rango Normal	2
Fallas Crónicas	1
Fallas Agudas	1
Fallas Agudas - Crónicas	0
Total	4

Tabla 14. “Resultados Jack Knife componentes opacímetros v/s MTTR”

Fuente: elaboración propia

2.2.3 Análisis de resultados de diagramas “Jack Knife”

A partir de los diagramas Jack Knife elaborados para los siete equipos de la línea de revisión, se clasificaron sus 37 componentes según el cuadrante en que se ubican. La interpretación de cada cuadrante es la siguiente: los componentes en rango normal presentan baja frecuencia de falla y tiempos de reparación acotados, por lo que no requieren intervención prioritaria; los de

fallas crónicas fallan con alta frecuencia aunque con reparaciones breves, lo que sugiere problemas recurrentes de ajuste, desgaste o calibración; los de fallas agudas fallan con menor frecuencia pero demandan tiempos de reparación elevados, asociados a componentes críticos cuya detención prolonga el cierre de línea; y el cuadrante de fallas agudas-crónicas reúne los casos más desfavorables, que combinan alta frecuencia y largos tiempos de reparación.

Del análisis consolidado se observa que, de los 37 componentes evaluados, 12 se ubican en rango normal, 13 corresponden a fallas crónicas, 12 a fallas agudas y ninguno a la categoría aguda-crónica. Esto significa que el 68% de los componentes (25 de 37) se encuentra en alguna zona crítica, lo que confirma que el problema de indisponibilidad no se concentra en un único equipo, sino que se distribuye de manera transversal a lo largo de la línea de revisión. La ausencia de componentes en el cuadrante agudo-crónico indica que, si bien las fallas son numerosas, ninguna reúne simultáneamente la peor combinación de frecuencia y duración, lo que hace viable abordarlas mediante un plan preventivo estructurado en lugar de medidas correctivas de emergencia.

En consecuencia, los resultados justifican que la estrategia de mantenimiento se oriente de forma diferenciada: atacar las fallas crónicas mediante rutinas periódicas de inspección y calibración que reduzcan su recurrencia, y mitigar las fallas agudas asegurando la disponibilidad de repuestos y procedimientos que acorten el tiempo de reparación. Esta priorización constituye la base sobre la que se construye el análisis de criticidad AMEF desarrollado a continuación.

2.2.4 AMEF Metodología de criticidad (Análisis modal de efectos y fallos).

Tabla 15. AMEF – Alineador al Paso

Equipo	#	Componente	#	Descrip. Función	#	Falla Func.	#	Modo de Falla	Efecto Falla	Frec. Falla	MTTR (h)	Imp. Prod.	Costo Falla	C. Frec.	Seg.	Amb.	Riesgo Cuantitativo	Riesgo Cualitativo
Alineador al Paso	1	Sensor de Presencia	1.1	Detectar la presencia del vehículo	1.1.1	No detecta presencia del vehículo	1.1.1.1	Cable de conexión dañado	Evidente. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo. Acción correctiva: Cambio de cableado	1	19,0	\$1.852.000	\$300.000	\$300.000	C	C	\$2.162.000	CC
		Polines desplazadores	1.2	Permitir el desplazamiento de la placa de medición	1.2.1	No permite el desplazamiento de la placa de medición	1.2.1.1	Polines quebrados o agripados	No evidente. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo. Acción correctiva: Cambio de Polines	8	6,0	\$4.704.000	\$200.000	\$1.600.000	C	C	\$6.304.000	CC
		Placa de medición	1.3	Desplazarse según el movimiento de las ruedas delanteras	1.3.1	No se desplaza	1.3.1.1	Polines con desperfectos	Evidente. Afecta SHA: Sí. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo. Acción correctiva: Cambio de Polines	1	13,0	\$1.274.000	\$200.000	\$200.000	C	C	\$1.474.000	CC
		Medidor de convergencia	1.4	Medir la convergencia o divergencia del eje delantero, según desplazamiento de la placa de medición	1.4.1	No mide convergencia ni divergencia	1.4.1.1	Sensor dañado o desconectado	No evidente. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo. Acción correctiva: Cambio de Cableado o de Sensor	2	4,50	\$882.000	\$450.000	\$900.000	C	C	\$1.782.000	CC

Tabla 16. AMEF – Banco de Suspensión

Equipo	#	Componente	#	Descrip. Función	#	Falla Func.	#	Modo de Falla	Efecto Falla	Frec. Falla	MTTR (h)	Imp. Prod.	Costo Falla	C. Frec.	Seg.	Amb.	Riesgo Cuantitativo	Riesgo Cualitativo
Banco de Suspensión prueba de Amortiguadores	2	Chasis del Equipo	2.1	Mantener la geometría del equipo	2.1.1	No mantiene la Geometría del Equipo	2.1.1.1	Rotura del Chasis	Evidente. Afecta SHA: SI. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo. Acción correctiva: Reparación de Rotura o Cambio de Chasis	1	20,0	\$1.960.000	\$500.000	\$500.000	B	C	\$2.460.000	BC
		Motor Izquierdo	2.2	Generar el movimiento axial de la placa izquierda	2.2.1	Motor no funciona	2.2.1.1	Motor sin energía	Evidente. Afecta SHA: SI. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo. Acción correctiva: Cambio de Motor	2	5,5	\$1.078.000	\$1.200.000	\$2.400.000	B	C	\$3.478.000	BC
		Motor Derecho	2.3	Generar el movimiento axial de la placa derecha	2.3.1	Motor no funciona	2.3.1.1	Motor sin energía	Evidente. Afecta SHA: SI. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo. Acción correctiva: Cambio de Motor	2	6,0	\$1.176.000	\$1.200.000	\$2.400.000	B	C	\$3.576.000	BC
		Tirante Izquierdo	2.4	Transmitir el movimiento del motor a la placa Izquierdo	2.4.1	No transmite movimiento del motor	2.4.1.1	Acople de tirante a motor desacoplado	Evidente. Afecta SHA: SI. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo. Acción correctiva: Cambio de tirante	1	7,0	\$686.000	\$400.000	\$400.000	B	C	\$1.086.000	BC
		Tirante Derecho	2.5	Transmitir el movimiento del motor a la placa derecha	2.5.1	No transmite movimiento del motor	2.5.1.1	Acople de tirante a placa desacoplado	Evidente. Afecta SHA: SI. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo. Acción correctiva: Cambio de tirante	2	3,0	\$588.000	\$400.000	\$800.000	B	C	\$1.388.000	BC
		Báscula de masa	2.6	Calcular la masa del vehículo.	2.6.1	No calcula la masa del vehículo	2.6.1.1	Báscula dañada o desconectada	Evidente. Afecta SHA: SI. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo. Acción correctiva: Cambio de báscula	5	2,8	\$1.372.000	\$1.100.000	\$5.500.000	B	C	\$6.872.000	BC

Tabla 17. AMEF – Frenómetro

Equipo	#	Componente	#	Descrip. Función	#	Falla Func.	#	Modo de Falla	Efecto Falla	Frec. Falla	MTTR (h)	Imp. Prod.	Costo Falla	C. Frec.	Seg	Amb.	Riesgo Cuantitativo	Riesgo Cualitativo
Frenómetro	3	Sensor de Velocidad	3.1	Medir la velocidad de giro de los rodillos	3.1.1	No mide velocidad	3.1.1.1	Sensor dañado o desconectado	Evidente. Afecta SHA: SI. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo. Acción correctiva: Cambio Alternador/caja reguladora	5	3,0	\$1.470.000	\$730.000	\$3.650.000	B	C	\$5.120.000	BC
		Motor Izquierdo	3.2	Transmite movimiento de giro a los rodillos izquierdos	3.2.1	No transmite movimiento de giro al rodillo	3.2.1.1	Motor desconectado o dañado	Evidente. Afecta SHA: SI. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo. Acción correctiva: Cambio de correa de accionamiento mecánico	2	4,0	\$784.000	\$1.200.000	\$2.400.000	C	C	\$3.184.000	CC
		Motor Derecho	3.3	Transmite movimiento de giro a los rodillos Derechos	3.3.1	No transmite movimiento de giro al rodillo	3.3.1.1	Motor desconectado o dañado	No evidente. Afecta SHA: SI. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo. Acción correctiva: Cambio de caja reguladora	2	3,0	\$588.000	\$1.200.000	\$2.400.000	C	C	\$2.988.000	CC
		Sensor de Presencia	3.4	Activar el sistema en presencia de un vehículo	3.4.1	No detecta presencia del Vehículo	3.4.1.1	Sensor dañado o desconectado	No evidente. Afecta SHA: SI. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo. Acción correctiva: Cambio de caja reguladora	4	3,8	\$1.470.000	\$890.000	\$3.560.000	C	C	\$5.030.000	CC
		ECU	3.5	Procesa los cálculos de velocidad y masa y entrega el resultado	3.5.1	No procesa los datos obtenidos	3.5.1.1	ECU dañada o desconectada	No evidente. Afecta SHA: SI. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo. Acción correctiva: Cambio de caja reguladora	2	6,0	\$1.176.000	\$1.500.000	\$3.000.000	C	C	\$4.176.000	CC
		Cadenas y piñones	3.6	Transmitir la fuerza motriz de los motores a los rodillos de freno	3.6.1	No transmiten la fuerza motriz	3.6.1.1	Cadena o piñones agripados o dañados	No evidente. Afecta SHA: SI. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo. Acción correctiva: Cambio de baterías	3	4,7	\$1.372.000	\$450.000	\$1.350.000	B	C	\$2.722.000	BC

