

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
CARRERA DE MECÁNICA AUTOMOTRIZ**



PROYECTO DE GRADO
**APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA
CONFIABILIDAD RCM EN EL SISTEMA DE FRENO
NEUMÁTICO DE LOS “BUSES PUMA KATARI”**

Por: Roger Alegría Laura

Tutor: MSc. Lic. Edgar Quiroga Vilca

LA PAZ - BOLIVIA

2018

AGRADECIMIENTOS

Primeramente quiero dar gracias a Dios, nuestro Padre celestial, quien me ayudo en todo, y permitirme tener esta oportunidad para poder realizar este proyecto.

Le agradezco a mi madre Matilde Laura Vda. De Alegria por todo su sacrificio que hicieron para ayudarme a crecer, por cuidarme y enseñarme la importancia de prepararme académicamente para poder surgir dentro la sociedad.

Agradezco también a todos mis docentes, quienes con incansable dedicación, compartieron sus conocimientos, porque de parte de ellos recibí una buena formación académica que llevo conmigo.

A mi Tutor Msc. Lic. Edgar Quiroga, por ayudarme a desarrollar este trabajo, el cual es fundamental para culminación de mi carrera, también al Lic. Illanes, Ing. Carlos Andrade, Doc. Ramiro Peralta quienes con su apoyo incondicional me respaldaron para la ejecución del presente proyecto.

Por último le doy gracias a la Universidad Mayor de San Andrés, por haber sido mi casa académica, donde me he preparado para ser un gran profesional.

ROGER ALEGRIA LAURA

DEDICATORIA

A mi Familia y mi madre quienes estuvieron brindándome su apoyo incondicional, su amor y su paciencia, enseñándome el valor del sacrificio, sembrando en mí las ganas de superación, en el transcurso de todos estos años.

Roger Alegría Laura

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. ANTECEDENTES.....	3
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
1.3.1. Identificación del problema	5
1.3.2. Formulación del problema	5
1.4. OBJETIVOS	5
1.4.1. Objetivo General.....	5
1.4.2. Objetivos Específicos	6
1.5. JUSTIFICACIÓN	6
1.5.1. Justificación Técnica.....	6
1.5.2. Justificación Económica	6
1.5.3. Justificación Ambiental.....	7
1.6. DELIMITACIÓN.....	7
1.6.1. Delimitación Temática	7
1.6.2. Delimitación Temporal.....	8
1.6.3. Delimitación Espacial.....	8

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD	9
2.1. HISTORIA DEL RCM	9
2.1.1. Definición del RCM.....	11
2.1.2. RCM y las siete preguntas básicas.....	12
2.1.3. Funciones Parámetros de funcionamiento.....	13
2.1.3.1. Fallas funcionales.....	14
2.1.3.2. Efectos de falla	14
2.1.3.3. Consecuencias de la falla	15
2.2. EVALUACIÓN TÉCNICA DEL MANTENIMIENTO	15
2.2.1. Fiabilidad.....	15

a). Tasa de fallo ().....	16
b). Probabilidad de densidad de fallo (pdf)	17
c). Características de la fiabilidad	18
2.3. INDICADORES DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	20
2.3.1. Tiempo Medio entre Fallas (MTBF)	21
2.3.2. Tiempo Promedio para Reparación o (MTTR)	23
2.3.3. Disponibilidad (DISP)	23
2.3.5. Utilización	24
2.3.6. Tiempo Promedio para fallar (MTTF).....	24
2.4. DIAGRAMA DE ISHIKAWA	25
2.5. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS ABC (PARETO).....	26
2.6. CORRECCIÓN MEDIANTE ÁRBOL DE FALLAS.....	27
2.7. PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO BAJO ENFOQUE RCM	28
2.7.1. Análisis AMEF y decisión de tareas.....	28

CAPÍTULO III

CONTEXTO OPERACIONAL DEL SISTEMA DE FRENO NEUMÁTICO DEL BUS PUMA KATARI	30
3.1. SISTEMAS DE FRENO A AIRE.	30
3.1.1. Principios físicos.....	30
3.1.2. Sistemas de actuación de los frenos	32
3.1.3. Componentes del sistema de Freno Neumático	32

CAPITULO IV

MARCO PRÁCTICO ESTUDIO PREVIO A LA APLICACIÓN RCM EN SISTEMA DE FRENO NEUMÁTICO	39
4.1. ANÁLISIS DE FRECUENCIAS DE FALLAS.....	39
4.1.1. Análisis mediante Árbol de Fallas.....	40
4.1.2. Análisis de Diagrama de Ishikawa	41
4.1.3. Análisis ABC Pareto	43
4.1.3.1. Frecuencia de desconexión por destellos año 2014	44
4.3.3.2. Frecuencia de desconexión por mantenimiento correctivo.....	45

4.1.4. Análisis crítico de modo y efecto de falla AMEF	47
4.2. SELECCIÓN DEL EQUIPO	49
4.3. CONTEXTO OPERACIONAL.....	49
4.4. SITUACIÓN DE LOS BUSES.....	49
4.4.1. Costos asociados a la mantención	49
4.4.2. Control de la fiabilidad	51
4.4.3. Disponibilidad de los Buses.....	52

CAPITULO V

PROPUESTA MODELO DE PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA FIABILIDAD PARA LOS BUSES	63
5.1. ORGANIZACIÓN DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO	63
5.1.1. Propuesta de organigrama GAML P-La Paz.....	63
5.1.2. Superintendente de producción SETRAM	64
5.1.3. Supervisores y personal técnico	65
5.2. PLANIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO	68
5.2.1. Planificación de actividades de mantenimiento	68
5.2.2. Ejecución de acciones para el mantenimiento	69
5.3. CLASIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO	70
5.4. DESARROLLO DE LA INFRAESTRUCTURA PARA UN SISTEMA FIABILISTICO	71
5.4.1. Implementación de un programa por órdenes de trabajo	71
5.4.2. Revisión de programa.....	76
5.4.3. Métodos de programación	76
5.5. REESTRUCTURACIÓN DE ALMACÉN	76
5.6. EVALUACIÓN DE EQUIPOS	78
5.7. ENTRENAMIENTO EN HERRAMIENTAS DE INSPECCIÓN DE EQUIPOS.....	78
5.8. ENTRENAMIENTO DE MULTIHABILIDADES.....	79
5.9. TRANSICIÓN DE UN AMBIENTE CORRECTIVO A AMBIENTE PREVENTIVO/PREDICTIVO	80
5.10. DESCRIPCIÓN GENERAL DE PROCESO DE MANTENIMIENTO EN SETRAM	80

CAPITULO VI

ANÁLISIS RCM	83
6.1. INTRODUCCIÓN	83
6.2. DESCRIPCIÓN DE FUNCIONES.....	83
6.3. FALLAS FUNCIONALES.....	84
6.4. MODOS DE FALLAS.....	85
6.5. EFECTOS DE FALLAS	86
6.6. CONSECUENCIA DE FALLA.....	88
6.7. HOJA DE INFORMACIÓN SISTEMA DE FRENO NEUMÁTICO BUS PUMA KATARI	88
6.8. CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS-SISTEMAS POR CRITICIDAD	89
6.9. CONSOLIDACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO	90

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	101
7.1. CONCLUSIONES	101
7.2. RECOMENDACIONES	103

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIG. 1 Perspectiva tradicional de los equipos.....	9
FIG. 2 Generación de RCM.....	10
FIG. 3 Expectativa de mantenimiento.....	11
FIG. 4 Técnicas de mantenimiento.....	11
FIG. 5 Clasificación de RCM	12
FIG. 6 Diagrama de flujo d procesos	13
FIG. 7 Evolución de tasa de fallo.....	17
FIG. 8 Probabilidad de densidad de falla.....	17
FIG. 9 Distribución Acumulada.....	19
FIG. 10 Diagrama de Ishikawa	25
FIG. 11 Curva típica ABC.....	26
FIG. 12 Corrección Mediante Árbol de Fallas.....	28
FIG. 13 Fase de aceleración y frenado de Bus.....	30
FIG. 14 Fuerza de accionamiento del cilindro sobre los forros de freno	31
FIG. 15 Mapa de Causas del Sistema de Freno Neumático	41
FIG. 16 Análisis de Ishikawa Sistema de Freno Neumático.....	43
FIG. 17 Imagen de fuga de aceite reten palier trasero.....	48
FIG. 18 Imagen de Canalizado o rajadura interna de Tambor	48
FIG. 19 Aplicación de Mantenimiento en Bus Puma Katari.....	51
FIG. 20 Propuesta de organigrama para Setram.....	64
FIG. 21 Propuesta organigrama de Mantenimiento	81

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla. 1 Matriz de riesgo	29
Tabla. 2 Características técnicas y funciones de componentes de freno neumático	33
Tabla. 3 Fallas, modos de falla y frecuencia para Análisis de Pareto	44
Tabla. 4 Componente/sistema y frecuencia para Análisis de Pareto	45
Tabla. 5 Causas por mantenimiento correctivo/preventivo freno neumático	46
Tabla. 6 Resumen de tiempo fuera de servicio Bus King Long.....	53
Tabla. 7 Funciones de sistema de freno neumático.....	84
Tabla. 8 RCM II Función y falla funcional	85
Tabla. 9 Modos de fallas (Causa de falla)	86
Tabla. 10 Descripción de efectos de falla	87
Tabla. 11 Consecuencia de fallo	89
Tabla. 12 Defectibilidad del modo de fallo	89
Tabla. 13 Criticidad de elementos de sistema de freno neumático	89
Tabla. 14 Propuesta de mantenimiento para sistema de freno neumático.....	91

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Graf. 1 Frecuencia de modos de fallas por destellos	45
Graf. 2 Pareto de paradas por sistema/componentes.....	46
Graf. 3 Falla, modos de fallas y frecuencia de Bus Puma Katari	47
Graf. 4 Tiempo fuera de servicio por Bus año 2014.....	52
Graf. 5 Tiempo fuera de servicio por Bus año 2015.....	53

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro.1 Planificación periódica de mantenimiento	68
Cuadro. 2 Orden de trabajo.....	73
Cuadro. 3 Propuesta seguimiento de seguridad.....	74

RESUMEN

El objetivo fundamental de la investigación, es identificar el estatus de las maquinarias empleadas en las actividades unitarias, por el servicio de Transporte Municipal (SETRAM) de la ciudad de La Paz. El desconocimiento de esta información, representa un problema para el ente gubernamental regulador de este sector; proveedores de partes y repuestos, principalmente para la empresa.