Tabla 18. AMEF – Placa Detectora de Holguras

Equipo	#	Componente	#	Descrip. Función	#	Falla Func.	#	Modo de Falla	Efecto Falla	Frec. Falla	MTTR (h)	Imp. Prod.	Costo Falla	C. Frec.	Seg.	Amb.	Riesgo Cuantitativo	Riesgo Cualitativo
Placa Detectora de Holguras	4	Chasis del equipo	4.1	Mantener la geometría del equipo	4.1.1	No mantiene la Geometría del Equipo	4.1.1.1	Rotura del Chasis	Evidente. Afecta SHA: SI. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo. Acción correctiva: Reparación de Rotura o Cambio de Equipo	2	2,0	\$392.000	\$600.000	\$1.200.000	B	C	\$1.592.000	BC
		Cilindro derecho	4.2	Mueven las placas detectoras de holguras	4.2.1	No mueve la placa derecha	4.2.1.1	Inexistencia o pérdida de fluido hidráulico	Evidente. Afecta SHA: SI. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo. Acción correctiva: Reparación de líneas hidráulicas.	1	4,0	\$392.000	\$450.000	\$450.000	B	C	\$842.000	BC
		Cilindro izquierdo	4.3	Mueven las placas detectoras de holguras	4.3.1	No mueve la placa izquierda	4.3.1.1	Inexistencia o pérdida de fluido hidráulico	Evidente. Afecta SHA: SI. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo. Acción correctiva: Reparación de líneas hidráulicas.	2	3,0	\$588.000	\$450.000	\$900.000	B	C	\$1.488.000	BC
		Conductos hidráulicos	4.4	Conducen el fluido hidráulico desde la bomba hacia los cilindros.	4.4.1	Pérdida de hermeticidad del circuito	4.4.1.1	Rotura de conductos	Evidente. Afecta SHA: SI. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo. Acción correctiva: Reparación de conductos	4	1,2	\$490.000	\$450.000	\$1.800.000	A	A	\$2.290.000	AA
		Comando	4.5	Controla el movimiento de las placas detectoras de holguras.	4.5.1	Pérdida del control de placas de holguras.	4.5.1.1	Desconexión eléctrica o fallo de botonera	No evidente. Afecta SHA: SI. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo.	6	1,2	\$686.000	\$750.000	\$4.500.000	B	C	\$5.186.000	BC
		Bomba hidráulica	4.6	Generar caudal en el sistema hidráulico para accionar los cilindros	4.6.1	No genera caudal	4.6.1.1	Desconexión eléctrica o desperfecto de la bomba	No evidente. Afecta SHA: SI. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo. Acción correctiva: Revisión de la bomba	3	3,0	\$882.000	\$800.000	\$2.400.000	B	C	\$3.282.000	BC

Tabla 19. AMEF – Luxómetro

Equipo	#	Componente	#	Descrip. Función	#	Falla Func.	#	Modo de Falla	Efecto Falla	Frec. Falla	MTTR (h)	Imp. Prod.	Costo Falla	C. Frec.	Seg.	Amb.	Riesgo Cuantitativo	Riesgo Cualitativo
Luxómetro	5	Fuente de alimentación 24 V DC (externa)	5.1	Entregar una alimentación constante y regulada de 24 V DC al equipo	5.1.1	No entrega alimentación eléctrica	5.1.1.1	Fuente dañada o desconectada	Evidente. Afecta SHA: NO . Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo . Acción correctiva: Revisión o Cambio de Fuente de poder	3	1,3	\$392.000	\$250.000	\$750.000	C	C	\$1.142.000	CC
		Pantalla táctil	5.2	Muestra los parámetros y permite operar el equipo.	5.2.1	No muestra imagen o no funciona el táctil.	5.2.1.1	Pantalla dañada	Evidente. Afecta SHA: NO . Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo . Acción correctiva: Cambio de Pantalla Táctil	3	1,3	\$392.000	\$700.000	\$2.100.000	C	C	\$2.492.000	CC
		ECU interna	5.3	Procesa e interpretar la información obtenida por el lente frontal	5.3.1	No procesa los datos obtenidos	5.3.1.1	ECU dañada o desconectada	No evidente. Afecta SHA: NO . Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo . Acción correctiva: Cambio de ECU	3	1,3	\$392.000	\$650.000	\$1.950.000	C	C	\$2.342.000	CC
		Lente frontal	5.4	Verifica que la luz se encuentre centrada respecto al punto de medición	5.4.1	No detecta medición	5.4.1.1	Lente quebrado	Evidente. Afecta SHA: SI . Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo . Acción correctiva: Cambio de lente Frontal .	3	1,3	\$392.000	\$425.000	\$1.275.000	A	B	\$1.667.000	AB

Tabla 21. AMEF – Dinamómetro

Equipo	#	Componente	#	Descrip. Función	#	Falla Func.	#	Modo de Falla	Efecto Falla	Frec. Falla	MTTR (h)	Imp. Prod.	Costo Falla	C. Frec.	Seg.	Amb.	Riesgo Cuantitativo	Riesgo Cualitativo
Dinamómetro	6	Chasis del equipo	6.1	Mantener la geometría del equipo	6.1.1	No mantiene la Geometría del Equipo	6.1.1.1	Rotura del Chasis	Evidente. Afecta SHA: SI. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo. Acción correctiva: Reparación de Rotura o Cambio de Equipo	1	12,0	\$1.176.000	\$600.000	\$600.000	B	C	\$1.776.000	BC
		Rodillos	6.2	Permiten giro del eje tractor del vehículo y oponen resistencia a este.	6.2.1	No permite el giro del eje tractor del vehículo	6.2.1.1	Rodamientos de los rodillos dañados	Evidente. Afecta SHA: SI. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo	5	2,4	\$1.176.000	\$560.000	\$2.800.000	A	C	\$3.976.000	AC
		Motores Eléctricos	6.3	Se conectan a cada rodillo y genera una carga electromagnética que opone al giro del vehículo	6.3.1	No generan carga electromagnética	6.3.1.1	Desgaste de carbones	Evidente. Afecta SHA: NO. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo	13	1,4	\$1.764.000	\$1.450.000	\$18.850.000	C	C	\$20.614.000	CC
		Sensor de Carga	6.4	Mide la carga aplicada al vehículo	6.4.1	No mide carga aplicada	6.4.1.1	Sensor dañado o desconectado	Evidente. Afecta SHA: NO. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo	4	3,0	\$1.176.000	\$250.000	\$1.000.000	C	C	\$2.176.000	CC
		Placas neumáticas de levante	6.5	Levantam el eje tractor para que el vehículo salga de los rodillos	6.5.1	No levantan el eje tractor	6.5.1.1	Falla del sistema neumático	Evidente. Afecta SHA: SI. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo. Acción correctiva: Cambio de sistema neumático	6	3,0	\$1.764.000	\$550.000	\$3.300.000	B	A	\$5.064.000	BA
		Equipo de medición de gases	6.6	Medir los niveles de los gases de escape del vehículo.	6.6.1	No mide los gases de escape	6.6.1.1	Sonda dañada o filtro tapados	Evidente. Afecta SHA: SI. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo. Acción correctiva: Cambio de sonda o filtros	10	1,4	\$1.372.000	\$380.000	\$3.800.000	A	A	\$5.172.000	AA
		ECU interna	6.7	Procesas los datos del vehículo aplicando la carga recomendada para cada caso y luego interpreta los resultados.	6.7.1	No procesa los datos obtenidos	6.7.1.1	ECU dañada o desconectada	Evidente. Afecta SHA: NO. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo	1	20,0	\$1.960.000	\$1.200.000	\$1.200.000	C	C	\$3.160.000	CC

Tabla 22. AMEF – Opacímetro

Equipo	#	Componente	#	Descrip. Función	#	Falla Func.	#	Modo de Falla	Efecto Falla	Frec. Falla	MTTR (h)	Imp. Prod.	Costo Falla	C. Frec.	Seg.	Amb.	Riesgo Cuantitativo	Riesgo Cualitativo
Opacímetro	7	Ducto de recepción de Gases	7.1	Transportar los gases de escape al equipo de medición	7.1.1	Pérdida de gases de escape	7.1.1.1	Ductos dañados	Evidente. Afecta SHA: SI. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo. Acción correctiva: Reemplazo de los Ductos	12	0,2	\$294.000	\$450.000	\$5.400.000	A	A	\$5.694.000	AA
		Sensor de temperatura	7.2	Mide la temperatura de los gases de escape	7.2.1	No mide temperatura	7.2.1.1	Sensor dañado o desconectado	Evidente. Afecta SHA: SI. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo	3	2,3	\$686.000	\$195.000	\$585.000	B	C	\$1.271.000	BC
		Sensor NDIR	7.3	Mide la opacidad	7.3.1	No mide opacidad	7.3.1.1	Sensor dañado o desconectado	Evidente. Afecta SHA: SI. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo	3	0,7	\$196.000	\$350.000	\$1.050.000	A	A	\$1.246.000	AA
		ECU interna	7.4	Recibe los datos del sensor NDIR e interpreta los resultados.	7.4.1	No procesa los datos obtenidos	7.4.1.1	ECU dañada o desconectada	No evidente. Afecta SHA: SI. Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo	3	0,3	\$98.000	\$800.000	\$2.400.000	C	C	\$2.498.000	CC

CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO.

3.1 PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL

El decreto supremo N° 156 establece en las bases de licitación de PRT un programa de mantenimiento trimestral. El cual consiste en chequear el correcto funcionamiento de los equipos y certificarlos como operativos. Esta revisión la realiza personal de mantenimiento de la misma concesión dueña de la PRT en estudio y de 4 PRTs más en la región metropolitana, por lo que no se realiza un mantenimiento propiamente tal, sino que una revisión para cumplir con la normativa vigente y enseñar los certificados al ente fiscalizador cuando los solicite.

Esta estrategia de mantención durante los primeros años de funcionamiento de la PRT les fue muy eficiente, ya que las fallas eran poco frecuentes debido a que los equipos estaban en el inicio de su vida útil.

3.2 RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

La realización del análisis de modos de fallos permitió identificar las fallas funcionales y asignar un modo de falla a cada una de ellas con un número de identificación.

Se categorizaron las fallas por su impacto económico y su impacto medioambiental y de seguridad para las personas.

Como ya fue mencionado anteriormente cada vez que un equipo falle, la línea de revisión completa deberá cerrarse y dar aviso de inmediato a la Seremitt de transporte, la cual monitorea estas interrupciones y si exceden los márgenes de tiempo y frecuencia establecidos por las bases de licitación, aplica las multas asociadas.

Por este motivo es que para la PRT es importante disminuir la frecuencia de las fallas, pero más importante aún es disminuir el tiempo que el equipo está fuera de servicio (MTTR) ya que por un cierre prolongado se aplican multas mayores y dejan malas calificaciones para futuras licitaciones.

3.2.1 Resumen de resultados de Diagramas Jack Knife.

En el siguiente cuadro se agruparán los equipos y sus componentes según su clasificación en el diagrama de dispersión logarítmica Jack Knife.

Cuadrante	Equipos	Componente
Rango Normal	Alineador al Paso	Medidor de convergencia
	Banco de Suspensión Prueba de Amortiguadores	Motor izquierdo
		Motor derecho
		Tirante izquierdo
		Tirante derecho
	Frenómetro	Motor derecho Motor izquierdo
	Detector de Holguras	Chasis del equipo
Fallas Agudas	Dinamómetro	Sensor de Carga Rodillos
	Opacímetro	Sensor NDIR Ecu Interna
	Alineador al Paso	Sensor de Presencia Placa de medición
	Banco de Suspensión Prueba de Amortiguadores	Chasis del equipo
	Frenómetro	ECU
		Cadenas y Piñones
	Detector de Holguras	Cilindro derecho Cilindro izquierdo
Fallas Crónicas	Luxómetro	Ecu interna Lente frontal
	Dinamómetro	Ecu interna Chasis del equipo
	Opacímetro	Sensor de temperatura
	Alineador al Paso	Polines desplazadores
	Banco de Suspensión Prueba de Amortiguadores	Bascula de peso
	Frenómetro	Sensor de velocidad Sensor de presencia
	Detector de Holguras	Bomba hidráulica Ductos hidráulicos Comando
	Luxómetro	Fuente de alimentación 24 v DC (externa) Pantalla táctil
	Dinamómetro	Motores Eléctricos Placas neumáticas de levante Equipo de medición de gases
	Opacímetro	Ducto de recepción

Tabla 23. Resumen cuadrantes Diagramas Jack Knife

Fuente: elaboración propia

Los resultados de todos los diagramas Jack Knife donde se graficaron en total 37 componentes es el siguiente:

Cuadrante	Cantidad
Rango Normal	12
Fallas Crónicas	13
Fallas Agudas	12
Fallas Agudas – Crónicas	0
Total	37

Tabla 24. “Resultados Jack Knife componentes de los equipos de la PRT v/s MTTR”

Fuente: elaboración propia

Siguiendo con el análisis se observa componentes con MTTR alto, los cuales están agrupados en el cuadrante de fallas agudas de los diagramas de Jack Knife realizados.

Cuadrante	Equipos	Componente
Fallas Agudas	Alineador al Paso	Sensor de Presencia Placa de medición
	Banco de Suspensión Prueba de Amortiguadores	Chasis del equipo
	Frenómetro	ECU
		Cadenas y Piñones
	Detector de Holguras	Cilindro derecho Cilindro izquierdo
	Luxómetro	Ecu interna Lente frontal
	Dinamómetro	Ecu interna Chasis del equipo
	Opacímetro	Sensor de temperatura

Tabla 25. Cuadrantes fallas agudas Diagramas Jack Knife

Fuente: elaboración propia

Se puede observar en la tabla N°24 que todos los equipos tienen componentes con MTTR altos, por lo que aplicar una metodología de mantenimiento como por ejemplo un análisis causa raíz (RCA) a cada modo de falla implicaría un enorme gasto de recursos y no nos ayudaría a mejorar la confiabilidad del sistema puesto que como ya se ha mencionado, un equipo que falle obliga a cerrar toda la línea de revisión.

3.2.2 Riesgo Cuantitativo

Respecto a este análisis los equipos y sus componentes más críticos según su impacto en la producción son los siguientes:

ANÁLISIS MODO EFECTO DE FALLA										Factor por hora			Factor por Día			A	Alto	
										\$ 98.000			\$ 1.176.000			B	Medio	
															C	Bajo		
Equipo	#	Componente	#	Descripción de la Función	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto Falla	Frec Fallos	MTTR (Log-Ejec-P en marcha)	Impacto Producción	Costos directos por falla	Costos directos por frecuencia de fallas	IMPTO SEG	IMPTO AMB	Riesgo Cuantitativo S/I Año	Riesgo Cualitativo
Alineador al Paso	1	Polines desplazadores	1.2	Permitir el desplazamiento de la placa de medición	1.2.1	No permite el desplazamiento de la placa de medición	1.2.1.1	Polines quebrados o agripados	Evidente / No evidente: NO Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo Acción correctiva: Cambio de Polines	8	6,00	\$4.704.000	\$200.000	\$ 1.600.000	C	C	\$ 6.304.000	CC
Banco de Suspensión prueba de Amortiguadores	2	Bascula de masa	2.6	Calcular la masa del vehículo.	2.6.1	No calcula masa del Vehículo	2.6.1.1	Bascula Dañada o desconectada	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: SI Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo Acción correctiva: Cambio Inyector	5	2,80	\$600.000	\$1.100.000	\$ 5.500.000	B	C	\$ 6.100.000	BC
Frenómetro	3	Sensor de Velocidad	3.1	Medir la velocidad de giro de los rodillos	3.1.1	No mide velocidad	3.1.1.1	Sensor dañado o desconectado	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: SI Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo Acción correctiva: Cambio Alternador/caja reguladora	5	3,00	\$1.470.000	\$730.000	\$ 3.650.000	B	C	\$ 5.120.000	BC
		Sensor de Presencia	3.4	Activar el sistema en presencia de un vehículo	3.4.1	No detecta presencia del Vehículo	3.4.1.1	Sensor dañado o desconectado	Evidente / No evidente: NO Afecta SHA: SI Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo Acción correctiva: Cambio de caja reguladora	4	3,75	\$1.470.000	\$890.000	\$ 3.560.000	C	C	\$ 5.030.000	CC
Placa Detectora de Holguras	4	Comando	4.5	Controla el movimiento de las placas detectoras de holguras.	4.5.1	Pérdida del control de placas de holguras.	4.5.1.1	Desconexión eléctrica o fallo de botonera	Evidente / No evidente: NO Afecta SHA: SI Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo Acción correctiva: Reparación de líneas	6	1,17	\$686.000	\$750.000	\$ 4.500.000	B	C	\$ 5.186.000	BC
Dinamómetro	6	Motores Eléctricos	6.2	Se conectan a cada rodillo y genera una carga electromagnética que opone al giro del vehículo	6.2.1	No generan carga electromagnética	6.2.1.1	Desgaste de carbonos	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: NO Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo Acción correctiva: Cambio de carbonos	13	1,38	\$1.764.000	\$405.000	\$ 5.265.000	C	C	\$ 7.029.000	CC
		Placas neumáticas de levante	6.4	Levantam el eje tractor para que el vehículo salga de los rodillos	6.4.1	No levantan el eje tractor	6.4.1.1	Falla del sistema neumático	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: SI Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo Acción correctiva: Cambio de inyector Diesel	6	3,00	\$1.764.000	\$550.000	\$ 3.300.000	B	A	\$ 5.064.000	BA
		Equipo de medición de gases	6.5	Medir los niveles de los gases de escape del vehículo.	6.5.1	No mide los gases de escape	6.5.1.1	Sonda dañada o filtro tapados	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: SI Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo Acción correctiva: Cambio de filtros y sonda	10	1,40	\$1.372.000	\$380.000	\$ 3.800.000	A	A	\$ 5.172.000	AA
Opacímetro	7	Ducto de recepción de Gases	7.1	Transportar los gases de escape al equipo de medición	7.1.1	Pérdida de gases de escape al equipo de medición	7.1.1.1	Ductos dañados	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: SI Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo Acción correctiva: Reemplazo de los Ductos	12	0,25	\$294.000	\$450.000	\$ 5.400.000	A	A	\$ 5.694.000	AA

Tabla 26. Riesgo Cuantitativo de los equipos.

Fuente: elaboración propia

En relación al riesgo cuantitativo se definieron márgenes de impacto en la producción categorizados en tres niveles:

Impacto en la producción	Factor de Impacto
> \$5.000.000	Alto
<= \$5.000.000 > \$2.000.000	Medio
<= \$2.000.000	Bajo

Tabla 27. Factor de impacto en la producción

Fuente: elaboración propia

Esta categorización fue aplicada en el análisis AMEF, mostrando como resultado que solo un equipo no presenta un factor de impacto alto, este sería el Luxómetro.

3.2.3 Riesgo Cualitativo

Luego de realizar el análisis “AMEF” se observan los siguientes equipos con un riesgo alto para la seguridad y el medioambiente.