Para la recolección de información, se aplicó una encuesta a la empresa que realiza mantenimiento preventivo como parte de garantía, (FABROS MOTORS SRL.) pudiéndose recopilar datos realizados a las condiciones de los equipos y fallas recurrentes en estos.

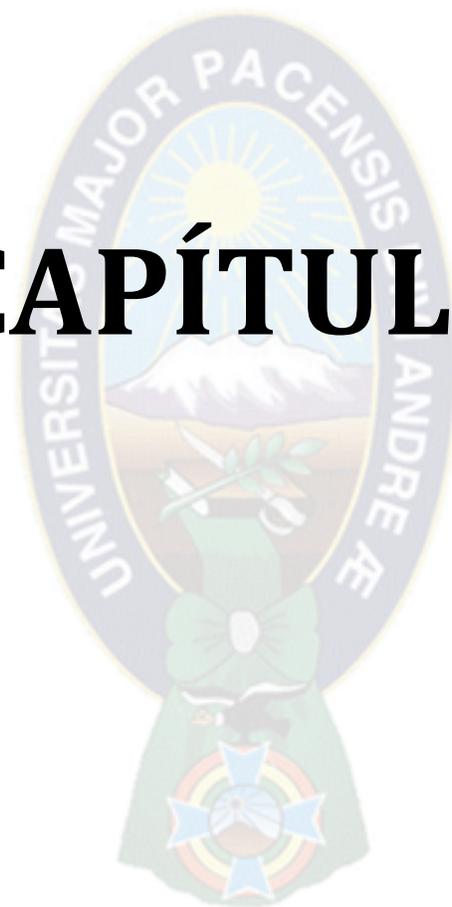
En los resultados obtenidos, se pudo apreciar 61 equipos disponibles y 3 en reparación del total, pertenecientes a las Marcas King Long serie XMQ6110ACW3. Entre las fallas frecuentes tenemos: Ruptura de mangueras y sellos, desgaste de bujes, pasadores y orugas, Reparación de suspensión y rodamientos de punta ejes.

Para análisis de los resultados se emplearon herramientas de confiabilidad operacionales tales como: Cauza-Raiz, Análisis del Modo y Efecto de Falla y Análisis de Criticidad con la finalidad de hacer un diagnóstico de las condiciones operacionales de los equipos y determinar los factores que afectan de manera directa o indirecta la disponibilidad del equipo.

Se determinó que los equipos presentaban fallas similares de manera cotidiana, las cuales se vieron afectadas por factores directos como: Mantenimientos inadecuados llevados a cabo por empresas externas, sobreestimación de las capacidades nominales y manejo inapropiado de los operadores, irregularidades en los frentes y vías de acarreo de manera indirecta: poca disponibilidad de Stock de repuestos por parte de los proveedores, entre otros.

Se concluye que las piezas empleadas en los equipos para llevar a cabo el arranque, no corresponde a las características físicas del material a producir, lo que incide en las frecuencias de fallas, por su parte, las empresas carecen de mantenimiento preventivos adecuados y recomendados por los fabricantes del equipo, por lo que se recomienda tener una relación más estrecha con estos para disminuir las demoras en reparaciones y los costos de operación, para aumentar la producción.

CAPÍTULO I



CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. INTRODUCCIÓN

El mantenimiento centrado en la fiabilidad, más conocido como RCM (Reliability Centered Maintenance), puede ser definido como:

“El proceso usado para determinar los requerimientos de mantenimiento de cualquier sistema, dentro de su contexto de operación”

El objetivo primario del RCM es mantener la función del sistema y no de los equipos, esto implica que si se puede continuar la función del sistema, aun después de averiarse un determinado equipo, puede no ser necesaria la conservación de este equipo o ser aceptable que siga funcionando, hasta averiarse por completo. En otras palabras es la alineación del mantenimiento con la misión de la empresa.

Debido a estos factores se realiza el presente trabajo, con el fin de proporcionar al Gobierno Autónomo Municipal de La Paz (GAMLP) un plan de mantenimiento centrado en la fiabilidad, que se ajuste a sus necesidades. Actualmente existen algunas empresas de carácter transnacional que se encuentran en un proceso de implementación de programas de fiabilidad en el área de mantenimiento, y es por ello que el presente trabajo propone, una alternativa en la implementación del mismo en el área de mantenimiento, pudiendo también ser adecuado y servir como guía del mantenimiento para el transporte masivo del país.

Desde el punto de vista de una misión, donde no existe la posibilidad de reparación, la fiabilidad es la probabilidad de que un aparato o dispositivo trabaje correctamente durante un tiempo determinado y en las condiciones de servicio que se encuentre. La fiabilidad no es una predicción, sino que es la probabilidad

de la actuación correcta de un dispositivo. Es posible que el dispositivo falle inmediatamente, después de su puesta en servicio, o bien lo haga después de su vida útil.

El mantenimiento es una compleja actividad técnico-económica que tiene por finalidad la conservación de los equipos y maquinaria, maximizando el tiempo y la calidad de servicios de las unidades, para lograr estos objetivos se debe aplicar planes adecuados, en los que las técnicas aplicadas en estos procesos determinaran un ahorro de dinero asignados al mantenimiento, además de dar seguridad en los equipos que se da al mantenimiento.

Con la innovación en tiempos actuales de constante desarrollo tecnológico, de equipos cada vez más sofisticados, con sistemas de producción activos en los que la calidad y el precio son los factores que determina, la introducción y la permanencia de las empresas en el mercado, es primordial que las organizaciones respondan a las nuevas corrientes administrativas, a efecto de lograr un desarrollo integrado de sus recursos, obedeciendo a una planificación estratégica eficiente, para enfrentar los retos de una competencia.

Las modernas estrategias del mantenimiento, consideran que los activos físicos en una empresa, deben permitir la maximización de beneficios atendiendo al negocio como un todo.

Siendo que la fiabilidad, es la probabilidad de que un equipo o dispositivo, desarrolle una determinada función bajo condiciones fijadas, durante un periodo de tiempo.

En toda empresa existen tres estratos importantes de funciones generales: el primero de los cuales es el administrativo, el segundo mantenimiento y de último, el de la producción.

Esta situación no deja lugar a dudas que el mantenimiento pasa a ser la parte medular de la organización administrativa, el nivel óptimo de un mantenimiento implica el equilibrio de los costos en que se incurra como resultado de las descomposturas, contra los gastos de mano de obra y materiales invertidos en el mantenimiento preventivo, y esto quiere decir en palabras sencillas: mejores y eficientes programas de mantenimiento, menores costos por mantenimiento, menor tiempo perdido por falla en la línea de producción, mejor productividad, mayores rendimientos económicos.

La fiabilidad se dedica a evaluar y mejorar la confiabilidad de sistemas. Para esto evalúa los riesgos de falla a lo largo del ciclo de vida de un sistema.

Las organizaciones necesitan ser creativas en todas sus áreas modificando y eliminando actividades innecesarias para disminuir los costos ocasionados por deficiencias en los procesos de producción, esto con el fin de obtener liderazgo en sus productos y servicios, para ello es necesario que cuente con la confiabilidad de sus sistemas, es decir que cumplan correctamente su misión durante el tiempo y las condiciones cuales han sido diseñados.

1.2. ANTECEDENTES

A partir de la segunda guerra mundial, se produce el advenimiento rápido de tecnología cada vez más sofisticadas. Esta creciente complejidad en los sistemas provoca alarmantes tasas de falla que disminuyen considerablemente la confiabilidad, y aumenta en forma exagerada los costos de operación y soporte logístico. De esta manera, el análisis y control de la confiabilidad de sistemas militares e industriales, son identificados como necesidades obviamente urgentes. Ante esta situación el departamento de defensa, en conjunción con la industria electrónica de los Estados Unidos de Norte América, integra en el mes de agosto de 1952 un grupo de asesor denominado “Advisory Group on Reliability of Electronic Equipment”.

De este modo, la fiabilidad surge como medida de emergencia para combatir las tasas alarmantes de fallas en sistemas complejos, convirtiéndose así en una disciplina moderna e independiente.