Equipo	#	Componente	#	Descripción de la Función	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto Falla	Frec Fallas	MTTR (Log- Ejec-P en marcha)	Impacto Producción	Costos directos por falla	Costos directos por frecuencia de fallas	IMPTO SEG	IMPTO AMB	Riesgo Cuantitativo \$/l Año	Riesgo Cualitativo
Dinamómetro	6	Rodillos	6.1	Permiten giro del eje tractor del vehículo y oponen resistencia a este.	6.1.1	No permite el giro del eje tractor del vehículo	6.1.1.1	Rodamientos de los rodillos dañados	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: SI Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo Acción correctiva: Cambio de rodamientos	5	2,40	\$1.176.000	\$560.000	\$ 2.800.000	B	C	\$ 3.976.000	BC
Opacímetro	7	Ducto de recepción de Gases	7.1	Transportar los gases de escape al equipo de medición	7.1.1	Perdida de gases de escape	7.1.1.1	Ductos dañados	Evidente / No evidente: SI Afecta SHA: SI Efecto operacional (síntomas): Genera la detención del equipo Acción correctiva: Reemplazo de los Ductos	12	0,25	\$294.000	\$450.000	\$ 5.400.000	C	B	\$ 5.694.000	CB

Tabla 28. Riesgo Cualitativo de los equipos.

Fuente: elaboración propia

Respecto al riesgo cualitativo arrojado por el análisis AMEF no es decidor para buscar un equipo crítico, ya que el impacto en seguridad es bajo y solo para los mecánicos revisores, porque los clientes tienen prohibido el ingreso a las líneas de revisión. Y el riesgo medioambiental está ligado a fugas de fluidos hidráulicos y emisión de gases de escape de los vehículos.

3.3 PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO.

Como ya fue mencionado anteriormente cada vez que un equipo falla, la línea de revisión completa deberá cerrarse y dar aviso de inmediato a la Seremitt de transporte, la cual monitorea estas interrupciones y si exceden los márgenes de tiempo y frecuencia establecidos por las bases de licitación, aplica las multas asociadas.

Por este motivo es que para la PRT es importante disminuir la frecuencia de las fallas, pero más importante aún es disminuir el tiempo que el equipo está fuera de servicio (MTTR) ya que por un cierre prolongado se aplican multas mayores y dejan malas calificaciones para futuras licitaciones.

Observando los resultados obtenidos queda claro que todos los equipos tienen uno o más componentes críticos.

Bajo la condición impuesta por la normativa se establece un nivel de criticidad igual de alto para todos los modos de fallos. Por lo que la propuesta de mantenimiento debe considerar una mejora en la mantenibilidad de todos los equipos.

3.4 MANTENIMIENTO PREVENTIVO TRIMESTRAL.

Si bien existe un plan de mantenimiento trimestral, este es solo un check list de la operatividad de los equipos y no una mantención propiamente tal.

Como este check list es obligatorio de realizarse, se incorporará al nuevo programa de mantenimiento preventivo trimestral, pero con mejoras sustanciales para que nos permita reducir las fallas inesperadas y programar las mantenciones mayores.

3.4.1 Desarrollo de la actividad de mantenimiento

Para homologar el trabajo se realizará un flujograma de mantención

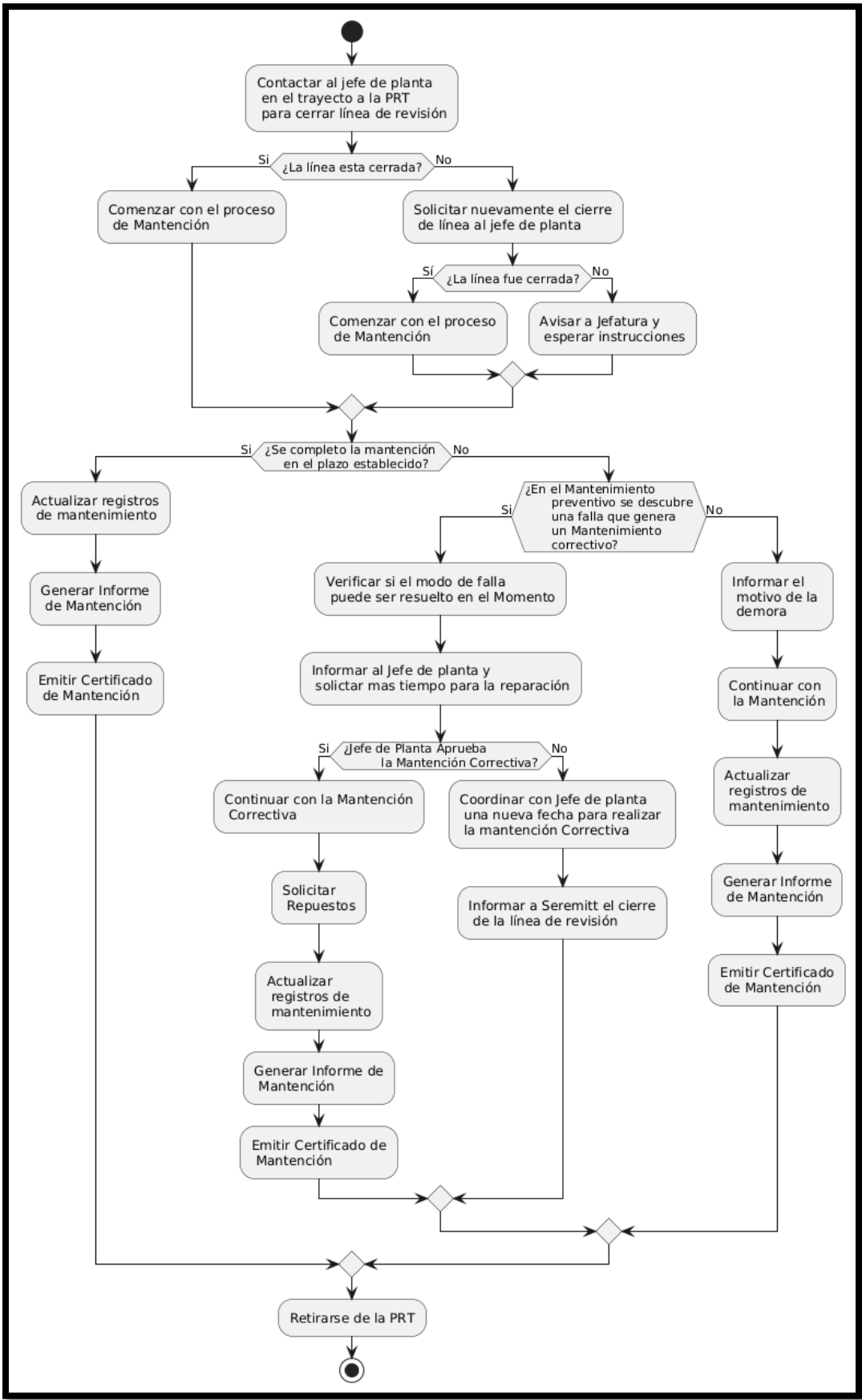


Figura 12. Flujograma de Mantención

Fuente: elaboración propia

3.4.2 Detalle de actividades de Mantenimiento propuestas

3.4.2.1 Alineador de Ruedas

- **Inspección de componentes:**

- Revisar placas de deslizamiento. Se busca desgaste en los bordes y rayaduras que afecten el contacto del neumático.
- Inspección de sensores y cableado; foco en los conectores, que es donde más se ha visto falla histórica.
- Limpieza de la zona móvil de la placa (no toda la estructura, basta con lo que recibe suciedad del piso).

- **Ajustes:**

- Recalibrar los sensores con los valores del manual del fabricante. Esto es lo único que no se puede improvisar.
- Verificar la tensión y el retorno de la placa (si no vuelve sola a posición cero, ya hay un problema).

- **Pruebas de funcionamiento:**

- Prueba en vacío y, si hay disponibilidad, con un vehículo patrón antes de poner la línea en operación.
- Contrastar el resultado con la última medición registrada. Si la desviación supera lo aceptable, repetir calibración.

3.4.2.2 Banco de Prueba de Amortiguadores

- **Inspección de componentes:**

- Revisar conexiones eléctricas y neumáticas. Apretar terminales sueltos en la caja de control, que con la vibración tienden a aflojarse.
- Revisar sensores de desplazamiento y el estado físico de la placa vibradora, sobre todo sus apoyos elásticos.
- Verificar que las placas no tengan grietas; cualquier daño en la superficie altera el resultado de la prueba.

- **Lubricación:**

- Lubricar los puntos móviles indicados por el fabricante. No exceder cantidad: el exceso atrae suciedad.

- **Pruebas de funcionamiento:**

- Si la planificación lo permite, simular prueba con un vehículo liviano y otro más pesado para cubrir el rango de masa.
- Comprobar que las lecturas queden dentro de los rangos exigidos por la normativa vigente.

3.4.2.3 Frenómetro

- **Inspección de componentes:**

- Inspeccionar los rodillos. El recubrimiento antideslizante es lo primero que se gasta; si está pulido, ya no hay agarre y el resultado del frenado deja de ser confiable.
- Revisar las celdas de carga y el estado de los motores eléctricos (escobillas, ruidos anómalos).
- Probar parada de emergencia. No es opcional: si no detiene los rodillos cuando la rueda patina, el equipo no puede operar.

- **Ajustes:**

- Calibrar las celdas de carga con pesa patrón.
- Comprobar que ambas ruedas del eje den lecturas equivalentes durante la prueba.

- **Pruebas de funcionamiento:**

- Ejecutar una corrida con vehículo y comparar el porcentaje de eficiencia con la última prueba documentada.
- Reverificar la detención automática por deslizamiento excesivo; este punto fue ya tocado en inspección, pero debe quedar registrado al cierre.

3.4.2.4 Detector de Holguras (Play Detector)

- **Inspección de componentes:**

- Revisar las placas y su movimiento. Si los recorridos no son completos o quedan trabados, ya no se ven las holguras del tren delantero del vehículo.

- Revisar sistema hidráulico y neumático en busca de fugas; este es el punto histórico de falla del equipo en la planta.
- Verificar las luces detectoras (sin estas el revisor no logra ver el movimiento bajo el vehículo).
- **Lubricación:**
 - Lubricar los puntos de articulación; revisar también si hay fugas alrededor.
- **Pruebas de funcionamiento:**
 - Prueba con vehículo. Si no se detecta holgura conocida en una rótula gastada (vehículo de calibración interno), revisar presión del sistema.

3.4.2.5 Luxómetro

- **Inspección de componentes:**
 - Revisar bloque óptico y lente. El polvo es el principal enemigo de este equipo: una lente sucia entrega una lectura más baja y obliga a rechazar vehículos sin causa real.
 - Revisar pantalla y software (versión instalada, actualizaciones del fabricante si las hay).
- **Limpieza:**
 - Limpiar lente y sensor con paño antiestático. No usar limpiadores con alcohol sobre el sensor.
- **Pruebas de funcionamiento:**
 - Probar con un vehículo conocido midiendo luces altas y bajas, y comparar contra registro anterior.

3.4.2.6 Dinamómetro de Emisiones

- **Inspección de componentes:**
 - Revisar rodillo y plataforma. Es el equipo que más cierres concentra (6 en el semestre, MTTR 20,17 h), así que esta inspección debe ser la más cuidadosa de toda la rutina.
 - Revisar el analizador de gases (HC, CO, NO, CO₂). Revisar mangueras y filtros; una obstrucción acá altera todos los resultados aunque el motor del vehículo esté bien.

- Revisar sensores de velocidad y torque (cableado, fijaciones).
- **Calibración:**
 - Calibrar el analizador con gases patrón. Sin esto el equipo no certifica.
- **Pruebas de funcionamiento:**
 - Hacer una prueba ASM completa con vehículo. Verificar coherencia con la última calibración registrada.

3.4.2.7 Opacímetro

- **Inspección de componentes:**
 - Revisar el cabezal de medición. Para vehículos diésel esta es la única prueba de emisiones, por lo que un mal resultado deja al vehículo sin certificar.
 - Revisar mangueras y conexiones del sistema. Una fuga falsea opacidad a la baja.
- **Limpieza:**
 - Limpiar filtros de entrada y salida; reemplazo si están saturados.
- **Pruebas de funcionamiento:**
 - Prueba en vacío: la lectura debe quedar en cero. Si no, repetir limpieza y revisar fuga.

3.4.2.8 Registro y Documentación

- Después de cada mantenimiento, se completará un **informe de mantención** documentando las actividades realizadas, las fallas encontradas y los componentes reemplazados o ajustados.
- Los **datos recogidos** durante las pruebas de funcionamiento se almacenarán en una base de datos para su análisis posterior, con el fin de realizar un seguimiento de la frecuencia de fallos y las mejoras en el tiempo medio de reparación (MTTR).

3.4.3 Informe de Mantención.

Durante el desarrollo del trabajo fue muy complejo obtener datos fidedignos ya que no se cuenta con una hoja de llenado de datos estándar. Los datos sobre los cierres de líneas fueron

tomados desde los correos enviados por el jefe de planta a la Seremitt de transporte informando el cierre de la línea, y el equipo con fallas.

La información que entrega el área de mantenimiento vía correo indicando la reparación del equipo y en algunos casos la falla que tenía.

Toda esta información debería estar agrupada en un solo informe que sea el inicio de una futura estrategia de mantenimiento.

El formato de informe propuesto es el siguiente:



San Dámaso

revisiones técnicas



INFORME DE MANTENIMIENTO							
PRT	B-1344	Nº Informe	45	Fecha Inicio	22-01-2024	Hora Inicio	8:00
Jefe de Planta	Eduardo Morales	Línea Nº	2	Fecha Término	22-01-2024	Hora Término	15:00
Línea Nº	2	Mantenedor 1	Julio Román	Fecha de falla	21-01-2024	Hora de falla	15:00
Equipo	Frenómetro	Mantenedor 2	Víctor Cárcamo				

REQUERIMIENTOS

Revisar el equipo Frenómetro de línea número 2 el cual no realiza la prueba de frenado correctamente

DIAGNÓSTICO

Luego de realizar una revisión de todos los componentes del equipo y sus modos de fallo se detecta un problema en el motor izquierdo del equipo, el cual estaba desconectado producto de un desperfecto en su conector eléctrico.

Equipo	Componente	Modo de Fallo	Nº	Actividad Mtto	Acción a Ejecutar	Repuesto
Frenómetro	Motor Izquierdo	Motor desconectado o dañado	3.2.1.1	Correctivo	Reemplazo de Conector del Motor	Conector de Motor

DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

Revisión de todos los componentes y modos de fallo.
Detección y diagnostico
Se reemplaza el conector dañado
Se realiza un limpieza del equipo
Se prueba y deja operativo

Figura 13. Informe de Mantención

Fuente: elaboración propia

Con este informe podremos recopilar información referente a la cantidad de fallas que tiene un equipo, la frecuencia de ocurrencia, el tiempo en que el equipo vuelve a estar operativo y los componentes que más fallan.

Con todos estos datos se podrá mejorar el plan de mantenimiento propuesto o realizar un RCM a algún componente de ser necesario.

3.4.4 Lista de Inspección

La lista de chequeo es parte de las bases de licitación vigentes, pero como se mencionó anteriormente solo establece que el técnico certifique la operatividad de los equipos y no que se realice una mantención de ellos.

Es por ello que se propone una hoja de inspección basada en los modos de fallos obtenidos del AMEF realizado.



San Dámaso
revisiones técnicas



LISTA DE INSPECCIÓN							
PRT	B-1344	N° Informe	45	Fecha Inicio	22-01-2024	Hora Inicio	8:00
Jefe de Planta	Eduardo Morales	Mantenedor 1	Julio Román	Fecha Término	22-01-2024	Hora Término	15:00
Línea N°	1	Mantenedor 2	Víctor Cárcamo	Equipo Inspeccionado	Frenómetro		

EQUIPO						
Equipo	Componente	Limpieza	Revisión mecánica	Revisión Eléctrica	Revisión de Software	Observaciones
Frenómetro	Motor Izquierdo	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Motor con desgaste de Carbones
Frenómetro	Motor Derecho	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Motor con desgaste de Carbones
Frenómetro	Sensor de Velocidad	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Sin Observaciones
Frenómetro	Sensor de Precencia	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Sin Observaciones
Frenómetro	ECU	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Sin Observaciones
Frenómetro	Cadenas y Piñones	Realizado	Realizado	Realizado	Realizado	Sin Observaciones

OBSERVACIONES GENERALES
Se observa desgaste en ambos motoores eléctricos del Equipo

Figura 14. Lista de inspección
Fuente: elaboración propia

3.4.5 Recursos necesarios para llevar a cabo las actividades de mantenimiento.

Los recursos que necesitamos los clasificaremos en grupos

3.4.5.1 Recursos humanos

Actualmente la concesión San Damaso cuenta con 5 plantas de revisión Técnica y para realizar las mantenciones cuenta con un equipo de mantención que se compone de un jefe de Mantención, un técnico y un asistente.

Nuestra propuesta considera mantener este personal, promoviendo al asistente a técnico, previa evaluación y contratar 2 asistentes. Así se contará con dos equipos de mantención en terreno y un jefe de mantención, ya que aumentará la carga laboral debido a que mejoraremos el estándar de las mantenciones y su frecuencia. Las funciones de cada uno se detallan a continuación.

Jefe de Mantención

Responsabilidades Principales:

1. Planificación: arma el calendario trimestral de mantenimiento de las cinco PRT, distribuye las visitas entre los dos equipos en terreno y revisa que cada actividad quede cerrada en el plazo. Mantiene la coordinación con jefes de planta.
2. Supervisión: lidera a los dos técnicos y dos asistentes en terreno. Acompaña al menos una visita por semana para verificar calidad de la mantención y dar retroalimentación. Es responsable del cumplimiento del uso de EPP.
3. Repuestos y herramientas: solicita compras al área de finanzas, ahora identificando cada insumo por PRT, línea, equipo y componente (que es el cambio que se propone en este trabajo). Aprueba el ingreso de servicios externos cuando excede la capacidad propia.
4. Seguimiento de indicadores: revisa MTTR y horas de línea cerrada por equipo todos los meses y entrega un reporte trimestral a la concesión, comparando con la línea base levantada para este trabajo (318 horas, MTTR 22,71 h en el 1° semestre 2025).
5. Documentación: revisa los informes de mantención que entregan los técnicos (formato propuesto en 3.4.3) y los archiva. Lleva los antecedentes que pide la Seremitt cuando los solicita.

6. Cumplimiento normativo: vela porque el plan se ajuste a lo exigido por el D.S. N°156 y las bases de licitación. Si una nueva exigencia cambia el alcance de la mantención, actualiza la pauta.
7. Capacitación: organiza al menos una capacitación anual con los fabricantes de los equipos críticos (alineador, frenómetro, dinamómetro).
8. Respuesta ante emergencias: define el orden de atención cuando hay un cierre de línea y comunica la situación a la concesión. En lo posible, evita ser quien interviene físicamente, su tarea es coordinar la respuesta de los dos equipos.