El RCM nace a finales de los años setenta, el desarrollo inicial corrió a cargo de la industria aeronáutica norteamericana, y nació cuando las compañías aéreas se dieron cuenta que la mayoría de sus filosofías de mantenimiento eran caras y desventajosas, ya que imposibilitaba una eficaz operación del Boeing 747, obligando a estar mucho tiempo en tierra para mantenimiento preventivo. Este hecho provocó que dicha industria creara un grupo de trabajo para reexaminar todo lo que estaban realizando en tareas de mantenimiento. Este grupo estaba compuesto tanto por representantes de los constructores de aviones, como de líneas aéreas.

La primera tentativa racional para formular estrategias de mantenimiento fue realizada por la asociación de transporte aéreo en 1968. Se conoce con el nombre de MSG 1 (que corresponden a las iniciales de Maintenance Steering Group). Una primera mejora conocida como MSG 2 se publicó en 1970.

A mediados de los años 70, el departamento de defensa de los Estados Unidos quiso conocer más detalles acerca del estado del arte de mantenimiento de vehículos aéreos. Se solicitó a la industria de la aviación un estudio, este estudio fue escrito por Stanley Nowman y Howard Heap quienes le dieron el título de "Reliability Centered Maintenance" y fue publicado en 1978. El estudio de Nowman y Heap representó un importante avance en el pensamiento del MSG 2 y fue utilizado como base para el MSG 3, que se publicó en 1980. Desde entonces ha sido revisado dos veces, 1988 y en 1993.

Este estudio junto al MSG 3 han sido usados como base para diversos estándares de RCM y para sectores que no tienen que ver con la aviación. El más utilizado en estos sectores es el denominado RCM 2.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1. Identificación del problema

En la indagación efectuada en la administradora de mantenimiento SETRAM que es perteneciente al GAMLP cuenta con 61 Buses a su cargo.

Los ingresos de SETRAM dependen del kilometraje comercial recorrido por los buses, según su programación. Durante el año 2014 la principal causa de pérdida de kilometraje, corresponde a eventos de buses varados en los ejes troncales, adicional a esto la segunda causa corresponde a la no disponibilidad de buses, para retomar a los servicios después de un evento de paradas

1.3.2. Formulación del problema

La aplicación del RCM es una de las estrategias que resuelve el problema anterior, con una estructura que permite llevar a cabo la evaluación y selección de tareas, que se pueda implementar en forma rápida y segura, esta técnica es única en su género y conduce a obtener resultados extraordinarios en mejoras y rendimiento del equipo.

¿Cómo contribuir a un funcionamiento más seguro y eficiente de los mecanismos de los Buses Puma Katari?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Plantear un plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad en el sistema de freno neumático de los buses Puma Katari, mejorando la disponibilidad y consecuentemente lograr mayor rendimiento en el servicio prestado.

1.4.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos son:

- Identificar el equipo y las partes que componen al sistema de freno neumático.
- Realizar un análisis de coeficiente de confiabilidad.
- Realizar un análisis de criticidad del sistema, equipo crítico sobre el cual se hará todo el análisis basado en RCM.
- Realizar un análisis de los modos y efectos de fallas (AMEF) del sistema de freno neumático con su respectivo hoja de información con el cual se pueda lograr ponderar los trabajos posteriores a seguir, ya sea correctivo, preventivo o predictivo.
- Proponer un modelo de Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad en el Sistema de Freno Neumático, en que incluye: hoja de decisión y hoja de trabajo de RCM.

1.5. JUSTIFICACIÓN

1.5.1. Justificación Técnica

Reduciendo el desgaste, cambiando los tiempos entre mantenimiento programados y relacionados al kilometraje o horas recorridas, se pretende aumentar el tiempo de vida útil de la maquinaria que presta servicio en la empresa de Servicio de Transporte Municipal (SETRAM).

1.5.2. Justificación Económica

El proyecto se enfoca en alargar años de vida útil de los buses Puma Katari evitando el reemplazó de las máquinas, piezas, sistemas etc.

Por ejemplo un mantenimiento correctivo del sistema de freno, es más costoso en tiempo y dinero que dos mantenimientos preventivos de dicho sistema dentro mismo lapso tiempo, no solo abaratando costos si no alargando el tiempo de vida útil de los buses Puma Katari.

Esto significa el tipo de mantenimiento que se realice como ser: correctivo, preventivo u predictivo se pretende realizar que la empresa minimice costos y cuidar la inversión realizada.

1.5.3. Justificación Ambiental

Con el desarrollo del proyecto se podrá contribuir al uso racional de recursos y materiales, logrando una disminución relativa de los desechos como ser: zapatas, tambores menor flujo de líquidos y fluidos contaminantes hacia el medio, tal situación justifica su aplicación desde el punto de vista ambiental.

1.6. DELIMITACIÓN

1.7.

1.6.1. Delimitación Temática

Es prioritario para SETRAM brindar su servicio más allá de una simple movilización, y poner a disposición de los usuarios un transporte con altas medidas de seguridad, respeto por el medio ambiente, para mantener a un nivel de alta competitividad.

Para dicho cometido se debe contar con un plan de mantenimiento realizado a partir de criticidad de los elementos que componen sus diferentes sistemas, pues ello dará como resultado una adaptación de las actividades de mantenimiento a las condiciones reales de la situación geográfica y medio ambiental en las que opera el bus.

1.6.2. Delimitación Temporal

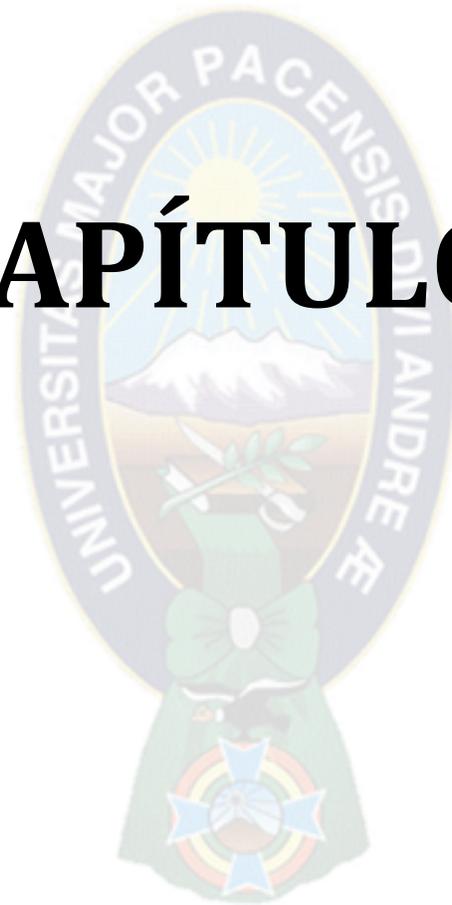
Para el desarrollo de este proyecto se analizó al bus desde su operación de 5.000 hrs. a los 80.000 hrs de funcionamiento, lapso de tiempo en que el equipo sufrió un descenso de productividad, mantenibilidad.

1.6.3. Delimitación Espacial

El desarrollo del proyecto se desarrollara a nivel local, localizando el estudio práctico en los talleres de Fabros Motors, que prestan servicio a los buses Puma Katari como parte de mantenimiento de garantía esto implica seguimiento solo a tres Buses enfocándose en el sistema de freno neumático como parámetro de evaluación.



CAPÍTULO II



CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD

2.1. HISTORIA DEL RCM.

El 1974 el departamento de defensa de los Estados Unidos le asignó a la empresa United Airlines preparar un informe sobre los procesos usados por la industria de la aviación civil para elaborar programas de mantenimiento para los aviones, este informe fue realizado por F. Stanley Nowlan Director de Análisis de Mantenimiento de United Airlines y Howard F. Heap, Gerente de Planeación del Programa de Mantenimiento de United Airlines, el documento fue aplicado en 1978 y fue titulado Mantenimiento Centrado en Confiabilidad o RCM por sus siglas en ingles Reliability-Centered Maintenance.¹

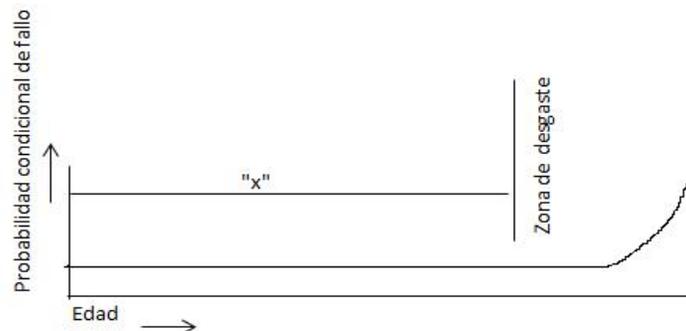


FIG. 1 Perspectiva tradicional de los equipos

Fuente: Reliability - Centered Maintenance RCM II, Jhon Moubray

El RCM se desarrolló debido a que en las teorías de mantenimiento de la época siempre había relaciones causa y efecto entre el mantenimiento programado y la confiabilidad operacional, esta suposición estaba basada en la creencia intuitiva de que las partes mecánicas se desgastaban y que la confiabilidad de cualquier equipo estaba directamente relacionada con la edad operacional

¹ Dr. Ing. Ramiro W. Peralta Uría
Principios y fundamentos de Ingeniería de Mantenimiento
La Paz – Bolivia, 2002

(fig.1), el único problema que había era la edad límite de las partes para reemplazarlas y asegurar una operación confiable, las teorías de la primera y segunda generación del mantenimiento utilizaban como modelos los patrones de fallas tradicionales como el patrón **A** o curva de la Bañera que comienza con una gran incidencia (mortalidad infantil) seguida por un incremento constante o gradual de la probabilidad condicional de la falla y por último una zona de desgaste o el patrón **B** (fig.2), que muestra una probabilidad condicional constante o que crece lentamente y que termina también en una zona de desgaste, sin embargo a través de los años se descubrió que muchos tipos de fallas no podían ser prevenidas de forma efectiva sin importar cuán intensas fueran las actividades de mantenimiento preventivo que se realizaran debido a que a las fallas no seguían los patrones tradicionales A o B, pero gracias a las investigaciones realizadas en la industria de la aviación se logró determinar que habían en realidad seis patrones de fallas distintos que afectaban la confiabilidad y la disponibilidad de los equipos, con estos cambios de paradigmas se inició la tercera generación del mantenimiento en el cual las exigencias y expectativas de mantenimiento son mucho mayores lo que obligo a realizar también cambios radicales en las técnicas y teorías de mantenimiento (fig. 2).