Técnico de Mantenimiento

Responsabilidades Principales:

1. Ejecuta las mantenciones programadas siguiendo la pauta del 3.4.2 y atiende los avisos de falla. Es quien decide en terreno si la falla se puede resolver o si requiere repuesto externo.
2. Revisa el estado de los equipos en cada visita y deja anotado en el informe cualquier signo previo de falla, aunque no requiera reparación inmediata.
3. Llena el informe de mantención (formato del 3.4.3) al cierre de cada visita: actividades realizadas, fallas detectadas, piezas cambiadas y horas de trabajo.
4. Acude a emergencias dentro de su turno; si la falla excede su capacidad técnica, escala al jefe.
5. Participa en las capacitaciones que organice el jefe, especialmente las del fabricante.

Asistente de Mantenimiento

Responsabilidades Principales:

1. Apoya al técnico durante la mantención: prepara herramientas, repuestos y EPP antes de la visita, y ejecuta las tareas más simples de la pauta (limpieza, lubricación, recambios menores).

2. Lleva el inventario de la camioneta y de la bodega de repuestos. Avisa al jefe cuando hay que reponer.
3. Archiva los informes firmados por el técnico, idealmente en formato digital, para que el jefe pueda revisar los indicadores sin pedir papeles.
4. Ejecuta tareas menores de la pauta. En este perfil están los dos asistentes nuevos que se contratan en la propuesta.
5. Reporta al técnico cualquier ruido, fuga o vibración que detecte durante la visita aunque no esté listado en la pauta.

3.4.5.2 Herramientas

3.4.5.2.1 Herramientas Manuales

1. Juegos de Llaves:

- Llaves combinadas (punta y corona) desde N° 06 hasta N° 32.
- Llaves ajustables (francesas) de diferentes tamaños.
- Llaves Allen en sistema métrico e imperial.

2. Juegos de Dados:

- Dados de 1/2" y 1/4" desde N° 4 hasta N° 32.
- Dados de impacto.
- Juego de extensiones para dados.

3. Destornilladores:

- Juego de destornilladores planos y de cruz (Phillips).
- Destornilladores de precisión para trabajos delicados.

4. Alicates:

- Alicates universales.
- Alicates de corte diagonal.

- Alicates de punta fina (pinzas).
 - Alicates de presión.
5. Martillos:
- Martillo de bola.
 - Martillo de goma (mazo).
 - Martillo de carpintero.
6. Cortadores y Sierras:
- Cortador de tubos.
 - Sierra manual con hojas de repuesto.
 - Cizallas para cortar metal.
7. Pinzas:
- Pinzas de presión.
 - Pinzas para anillos de retención (internos y externos).
8. Llaves de Torque:
- Llave de torque manual con rango ajustable.
 - Adaptadores para diferentes tipos de cabezales.

3.4.5.2.2 Herramientas Eléctricas

1. Taladros Eléctricos:
- Taladro percutor con brocas intercambiables (para concreto, metal, y madera).
 - Taladro inalámbrico (de batería) con baterías de repuesto.
2. Esmeril Angular:
- Esmeril angular de 4.5" con discos de corte y desbaste.
3. Llave de Impacto:
- Llave de impacto eléctrica o neumática para el apriete y afloje de tornillos y pernos grandes.
4. Soldadora Eléctrica:

- Máquina soldadora eléctrica con electrodos para soldadura en diferentes tipos de metales.

3.4.5.3 Instrumentos de Medición

1. Multímetro Digital:

- Multímetro para medir voltaje, corriente, y resistencia.

2. Pie de Metro (Calibrador Vernier):

- Calibrador vernier digital y analógico para medición precisa de diámetros, profundidades y espesores.

3. Micrómetro:

- Micrómetro para medir espesores con alta precisión.

4. Manómetro:

- Manómetro para medir presiones en sistemas neumáticos e hidráulicos.

5. Termómetro Infrarrojo:

- Termómetro infrarrojo para medir la temperatura superficial de los equipos sin contacto.

6. Medidor de Vibraciones:

- Instrumento para medir vibraciones en máquinas rotativas, útil para diagnóstico de fallas.

7. Pistola de Calor:

- Para pruebas de resistencia térmica y aplicaciones de contracción térmica.

8. Cinta Métrica:

- Cinta métrica para verificar calibraciones y dimensiones en herramientas y piezas.

9. Nivel de Burbuja:

- Nivel de burbuja para asegurar que las instalaciones y montajes estén perfectamente nivelados.

10. Nivel Infrarrojo:

- Nivel infrarrojo para medición de niveles y alineación con mayor precisión, utilizado especialmente en condiciones donde la visibilidad es baja o cuando se necesita una referencia precisa en distancias largas.

3.4.5.4 Vehículos

1. Camioneta de Servicio:

- Vehículo utilitario equipado con compartimientos para almacenar herramientas, repuestos, y equipo de mantenimiento. Equipado con una grúa pequeña si se requiere levantar o mover equipos pesados.

2. Vehículo de Inspección:

- Vehículo pequeño o mediano utilizado por el jefe de Mantenimiento para realizar inspecciones y supervisar trabajos en diferentes ubicaciones.

3.4.5.5 Equipo de Seguridad Personal (EPP):

Cascos de seguridad, guantes de protección, gafas de seguridad, calzado de seguridad con punta de acero, protectores auditivos y lo que se requiera ejecutar las tareas encomendadas.

3.5 COSTOS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

En nuestra propuesta sumaremos un equipo de mantenedores en terreno compuesto por un técnico y un asistente. Como se va a promover al actual asistente solo se contratarán a dos asistentes.

3.5.1 Costos fijos

3.5.1.1 Equipo de Mantenimiento en Terreno

1. Personal:

- 2 técnicos de Mantenimiento
- 2 asistentes de Mantenimiento

2. Salario (mensual en CLP):

- Técnico de Mantenimiento CLP 1.200.000

- Aumento técnico de Mantenimiento: CLP 400.000
- Asistentes de Mantenimiento: CLP 800.000 cada uno

3. Total Salarios (Mensuales)

- Técnico de Mantenimiento Promovido: CLP 400.000
- 2 Asistentes de Mantenimiento: CLP 1.600.000 (CLP 800.000 cada uno)
- Total Mensual Salarios: CLP 2.000.000

3.5.1.2 Mantenimiento del Vehículo:

- Considerar un costo mensual para combustible, seguros, y mantenimiento del vehículo (estimado en CLP 800.000 mensuales)

3.5.1.3 Repuestos y Materiales de Consumo

Se estima un gasto mensual en repuestos de equipos y materiales de consumo como, por ejemplo: rodamientos, correas, rodillos, grasa, lubricantes, limpia contactos, etc. En base a un promedio de compras de todas las PRT, ya que solo estaba la información del tipo de compras, pero no separada por PRT ni menos asociado a cada línea y equipo.

Para evitar estos problemas a futuro se trabajará con el área de finanzas para que cada insumo o repuesto sea asignado por PRT línea de revisión equipo, componente y modo de falla.

Promedio de gastos calculado para repuestos y materiales de consumo CLP 900.000

3.5.2 Costos de Implementación

3.5.2.1 Herramientas Manuales:

- Juegos de Llaves: CLP 150,000
- Juegos de Dados: CLP 100,000
- Destornilladores: CLP 50,000
- Alicates: CLP 50,000
- Martillos: CLP 30,000
- Cortadores y Sierras: CLP 40,000
- Pinzas: CLP 25,000
- Llaves de Torque: CLP 150,000
- Total: CLP 595,000

3.5.2.2 Herramientas Eléctricas:

- Taladro Eléctrico: CLP 200,000
- Esmeril Angular: CLP 150,000
- Llave de Impacto: CLP 300,000
- Pulidora: CLP 200,000
- Multímetro Digital: CLP 80,000
- Soldadora Eléctrica: CLP 400,000
- Total: CLP 1,330,000

3.5.2.3 Instrumentos de Medición:

- Pie de Metro: CLP 80,000
- Micrómetro: CLP 150,000
- Manómetro: CLP 120,000
- Termómetro Infrarrojo: CLP 90,000
- Medidor de Vibraciones: CLP 350,000
- Pistola de Calor: CLP 100,000
- Taco Métrico: CLP 70,000
- Nivel de Burbuja: CLP 50,000
- Nivel Infrarrojo: CLP 300,000
- Total: CLP 1,210,000

3.5.2.4 Equipo de Protección Personal (EPP):

- Cascos de seguridad: CLP 30.000 cada uno
- Guantes de protección: CLP 10.000 (3 pares por persona)
- Gafas de seguridad: CLP 15.000 cada uno
- Calzado con punta de acero: CLP 50.000 cada uno
- Protectores auditivos: CLP 20.000 cada uno
- Total (para 2 personas): CLP 270.000

3.5.2.5 Vehículo:

- Camioneta de Servicio equipada: CLP 18.000.000. Este ítem corresponde a un activo del plan, no a un gasto consumible: dado que la PRT actualmente no cuenta con vehículo propio asignado a mantención y el modelo propuesto requiere desplazamiento del equipo en terreno entre líneas y bodega de repuestos, su adquisición se justifica como inversión única amortizable a cinco años. En caso de que la organización decida arrendar este vehículo, el costo se reclasificaría como gasto operacional mensual y la inversión inicial bajaría de CLP 21.355.000 a CLP 3.355.000, mejorando los indicadores financieros presentados en el punto 3.6.5.