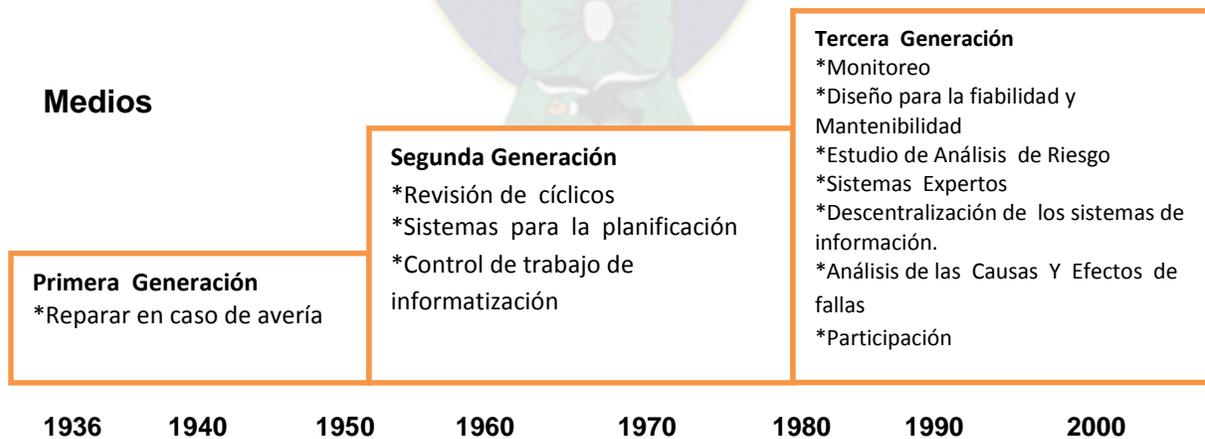


FIG. 2 Generaciones del RCM

Fuente: Realibility – centered Maintenance RCM II, Jhon Moubray

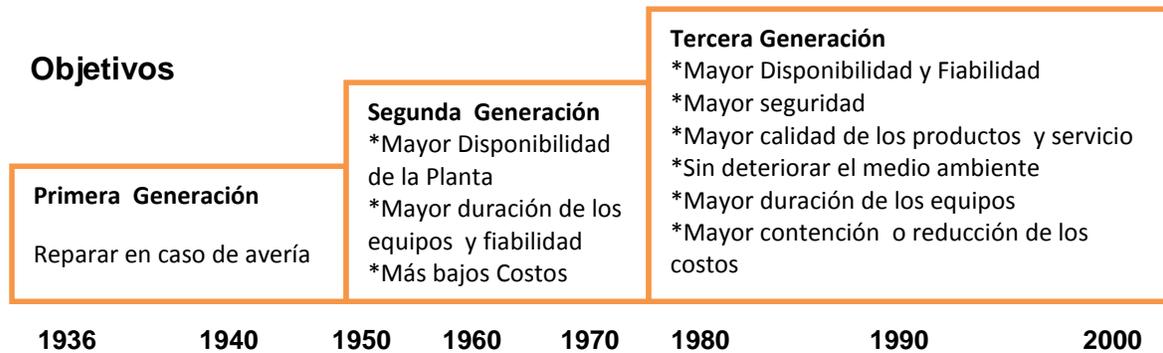


FIG. 3 Expectativas de mantenimiento
Fuente: Realibility-Centered Maintenance RCM II Jhon Moubray

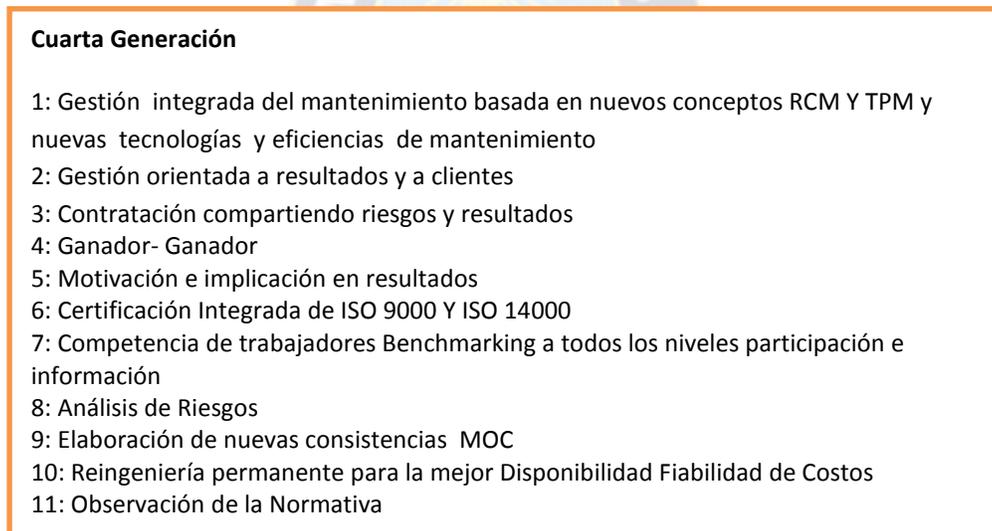


FIG. 4 Técnicas de Mantenimiento
Fuentes: Realibility-Centered Maintenance RCM II Jhon Moubray

2.1.1. Definición de RCM

“RCM es un proceso específico usado para identificar las políticas que deben ser implementadas para administrar los modos de falla que pueden causar fallas funcionales en cualquier activo físico en su contexto operacional” en el libro de RCM II de Jhon Moubray el autor plantea la siguiente definición:

“RCM es un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual”.

“El RCM es un proceso usado para determinar el enfoque más efectivo del mantenimiento, esto implica identificar acciones que cuando se toman reducen la probabilidad de falla de la forma más costo efectiva buscado una mezcla optima de acciones basadas por condición, acciones basadas en ciclos o en tipos o el enfoque de operar hasta que falle”. En conclusión el RCM es un proceso que permite determinar las tareas mínimas de mantenimiento (Correctivo, Preventivo y Predictivo) necesarias para que los activos cumplan con sus función en su contexto operacional.²

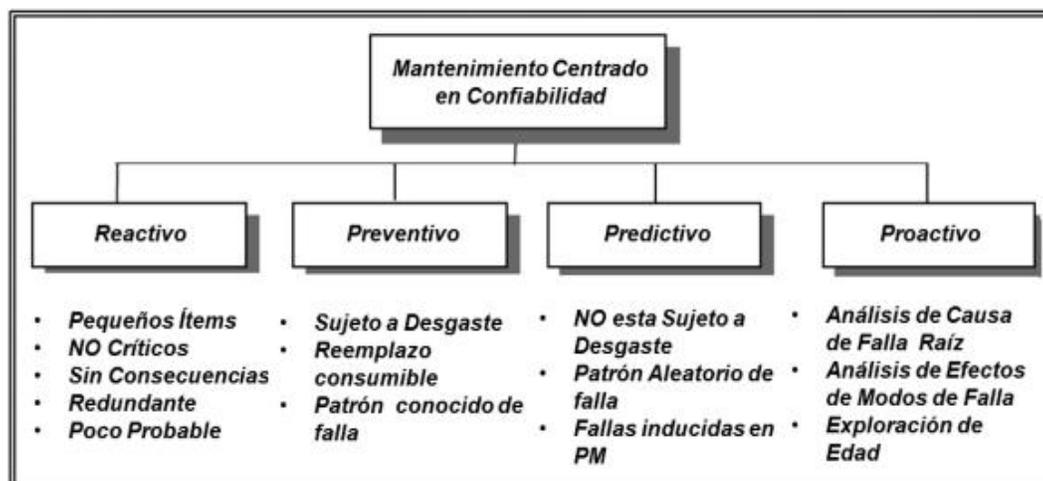


FIG. 5 Clasificación del RCM

Fuentes: Nasa Realibility-Centered Maintenance Guide or collateral Equipment

2.1.2. RCM y las Siete Preguntas Básicas.

El RCM plantea las siete preguntas básicas acerca del activo o sistema que se quiere revisar:

² Duran, J.

Haciendo que el RCM trabaje para su empresa
Revista Mantener N° 7, diciembre 2001

1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
2. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
5. ¿En qué sentido es importante cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir la falla?
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?



FIG. 6 Diagrama de flujos de procesos

Fuente: Principios y fundamentos de Ingeniería de Mantenimiento
Dr. Ing. Ramiro Peralta

2.1.3. Parámetros de Funcionamiento

El primer paso en el proceso de RCM es definir las funciones básicas de cada activo en su contexto operacional, o sea, determinar qué es lo que los usuarios quieren que haga y asegurar que es capaz de realizarlo, las funciones se dividen en dos categorías:

- a) Funciones primarias, esta son la razón de ser del activo o para que se adquirió al activo.
- b) Funciones secundarias, son las funciones adicionales que cumple el activo estas están relacionadas con confort, seguridad, apariencia y protección, regulaciones ambientales, etc.

2.1.3.1 Fallas Funcionales

Después de identificar las fallas funcionales hay que identificar los hechos posibles que pueden haber causado cada estado de falla, se responde la pregunta ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?, dentro de estos modos de fallas se incluyen las causadas por deterioro o desgaste, por errores humanos (Operadores y personal de mantenimiento) y por errores de diseño, los modos de fallas pueden ser clasificados en tres grupos:

- a) Cuando la capacidad cae por debajo del funcionamiento deseado, las cinco causas de la perdida de la capacidad son deterioro, fallas de lubricación polvo o suciedad, desarme y errores humanos.
- b) Cuando el funcionamiento deseado se eleva encima de la capacidad inicial, esto se presenta cuando hay sobrecarga deliberada sobre el activo de forma constante y sobre carga no intencional constante o repentina.
- c) Cuando desde el comienzo el activo físico no es capaz de hacer lo que se quiere.

2.1.3.2. Efectos de fallas

En este paso se describe que pasa cuando ocurre un modo de falla, un efecto de falla no es lo mismo que una consecuencia de falla, el efecto de falla responde a una pregunta ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla? Mientras que una consecuencia de falla responde a la pregunta ¿Qué importancia tiene?, al describir un efecto de falla de hacerse constar los siguientes:

- La evidencia de que se ha producido una falla.
- La forma en que la falla supone una amenaza para la seguridad o ambiente.
- La forma en que afecta producción o la operación.
- Los daños físicos causados por la falla.
- Que debe hacerse para reparar la falla.

2.1.3.3. Consecuencias de la fallas

En este paso se responde la pregunta ¿En qué sentido es importante cada falla? Para determinar cuáles son las fallas que más afectan la organización y cuales no debido a las consecuencias de las fallas, se pueden afectar las operaciones, la calidad del producto, el servicio al cliente, la seguridad o medio ambiente, las consecuencias se dividen en cuatro grupos, las consecuencias por fallas ocultas, las consecuencias ambientales y para la seguridad, consecuencias operacionales y no operacionales.

2.2. EVALUACIÓN TÉCNICA DEL MANTENIMIENTO

Hasta ahora se han desarrollado información referidos a las fallas, sus clasificaciones, su detección e incluso como pueden influenciar en los tipos de mantenimiento, sin embargo interesa también conocer la relación existente entre el tiempo de uso y la aparición de fallas. Se va a presentar en este capítulo el uso y tratamiento de datos de fallas mediante conceptos como la fiabilidad, mantenibilidad y durabilidad.

Apoyados en la teoría desarrollada en este campo actualmente que es la probabilidad, la cual permite caracterizar las prestaciones de un sistema o maquina desde un punto de vista del mantenimiento, cuantificando su estado de buen funcionamiento y prediciendo la posibilidad de falla.

2.2.1 Fiabilidad

Se define la fiabilidad como, la probabilidad de que un dispositivo cumpla la función requerida, bajo unas condiciones de utilización por un periodo de tiempo determinado. También podría plantearse otras “fiabilidades” como la probabilidad de que una maquina se ponga en marcha cuando se requiera.

Para llevar esta definición a la práctica es importante establecer perfectamente la falla y controlar las variaciones en las condiciones de trabajo. El intervalo de tiempo determinado puede ser sustituido por ciclos de trabajo u operaciones que realice el sistema pero, en cualquier caso debe disponer de un contador.

A continuación se introducirá unos conceptos apoyados en la teoría de la probabilidad, para la cual se representa el número de fallas que aparecen en un equipo con la relación al tiempo de funcionamiento, obteniéndose la función de densidad de falla $f(t)$. De donde se define los siguientes conceptos:

a) Tasa de fallo [(t)]

Las fallas se producen cuando las sollicitaciones a que se someten los elementos superan la resistencia de diseño de la parte más débil de una maquina o equipo. También es importante conocer la relación existente entre el equipo de uso y la aparición de fallas, ya que habitualmente se representan las variaciones de estas características mediante distribuciones estadísticas, que permite analizar el comportamiento y la vida útil de las piezas, siendo la teoría más desarrollada sobre la falla la probabilística con el concepto de fiabilidad³.

³ Dr. Ing. Ramiro W. Peralta Uría
Principios y fundamentos de Ingeniería de Mantenimiento
La Paz – Bolivia 2002

Numero de fallas por unidad de tiempo que se produce en instante “t” respecto de las piezas que están en funcionamiento en ese instante. Si se considera, N_0 como el número de piezas que se ponen en marcha en $t=0$, $N_i(t)$ número de piezas funcionando en el instante t y $n(t)$ como el número de piezas que fallan durante t en t se tiene:

$$\lambda(t) = \frac{n/\Delta t}{N(t)}$$



FIG. 7 Evolución de la Tasa de Fallo

Fuente: Principios y fundamentos de Ingeniería de Mantenimiento
Dr. Ing. Ramiro Peralta

b) Probabilidad de densidad de falla (pdf)

Es la pdf típica de toda la distribución de probabilidad, que indicara la probabilidad que se produzca una falla en un tiempo t será el área por debajo de la curva desde el origen hasta ese tiempo.

En la figura siguiente para un tiempo t , el área rayada verticalmente por debajo y antes de t es la probabilidad de fallo $F(t)$ y la rayada horizontalmente es la probabilidad de buen funcionamiento $R(t)$ es decir la fiabilidad.

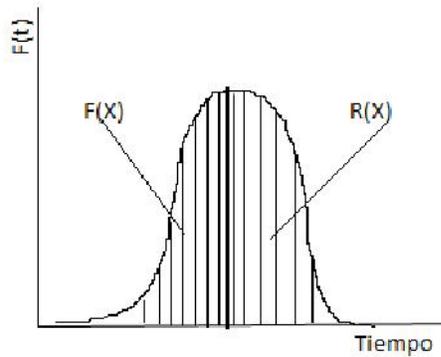


FIG. 8 Probabilidad de Densidad de Falla

Fuente: Principios y fundamentos de Ingeniería de Mantenimiento
Dr. Ing. Ramiro Peralta

c) Características de la fiabilidad

Hemos definido antes la fiabilidad como la probabilidad de un elemento, conjunto o sistema funcione sin fallos durante tiempo dado en unas condiciones ambientales dadas ello supone:

- Definir de forma inequívoca el criterio que determina, si el elemento funciona o no.
- Que se definan claramente las condiciones ambientales y de utilización que se mantengan constantes.
- Que se defina el intervalo t durante el cual se requiere que el elemento funcione.

Para evaluar la fiabilidad se usan dos procedimientos:

- Usar datos históricos. Si se disponen de muchos datos históricos de aparatos durante un largo tiempo no se necesita laboratorios estadísticos. Si son pocos aparatos y poco tiempo hay que estimar el grado de confianza.

- Usar la fiabilidad conocida de partes, para calcular la fiabilidad del conjunto. se usa para hacer evaluaciones de fiabilidad antes de conocer los datos reales.

Consideremos “t” “tiempo hasta que el elemento falla” como variable independiente (Periodo al que se refiere la fiabilidad).

Función de distribución de probabilidad: $f(t)$

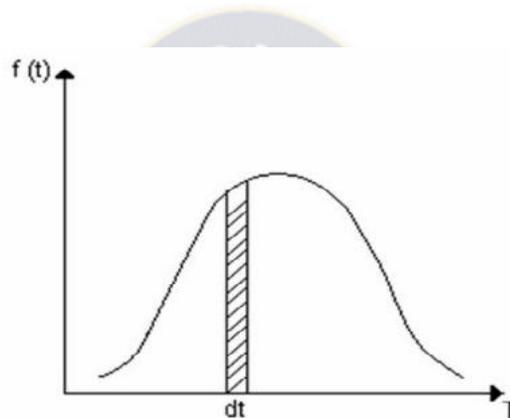


FIG. 9 Distribución acumulada

Fuente: Principios y fundamentos de Ingeniería de Mantenimiento
Dr. Ing. Ramiro Peralta

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt$$

Función de distribución de probabilidad: $f(t)$

Fiabilidad:

$$R(t) = 1 - F(t)$$

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt$$

Relación entre fiabilidad $R(t)$ y tasa de fallos $f(t)$

$f(t) dt = R(t) \cdot (t) dt$ (probabilidad condicionada)

Probabilidad que falle en periodo $t+dt$ = Probabilidad, que funcione todavía en t

Probabilidad de que falle en $t+dt$, estando bien en t .