3.5.3 Resumen de Costos

3.5.3.1 Tabla de Costos Fijos

Descripción	Total (CLP)
Salarios Mensuales	\$2.000.000
Mantenimiento del Vehículo	\$800.000
Repuestos y Materiales de Consumo	\$900.000
Total de costos fijos mensuales	\$3.700.000

Tabla 29. Resumen de costos fijos

Fuente: elaboración propia

3.5.3.2 Tabla resumen de costos de implementación del plan de mantenimiento

Descripción	Total (CLP)
Herramientas Manuales	\$595.000
Herramientas Eléctricas	\$1.330.000
Instrumentos de Medición	\$1.210.000
Equipo de Protección Personal	\$220.000
Vehículo	\$18.000.000
Total costos de implementación	\$21.355.000

Tabla 30. Resumen costos de implementación del plan de mantenimiento

Fuente: elaboración propia.

3.6 BENEFICIOS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

Sin un plan de mantenimiento la PRT revisa 3.000 vehículos semanales, en 74 horas de trabajo, lo que nos da un total aproximado de 41 vehículos por hora. (datos obtenidos durante el 1er semestre 2025)

En el semestre estudiado se informaron a Seremitt 318 horas de interrupción por fallas en líneas de revisión que implicaran el cierre de ellas.

Como se mencionó actualmente la concesión San Damaso dueña de la PRT en estudio cuenta con un equipo de mantención para las 5 PRT de la Región Metropolitana, nuestra propuesta además de recopilar información, crear una estrategia de mantenimiento y desarrollar una pauta de mantención crea otro equipo de trabajo.

El número total de reparaciones o número total de fallas, aún no lo podemos reducir, ya que los datos obtenidos no eran suficientes para un análisis detallado, pero con la implementación del plan de mantenimiento propuesto se espera tener datos claros y fidedignos para poder, con ello, proponer mejoras más significativas.

3.6.1 Cálculo del MTTR de la PRT

Dada las características ya descritas como primera medida propondremos mejorar el MTTR cuya formula establece:

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

Cierre de Líneas informadas a Seremitt al 31 de Julio de 2025						
Línea N°	Equipo	Cierre		Apertura		Horas de Línea Cerrada
		Fecha	Hora	Fecha	Hora	
3	Dinamómetro	06-01-2025	8:00	07-01-2025	17:00	23
4	Frenómetro	15-01-2025	15:00	17-01-2025	18:00	29
5	Dinamómetro	30-01-2025	7:00	30-01-2025	19:00	12

2	Alineador	13-02-2025 12:00	15-02-2025 17:00	34
1	Placas de holguras	25-02-2025 13:45	25-02-2025 19:45	5
3	Alineador	05-03-2025 13:10	08-03-2025 14:10	40
4	Dinamómetro	26-03-2025 7:00	26-03-2025 19:00	12
2	Placas de holguras	12-05-2025 10:00	15-05-2025 14:00	30
2	Frenómetro	19-05-2025 11:00	20-05-2025 18:00	20
4	Dinamómetro	22-05-2025 17:00	25-05-2025 17:00	39
3	Dinamómetro	23-06-2025 12:00	24-06-2025 15:00	16
1	Alineador	27-06-2025 11:00	28-06-2025 16:00	18
5	Dinamómetro	07-07-2025 9:00	08-07-2025 10:00	19
3	Frenómetro	21-07-2025 17:00	23-07-2025 12:00	21
Total				318

Tabla 30. Información de cierre de líneas informada a Seremitt.

Fuente: Elaboración propia

Resumen de falla de equipos

Equipo	Horas Totales de Línea Cerrada	Número de Cierres
Dinamómetro	23 + 12 + 12 + 39 + 16 + 19	6
Frenómetro	29 + 20 + 21	3
Alineador	34 + 40 + 18	3
Placas de holguras	5 + 30	2

Tabla 31. Resumen de fallas de equipos

Fuente: Elaboración propia

1. Dinamómetro

- Horas totales: $23 + 12 + 12 + 39 + 16 + 19 = 121$ horas
- Número de cierres: **6**

$MTTR \text{ Dinamómetro} = 121 \text{ horas} / 6 = 20,17 \text{ horas}$

2. Frenómetro

- Horas totales: $29 + 20 + 21 = 70$ horas
- Número de cierres: **3**

$$MTTR (Frenómetro) = \frac{70 \text{ horas}}{3} = 23.33 \text{ horas}$$

3. Alineador al paso

- Horas totales: $34 + 40 + 18 = 92$ horas
- Número de cierres: **3**

$$MTTR \text{ Alineador al paso} = 92 \text{ horas} / 3 = 30,67 \text{ horas}$$

4. Placas de holguras

- Horas totales: $5 + 30 = \mathbf{35}$ horas
- Número de cierres: **2**

$$MTTR (Placas de holguras) = \frac{35 \text{ horas}}{2} = 17,5 \text{ horas}$$

Cálculo del promedio de MTTR de la PRT.

$$\begin{aligned} MTTR \text{ promedio de la PRT} &= \text{Horas totales de reparación} / \text{Número total de cierres} \\ &= 318 \text{ horas} / 14 = 22,71 \text{ horas} \end{aligned}$$

3.6.2 Disminución de horas de inactividad

En teoría al tener otro equipo de mantenimiento (con vehículo y herramientas), duplicaríamos la eficiencia operativa y con ello se reduciría a la mitad el tiempo de reparación, debido a:

- **Mayor capacidad de respuesta:** Con más personal y recursos, los tiempos de espera para iniciar la reparación se reducirían considerablemente.
- **Menor carga por técnico:** Al reducir la carga de trabajo por técnico, es posible enfocarse mejor en cada tarea, minimizando errores y repeticiones.
- **Posible paralelización de tareas:** Algunas tareas de reparación podrían realizarse en paralelo, como tener a ambos equipos reparando una misma falla.

Si bien duplicar el equipo puede reducir el MTTR teóricamente a la mitad, en la práctica podría no alcanzarse esa proporción exacta debido a otros factores como la logística, la disponibilidad de repuestos o la dificultad de las reparaciones. Algunas tareas, por ejemplo, no pueden acelerarse con más personal por el poco espacio de trabajo.

Con todo esto en cuenta se opta por trabajar el escenario con una reducción del MTTR del 40%. Es una cifra conservadora: duplicar el equipo de mantenimiento por sí solo podría llegar a más, y a eso se suma que ahora habrá una pauta de mantención que hoy no existe, un cronograma definido y un jefe que ya no estará interviniendo en terreno, sino coordinando. Si la implementación funciona, en el segundo año la reducción podría acercarse al 60%, pero para los cálculos económicos del 3.6 se conserva el 40% para no inflar los beneficios.

Al disminuir el MTTR en un 40% la cantidad de vehículos revisados aumenta de la siguiente manera:

$$\text{Nuevo MTTR} = \text{MTTR Actual} - 40\% = 22,71 - 40\% = 13,63 \text{ horas}$$

$$\text{Nuevas horas totales de reparación} = \text{Nuevo MTTR} * \text{Número total de cierres}$$

$$\text{Nuevas horas totales de reparación} = 13,63 \text{ horas} \times 14 = 190,8 \text{ horas}$$

$$\text{Disminución de horas de reparación} = 318 - 190,8 = 127,2 \text{ horas}$$

Para conocer de manera más exacta la cantidad de vehículos en promedio revisados por hora se sacaron del cálculo los días en que la PRT tenía una o más líneas cerradas, es decir solo cuando estaba operando al 100%, la muestra fue tomada en 1 mes de operatividad y se multiplicó

por los 6 meses de un semestre para tener el mismo periodo de tiempo de la muestra original con interrupciones del servicio. Para el cálculo de los vehículos revisados por hora se consideró un promedio de operación de la PRT de 12,33 horas diarias (dato obtenido de las horas de operación diaria). El resultado fue el siguiente:

Vehículos Revisados Semestralmente	Vehículos Revisados Mensualmente	Vehículos Revisados Semanalmente	Vehículos Revisados por día	Vehículos Revisados por hora
102.700	17.117	3.950	658	53,4

Tabla 32. Revisión de vehículos con la PRT 100% operativa

Fuente: elaboración propia

Los vehículos revisados por hora son de toda la PRT por lo que se debe calcular los vehículos revisados por línea.

Vehículos revisados por hora en una línea = $\frac{54}{5} = 10,8 \text{ vehículos/hora}$

Cobro x Vehículo Revisado	Aumento de horas de revisión	Vehículos Revisados por hora en 1 línea	Aumento de vehículos revisados semestralmente	Aumento de ingresos por vehículos revisados semestralmente
\$ 12.250	127,2	10,8	1.374	\$ 16.831.500

Tabla 33. Aumento de vehículos revisados

Fuente: Elaboración propia

3.6.3 Cuadro comparativo

El plan de mantenimiento propuesto presenta múltiples beneficios en comparación con la situación actual de la Planta de Revisión Técnica (PRT). A continuación, se destacan algunos de los beneficios clave:

- **Reducción del MTTR:** El nuevo plan de mantenimiento propuesto reducirá el MTTR en un 40%, lo que se traducirá en menos horas de interrupción de las líneas.

- **Aumento en la disponibilidad de equipos:** El tiempo de inactividad disminuye, lo que permite que más vehículos puedan ser revisados.
- **Reducción de costos:** Menos vehículos perdidos por interrupciones y menor riesgo de multas por incumplimiento de tiempos de operación.
- **Aumento en los ingresos:** Al revisar más vehículos, la planta puede generar más ingresos, ya que el número de vehículos no revisados por fallas disminuye.