Recordando que:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt}$$

$$dR(t) = -f(t)dt = -R(t)\lambda(t)dt$$

Separando variables

$$\frac{dR(t)}{R(t)} = -\lambda(t) dt$$

Integrando en 0 y t: $\ln R(t) - \ln R(0) = -\int_0^t \lambda(t) dt$ $R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$

Ya que $\ln R(0) = 0$ por que $R(0) = 1$

$$f(t) = \lambda(t)R(t) = \lambda(t)e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$$

Distribución de probabilidad en función de la tasa de fallos.

$$R(t) = 1 - r(t) = 1 - \int_0^t \lambda(t) dt$$

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Infiabilidad en función de tasa de fallos constituye cuatro relaciones [$f(t)$, $F(t)$, $R(t)$, $r(t)$.] por lo que conociendo una cualquiera de ellas, se conocen las otras tres.

2.3. INDICADORES DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

Se tiene los siguientes indicadores a considerar:

Indicadores de confiabilidad:

Los indicadores de mantenimiento y los sistemas de planificación empresarial asociados al área de efectividad permiten evaluar el comportamiento operacional de las instalaciones, sistemas, equipos, dispositivos y componentes de esta manera será posible implementar un plan de mantenimiento orientado a perfeccionar la labor de mantenimiento.

Estos indicadores son:

- Tiempo Promedio entre Fallos (TMEF) – Mean Time Between Failures (MTBF).
- Tiempo Promedio para Reparar (TPPR) – Mean Time To Repair (MTTR).
- Disponibilidad
- Utilización
- Confiabilidad
- Tiempo Promedio para fallar (TPPF) – Mean time to fail (MTTF).

2.3.1. Tiempo Promedio entre Fallos (TMEF) – Mean time between failures (MTBF).

El tiempo promedio entre fallos indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de un fallo; es decir es el tiempo medio transcurrido hasta la llegada del evento “fallo”. Mientras mayor sea su valor mayor es la confiabilidad del componente o equipo, uno de los parámetros más importantes utilizados en el estudio de la confiabilidad constituye el MTBF, es por esta razón que debe ser tomado como un indicador más que represente de alguna manera el comportamiento de un equipo específico, así mismo para determinar el valor de este indicador se deberá utilizar la dato primario histórico almacenada en los sistemas de información:

$$MTBF = \frac{\sum \text{Tiempo entre averías}}{n^{\circ} \text{ de averías}}$$

$$MTBF = \frac{(\text{N}^{\circ} \text{ horas laborales} - \text{N}^{\circ} \text{ horas fuera de servicio} - \text{Tiempo espera})}{n^{\circ} \text{ de averías}}$$

Y su inversa () conocida como tasa de fallos

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \text{ : } [N^{\circ} \text{ Defallos/año}]$$

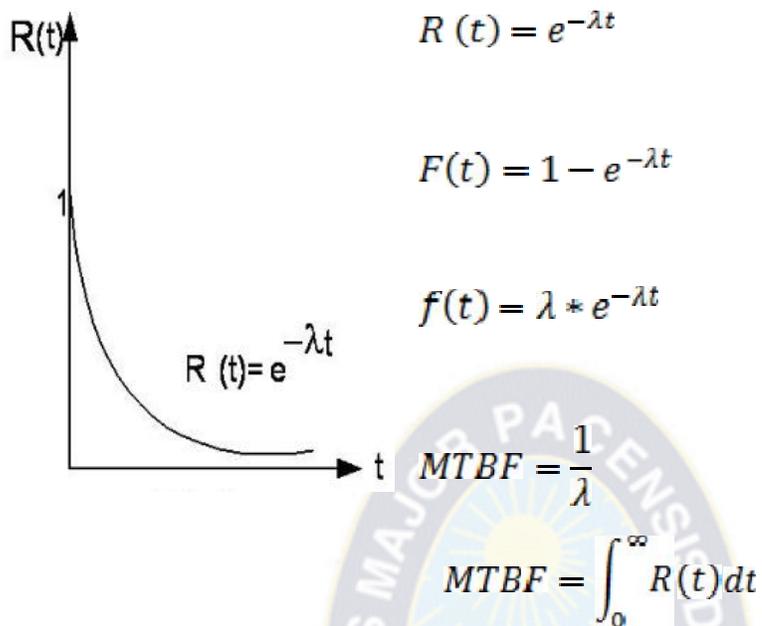
Distribución exponencial

La distribución exponencial se utiliza como modelo para representar tiempos de funcionamiento (tiempo de vida), es decir el tiempo que transcurre antes que ocurra un fallo o tiempos de espera.⁴ Si consideramos que no hay desgaste en un producto, el modelo exponencial describe adecuadamente la distribución del tiempo entre dos averías de un producto reparable.

Su validez por tanto es si consideramos que no hay desgaste y no ocurren fallos precoces debido a errores de fabricación, envejecimiento (fatiga de material).

= cte. *Ley exponencial* (exponencial negativa)

⁴ Dr. Ing. Ramiro W. Peralta Uría
Principios y fundamentos de Ingeniería de Mantenimiento
La Paz – Bolivia, 2002



2.3.2. Tiempo Promedio para Reparar (TPPR) – Mean Time To Repair (MTTR).

Es la medida de la distribución del tiempo de reparación de un equipo o sistema, además este indicador mide la efectividad en restituir la unidad a condiciones óptimas de operación una vez que la unidad se encuentra fuera de servicio por un fallo, dentro de un periodo de tiempo determinado. El Tiempo Promedio para Reparar es un Parametro de medición asociado a la Mantenibilidad, es decir a la ejecución de mantenimiento.

La Mantenibilidad definida como la probabilidad de devolver el equipo a condiciones operativas en un cierto tiempo utilizando procedimientos prescritos, es un función de diseño del equipo (Factores tales como la accesibilidad, modularidad, estandarización y facilidades de diagnóstico, facilitan enormemente el mantenimiento). Para un diseño dado, si las reparaciones se realizan con personal calificado y con herramientas, documentación y procedimientos prescritos, el tiempo de reparación depende de la naturaleza del fallo y de las mencionadas características de diseño.

$$MTTR = \frac{\sum \text{T tiempo invertido reparaciones}}{n^{\circ} \text{ de averias}}$$

Y su inversa (μ) conocida como tasa de reparación

$$\mu = \frac{1}{MTTR} [\text{N}^{\circ} \text{ de reparación es año}]$$

2.3.3. Disponibilidad (DISP).

La disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total, en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado. A través del estudio de los factores que influyen sobre la disponibilidad, el TPPF y TPPR, es posible para la gerencia evaluar distintas alternativas de acción para lograr los aumentos necesarios de disponibilidad.

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

2.3.4. Utilización. La utilización también llamada factor de servicio, mide el tiempo efectivo de operación de un activo durante un periodo determinado.

2.3.5. Tiempo promedio para fallar (TPPF) Mean time to fail (MTTF)

Es un Indicador que mide el tiempo promedio que es capaz de operar el equipo a capacidad sin interrupción dentro del periodo considerado este distribuye los indicadores directos de la confiabilidad del equipo o sistema el tiempo promedio para fallar también es llamado tiempo promedio hasta la falla.

El análisis de los fallos es el paso más importante en la determinación de un programa de mantenimiento óptimo y este depende del conocimiento del índice de fallos de un equipo en cualquier momento de su vida útil.

El estudio de la confiabilidad se utiliza en un análisis de data operativa para mantenimiento, es posible conocer el comportamiento de equipos en operación con el fin de:

- Prever y optimizar el uso de los recursos humanos y materiales necesarios para el mantenimiento.
- Diseñar y/o modificar las políticas de mantenimiento a ser utilizadas.
- Calcular instantes óptimos de sustitución económica de equipos.
- Establecer frecuencias óptimas de ejecución de mantenimiento preventivo.

2.4. DIAGRAMA DE ISHIKAWA

También denominado Diagrama de Causa-Efecto o de espina de pescado, es una representación gráfica de las relaciones lógicas existentes entre las causas que producen un efecto bien definido. Sirve para visualizar, en una sola figura, todas las causas asociadas a una anomalía y sus posibles relaciones.

Diagrama de causa y efecto es un instrumento eficaz para el análisis de diferentes causas que ocasionan el problema. Su ventaja consiste en poder visualizar las diferentes cadenas Causa y Efecto, que pueden estar presentes en un problema facilitando los estudios posteriores de evaluación del grado de aporte de cada una de estas causas.

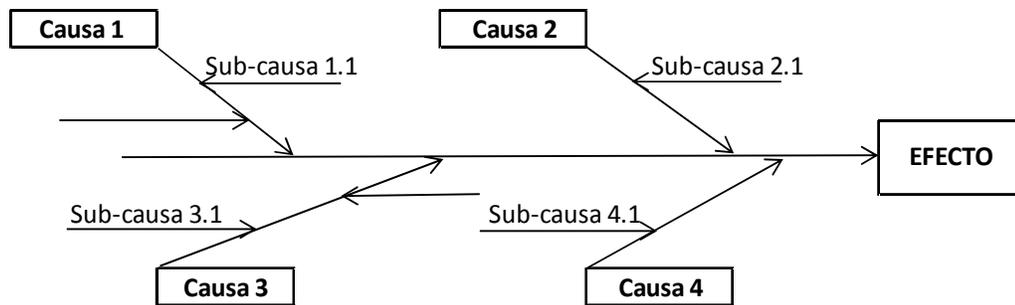


FIG. 10 Diagrama de Ishikawa

Fuente: Principios y fundamentos de Ingeniería de Mantenimiento
Dr. Ing. Ramiro Peralta

Los pasos a seguir para su construcción son:

- Precisar bien el efecto: Es el problema, avería o falla que se va analizar.
- Subdividir las causas en familia: Se aconseja el “método de las 4M” (Medición, Material, Maquina, Mano de obra), para agrupar las distintas causas, aunque según la naturaleza de la avería puede interesar otro tipo de clasificación.
- Generar causas: para cada familia se establece una lista de todas las posibles causas. Responder sucesivamente ¿Por qué ocurre? Hasta considerar agotadas todas las posibilidades.