Concepto	Situación Actual	Nuevo Plan de Mantenimiento
MTTR (Tiempo Medio de Reparación)	22,71 horas	13,63 horas (40% de reducción)
Horas de Interrupción por semestre	318 horas	190,8 horas (40% de reducción)
Vehículos no revisados	2.544 vehículos	1.526 vehículos (40% de reducción)
Pérdida Económica	CLP 31.164.000	CLP 18.698.400 (40% de reducción)
Multas por fallas	CLP 3.000.000 (estimado)	CLP 1.800.000 (40% de reducción)

Tabla 34. Cuadro Comparativo: Situación Actual vs. Nuevo Plan de Mantenimiento

Fuente: elaboración propia

3.6.4 Tiempo de Recuperación de la Inversión

Costo de Implementación Inicial: CLP 21.355.000.

Costos Fijos Adicionales Mensuales:

El nuevo plan de mantenimiento genera un incremento en los costos fijos debido a los nuevos contratos y el aumento de sueldo:

Promoción del ayudante: CLP 400.000 adicionales.

2 ayudantes nuevos: CLP 800.000 cada uno (total CLP 1,600,000).

Total costos fijos adicionales: CLP 2.000.000 mensuales.

Ahorro por el Nuevo Plan (Ajustado):

El ahorro por la reducción en pérdidas económicas es de:

Ahorro por semestre: CLP 16.831.500.

Costo Total del Nuevo Plan por Semestre:

A continuación, se consideran los costos adicionales fijos en cada semestre:

$\text{CLP } 2.000.000 \times 6 \text{ meses} = \text{CLP } 12.000.000$ de costos adicionales por semestre.

Ahorro Neto:

Para obtener el ahorro neto por semestre, restamos los costos fijos adicionales del ahorro por reducción de pérdidas:

$\text{Ahorro neto por semestre} = 16.831.500 - 12.000.000 = \text{CLP } 4.831.500$

Tiempo de Recuperación de la Inversión:

$\text{ROI (Tiempo de Recuperación)} = \text{Costo de Implementación} / \text{Ahorro neto por semestre}$:

$21.355.000 / 4.831.500 = 4,42 \approx 4,5 \text{ semestres} \approx 2,21 \text{ años}$.

Si bien la inversión inicial se recuperaría en aproximadamente 2,2 años este es un tiempo razonable para cualquier inversión, sin considerar que en el primer año de implementación ya se podrían realizar otros análisis con los datos obtenidos para buscar mejoras y la implementación del mantenimiento preventivo a los dos años ya debería disminuir la cantidad de fallos imprevistos.

Por todos lo antes descrito es que se recomienda implementar el plan de mantenimiento propuesto.

3.6.5 Evaluación económica: VAN, TIR y VAC

Dado que el tiempo de recuperación de la inversión (payback) por sí solo no considera el valor del dinero en el tiempo, se complementa la evaluación con tres indicadores financieros adicionales: el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Anual Equivalente de Costos (VAC). Estos permiten determinar si la inversión genera valor económico para la empresa más allá del simple plazo de retorno.

Para el cálculo se considera un horizonte de evaluación de cinco años, una tasa de descuento del 12% anual (referencial para proyectos industriales en Chile) y los flujos netos semestrales obtenidos en la sección 3.6.3, equivalentes a un ahorro anual de \$9.663.000. La inversión inicial corresponde a los costos de implementación, es decir, \$21.355.000.

Valor Actual Neto (VAN):

$\text{VAN} = -\text{Inversión inicial} + \sum (\text{Flujo neto anual} / (1+i)^n)$, con $i = 12\%$ y $n = 1 \text{ a } 5$.

$$\text{VAN} = -21.355.000 + 9.663.000/(1,12) + 9.663.000/(1,12)^2 + 9.663.000/(1,12)^3 + 9.663.000/(1,12)^4 + 9.663.000/(1,12)^5.$$

$$\text{VAN} \approx -21.355.000 + 34.832.000 \approx \$13.477.000.$$

Un VAN positivo indica que el proyecto genera valor por sobre el costo de oportunidad del capital, por lo que la propuesta es económicamente conveniente.

Tasa Interna de Retorno (TIR):

La TIR corresponde a la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero. Resolviendo iterativamente la ecuación del VAN se obtiene una TIR aproximada de 35,8% anual, cifra superior a la tasa de descuento de referencia (12%), lo que ratifica que el proyecto es rentable.

Valor Anual Equivalente de Costos (VAC):

El VAC permite expresar la inversión inicial como una cuota anual equivalente durante el horizonte de evaluación, facilitando su comparación con el ahorro anual estimado.

$$\text{VAC} = \text{Inversión} \times [i(1+i)^n / ((1+i)^n - 1)] = 21.355.000 \times [0,12(1,12)^5 / ((1,12)^5 - 1)] \approx \$5.923.000 \text{ anuales.}$$

Dado que el ahorro anual (\$9.663.000) es superior al VAC (\$5.923.000), se confirma que el proyecto se autofinancia y genera un excedente neto anual cercano a \$3.740.000.

La evaluación económica completa, considerando VAN, TIR y VAC, ratifica la conveniencia de implementar el plan de mantenimiento preventivo propuesto, complementando el análisis de payback realizado en la sección anterior.

CONCLUSIÓN

El trabajo partió de una situación concreta: durante el primer semestre de 2025 la PRT B-1344 acumuló 318 horas de línea cerrada, lo que se tradujo en una pérdida estimada de \$31.164.000 y en una exposición permanente a multas por parte de la Seremitt. Esa era la pregunta que había que responder, qué hacer para reducir ese número.

El primer capítulo dejó claro el contexto: la PRT B-1344 opera bajo el D.S. N°156, atiende vehículos clase B y depende de la continuidad operativa para evitar sanciones. El mantenimiento actual es solo un check list trimestral que certifica operatividad, no una mantención propiamente tal, y eso explica por qué los cierres se concentran en pocos equipos críticos (dinamómetro, alineador y frenómetro acumulan 12 de los 14 cierres del semestre).

En el segundo capítulo se aplicó FMECA. Antes se descartaron Pareto, Ishikawa y los 5 Porqués porque ninguna sirve para priorizar entre 37 componentes de 7 equipos distintos: Pareto ordena por frecuencia (y acá un cierre largo importa más que uno frecuente) y las otras dos sirven cuando ya se sabe sobre qué falla concreta hay que trabajar. El Jack Knife mostró que 13 componentes están en zona de fallas crónicas y 12 en fallas agudas, y el AMEF dejó al luxómetro como único equipo sin impacto productivo alto. Todos los demás aparecen como críticos, lo que valida que el plan tiene que ser transversal y no enfocado en un solo equipo.

A partir de ahí se elaboró la propuesta del Capítulo 3. La rutina trimestral por equipo (3.4.2) reemplaza el check list actual con tareas concretas de inspección, ajuste, lubricación y prueba con vehículo. Se suma un segundo equipo de mantención en terreno (un técnico promovido más dos asistentes nuevos), un informe estandarizado de mantención que hoy no existe, y una lista de inspección construida a partir de los modos de falla del AMEF. Lo que hoy se ejecuta a nivel diario por el operador se mantiene, la propuesta no lo reemplaza.

La evaluación económica entregó números favorables. Con una inversión inicial de \$21.355.000 y costos operativos adicionales de \$24.000.000 al año, el ahorro asociado a la reducción del 40% del MTTR llega a \$9.663.000 anuales. Sobre cinco años y al 12% de tasa de descuento, el VAN da \$13.477.000 positivo, la TIR 35,8% y la inversión se recupera en

aproximadamente 2,2 años. Hay un escenario alternativo, importante de mencionar: si la camioneta se arrienda en vez de comprar, la inversión inicial baja a \$3.355.000 y los indicadores mejoran.

Desde una perspectiva de ingeniería de mantenimiento, la propuesta se considera técnica y económicamente viable: la estrategia preventiva basada en FMECA reduce el MTTR de 22,71 a 13,63 horas por cierre (una disminución del 40%, equivalente a 127,2 horas de inactividad evitadas en el semestre) y arroja indicadores favorables —VAN de \$13.477.000, TIR de 35,8% frente a una tasa de descuento del 12% y un período de recuperación de 2,2 años—, lo que confirma que la inversión agrega valor y mitiga el riesgo operacional de cierres de línea. La limitación más relevante es la calidad de los datos de entrada: al no existir un registro estandarizado de fallas, la línea base se reconstruyó a partir de los reportes enviados a la Seremitt, por lo que la reducción del 40% del MTTR constituye una estimación conservadora que debe validarse en régimen una vez implementado el plan. En consecuencia, se recomienda como trabajo futuro implementar un sistema de registro digital de fallas y tiempos de reparación que permita, transcurrido un año de operación, recalcular el MTTR real y recalibrar las frecuencias de intervención sobre datos propios, cerrando así el ciclo de mejora continua del plan de mantenimiento

BIBLIOGRAFÍA

Decreto Supremo:

Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. (1990). Decreto Supremo N° 156 del 29 de noviembre del año 1990: Establece bases de licitación para plantas de revisión técnica. Santiago, Chile: Diario Oficial.

Resolución Exenta:

Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. (2012). Resolución Exenta N° 251 del 27 de noviembre del año 2012: Aprueba nuevas bases de licitación para plantas de revisión técnica. Santiago, Chile: Diario Oficial.

Manual de Imagen Corporativa:

Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. (n.d.). Manual de imagen corporativa de las plantas de revisión técnica. Santiago, Chile: Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.

Manual de Procedimientos:

Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. (n.d.). Manual de procedimientos para la revisión de vehículos clase B. Santiago, Chile: Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.