2.5. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS ABC (PARETO)

Este método permite entre numerosos problemas aquel que debe ser abordado con prioridad. Así una clasificación de los costos por referencia a los tipos de fallas establece prioridades sobre las intervenciones a seguir. Básicamente es una representación gráfica de los datos obtenidos sobre un problema, que ayuda a identificar y seleccionar los aspectos prioritarios que hay que tratar.

Consiste en clasificar las averías por orden decreciente de costos, cada avería de falla se refiere a una maquina o sección. Con este se puede establecer un gráfico que relacione los porcentajes de costos acumulados con porcentajes de tipos de fallas acumuladas.

CURVA TIPICO ABC

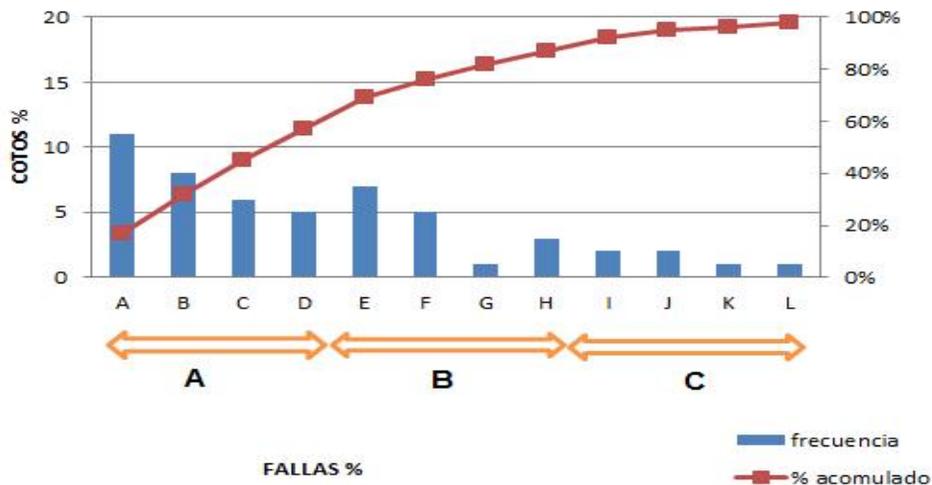


FIG. 11 Curva típica ABC

Fuente: Principios y fundamentos de Ingeniería de Mantenimiento
Dr. Ing. Ramiro Peralta

Los resultados obtenidos permiten tomar decisiones en materia de mantenimiento.

- Se procura dar preferencia a los elementos de categoría A, es por eso por lo que se organiza una política de mantenimiento preventivo sistematizada con un monitoreo permanente de puntos clave.
- Se mejora la fiabilidad de los equipos.
- Para los elementos de categoría B adoptar con mayor exigencia en los métodos de prevención.
- La categoría C no se le exigirá stock de material preventivo.

2.6. CORRECCIÓN MEDIANTE ÁRBOL DE FALLAS

Se define como un tipo de análisis de fallas que parte de un síntoma particular y señala el camino para determinar la causa de la anomalía siguiendo un razonamiento deductivo.

Se comienza mediante la identificación del síntoma o evento anormal, y luego se hace una búsqueda de todas las posibles causas en forma lógica y jerárquica, obteniéndose finalmente una estructura en forma de árbol, donde se utilizaran símbolos para expresar las relaciones lógicas entre los distintos sucesos.

- Determinar el suceso final: es decidir la avería, falla o evento no deseado, objeto de análisis. Ocupará la cúspide de árbol de falla.
- Desarrollar el árbol: de forma iterativa, mediante puertas lógicas y sucesos. Para cada suceso hay que responder ¿Por qué ocurre? ¿Qué sucesos (intermedios o básicos) podrían haber causado el suceso objeto de estudio?
- Evaluación cualitativa: si se transforma en una función lógica se puede hacer la siguiente evaluación cualitativa la expresión resultante representa.

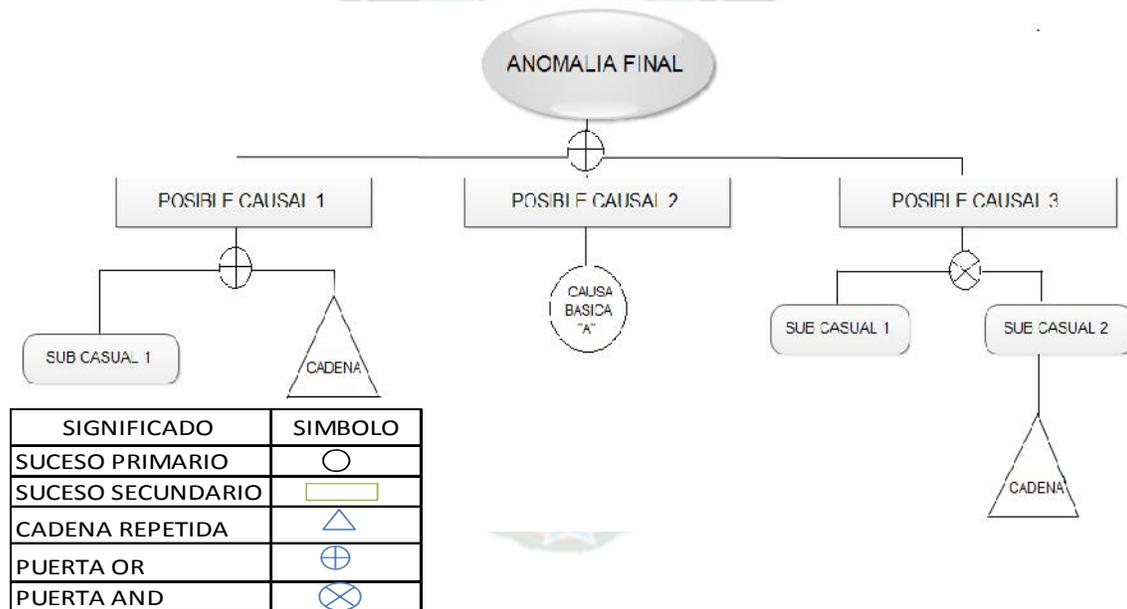


FIG. 12 Corrección mediante árbol de fallas
 Fuente: Principios y fundamentos de Ingeniería de Mantenimiento
 Dr. Ing. Ramiro Peralta

2.7. PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO BAJO ENFOQUE RCM

2.7.1 Análisis AMEF y decisión de tareas:

Se considera la metodología del Análisis de Modo y Efectos de Fallas, que proporciona la orientación y los pasos que deben seguir para identificar y evaluar las fallas potenciales de un producto o un proceso, junto con el efecto que las provocan. A partir de lo anterior se debe establecer prioridades y acciones para intentar eliminar o reducir la posibilidad de que ocurran fallas potenciales que más vulneran la confiabilidad del proceso.

Con el fin de responder a las dos preguntas del proceso RCM busca identificar aquellos modos de fallos que sean posibles causantes de cada falla funcional y determinar los efectos de cada falla asociados con cada modo de falla. Esto se realiza a través de un análisis de modos de falla AMEF para cada falla funcional. Para la definición de funciones, el análisis de los modos y efectos de falla y definición de tareas se estructura bajo la metodología AMEF y se estableció la criticidad del mismo en función las consecuencias para las cuatro principales perspectivas: ambiental, humano, y de imagen, las cuales se cruzan con su probabilidad de ocurrencia; bajo estos dos parámetros se otorga un valor de criticidad como se muestra en la siguiente tabla:

CONSECUENCIAS				PROBABILIDAD					
CONSECUENCIAS	AMBIENTALES	HUMANAS	IMAGEN	IMPOSIBLE > 10 años	IMPROBABLE < 10 años	REMOTO < 5 años	OCASIONAL < 2 años	MODERADO < 6 meses	FRECUENTE ± 1 mes
Catastrofico	Efectos irreversibles	mas de un muerto	internacion al	A1	B1	C1	D1	E1	F1
Critico	Efectos irreversibles en menos de 2 años	Incapacidad permanent	Nacional	A2	B2	C2	D2	E2	F2
Marginal	Efectos irreversibles en menos de 6 meses	Incapacidad temporal	Regional	A3	B3	C3	D3	E3	F3
Insignificante	Efectos pueden ser controlados	Lesiones	Local	A4	B4	C4	D4	E4	F4
Ninguno	No afecta el medio ambiente	Ninguna	Ninguno	A5	B5	C5	D5	E5	F5
OPCIONAL	IMPORTANTE	CRITICO							

Tabla 1: Matriz de riesgo

Fuente: Peres Carlos Mario "Camino hacia el RCM-Mantenimiento Centrado en Confiabilidad", SOPORTE&CIA.LTDA.,1997.

CAPÍTULO III



CAPÍTULO III

CONTEXTO OPERACIONAL DEL SISTEMA DE FRENO NEUMÁTICO DEL BUS PUMA KATARI

Antes de entrar en el análisis de los modos y efectos de falla es necesario saber cuáles serán las fronteras a analizar, el objeto de este capítulo es conocer y delimitar los equipos al estudio.

3.1. SISTEMAS DE FRENO A AIRE

Utilizados en el bus Puma Katari de serie XMQ6110ACW3 mantiene las características de economía superior, seguridad y comodidad. Cuenta con rendimiento estable, potencia, decoración interior, lujosa y alta velocidad que pueden cumplir con las aplicaciones de transporte de pasajeros interurbano y aplicación que le quiera dar.

3.1.1. Principios físicos: Actualmente todos los vehiculos deben tener sistemas de frenos que estén realmente de conformidad con las exigencias legales de seguridad. El propósito de este sistema de frenos es la siguiente:

- Reducir la velocidad del vehículo
- Parar el vehículo
- Mantener el vehículo estacionado
- Mantener la velocidad constante en declives escarpados

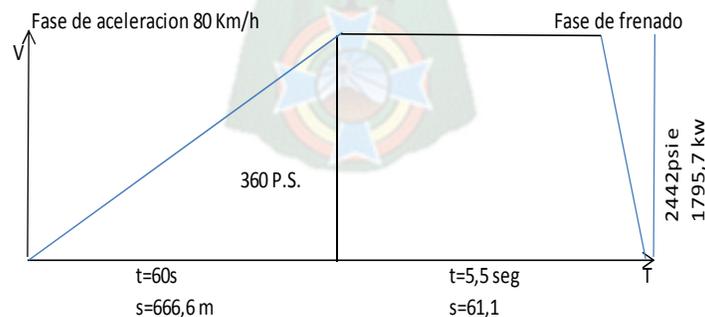


FIG. 13 Fase de aceleración y frenado de Bus

Fuente: WAPCO UNIVERSITY, Sistema de freno de aire edición Wapco 2011.

La actuación de frenado de un camión es normalmente diez veces mayor, que la actuación del motor. Cuando los frenados del vehiculos son accionados, la energía cinética del mismo es convertida en energía térmica. El calentamiento es inevitable y debe ser considerado crítico si es excesivo, a punto de reducir de forma significativa o eliminar la acción de frenado (falla de freno). El tipo de calentamiento generado en el freno del vehículo depende esencialmente de dos factores:

- Masa del vehículo: un vehículo dos veces mayor ira a exigir dos veces más energía en el freno, produciendo calentamiento dos veces mayor.
- Velocidad del vehículo: Doblando la velocidad, será necesario cuatro veces más energía en el frenado y por lo tanto producirá un calentamiento cuatro veces mayor.

Este calentamiento es producido por la fricción entre:

- Los forros y el tabor de freno
- Condiciones de los neumáticos y carreteras

Con la finalidad de generar la fricción deseada, los forros o pastillas deben ser presionados contra la superficie de los tambores o discos de freno. Para esta situación, se exige una fuerza denominada “Fuerza F”.

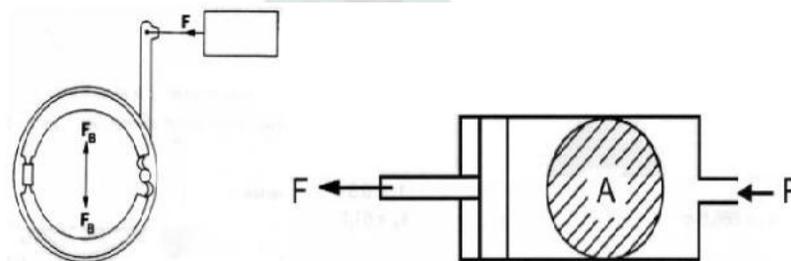


FIG. 14 Fuerza de accionamiento del cilindro sobre los forros de freno
Fuente: Manual bus King Long.

La fuerza “F” liberada por el cilindro y es generada a través de la entrada de aire comprimido generando una presión “P”, que actúa sobre la superficie del embolo. El aire comprimido almacenado en los tanques de almacenamiento es utilizado como energía para actuar en los componentes del sistema de freno durante el proceso de frenado.

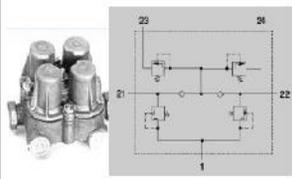
3.1.2. Sistemas de actuación en los frenos: Los vehículos comerciales pueden contar con cuatro tipos diferentes de sistemas de actuación para el sistema de frenado.

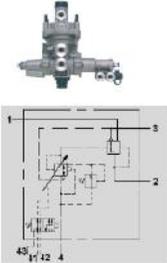
- **Freno de servicio:** Es utilizado tanto para reducir la velocidad del vehículo como para pararlo. Es accionado por las válvulas de pedal y actúa en los frenos de las ruedas.
- **Freno de estacionamiento:** La finalidad de este es mantener el vehículo estacionado con seguridad en cualquier condición, tanto en subidas como en bajadas, es accionada por la válvula de freno de mano, este sistema debe ser totalmente eficaz en caso de presentarse falla en energía neumática por tal razón él debe actuar en forma mecánica (por accionamiento de los mulles) accionando los frenos de la rueda del vehículo.
- **Freno de emergencia:** su función es sustituir la tarea de frenado de servicio cuando halla fallas en el mismo. Tanto en el circuito de frenado de servicio (Delantero y Trasero) puede ser utilizado como un sistema de frenado de emergencia como el sistema de frenado de estacionamiento.
- **Retardador:** permite al conductor reducir la velocidad del vehículo sin la utilización del sistemas de frenado convencionales, generalmente funciona a través de la caja de velocidades.

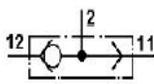
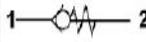
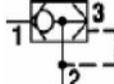
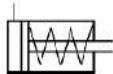
3.1.3. Componentes del sistema de freno neumático: los principales componentes del sistema de freno son los siguientes:

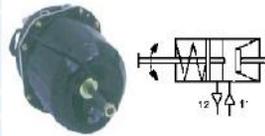
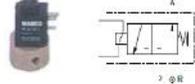
Tabla 2: Características técnicas y funciones componentes del freno neumático.

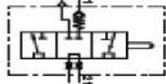
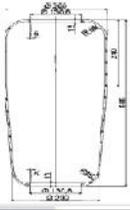
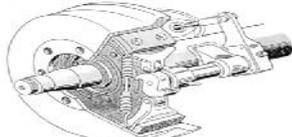
ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	INTERFACES	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	Cod.fun.	FUNCIONES
1: Compresora de aire	Presión de aire de 8 bar±0,3/0,1	Recibe aire de presión atmosférica de la tubería de admisión del motor	<p>Es un dispositivo acoplado al motor del vehículo que comprime el aire existente en la atmósfera, este puede ser accionado por correa o engranaje. el compresor de aire es típicamente enfriado por el sistema de refrigeración del motor y lubricado por el suministro de aceite del motor.</p> 	1	Comprimir el aire existente en la atmósfera
	Valvula: tipo laminas			2	Convertir el torque entregado por el motor en movimiento
	Máxima rotación: 300 rpm	Transfiere el calor generado a través de la culata del refrigerante del motor		3	Permitir el mínimo paso de aceite al aire comprimido menor a 0,5 gr/hr
	Lubricacion: forzada aceite motor (SAE15w40)			4	Disipar el calor producido al refrigerante del motor.
	Enfriamiento: sistema de refrigeración del motor y refrigerante de 50% de etilenglicol -50 de agua des ionizada	Entrega aire comprimido por medio de la tubería de salida.			
	Rotación: cualquier dirección				
2: Válvula reguladora de presión	Presión de apertura: 8,1 bar	Recibe aire a presión de operación de la tubería de salida compresor.	<p>Controla automáticamente la presión neumática del sistema, manteniendo el sistema de frenos activo siempre que este sea solicitado.</p> 	5	Regular el aire proveniente del compresor a máximo 8,1 bar
	Presión de cierre: 7,7 bar	Entrega aire a presión regulada al filtro secador.		6	Liberar el aire comprimido a la atmósfera cuando la presión de este supera 8,1 bar.
		Entrega aire presurizado a la atmósfera		7	Cargar el sistema neumático con aire comprimido cuando la presión neumática del mismo disminuya por debajo de 7,7 bar
3: Filtro secador	Filtro coalescente que separa los productos derivados del petróleo.	Entrada de aire del regulador de presión.	<p>Es el encargado de retirar agua y gotas de aceite provenientes del aire comprimido liberándolo a la atmósfera. Este filtro es de vital importancia ya que esta elimina parcialmente la lubricación de algunos componentes perjudicando el funcionamiento del sistema. los secadores de aire típicamente usan un cartucho reemplazable que contiene un material desecante y un separador de aceite.</p> 	8	Eliminar el contenido de humedad que se encuentra en el aire comprimido.
	Partículas desecantes en su interior para retener agua en su interior.	Entrega aire al regulador de presión.		9	Eliminar el contenido de aceite que se encuentra en el aire comprimido.

ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	INTERFACES	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	Cód.. Fun.	FUNCIONES		
4: Válvula DE 4 VÍAS	Presión de alimentación de 8 bar.	Entrada de aire del regulador de presión por 1.	<p>Valvula protectora de 4 circuitos: su función es garantizar una presión preestablecida en los circuitos intacta, en caso de defecto en uno o mas circuitos de los sistemas de freno. Esta válvula protege los siguientes circuitos: *Circuito 21: protege el sistema de freno de servicio trasero (eje trasero). *Circuito 22: protege el sistema de freno de servicio delantero. *Circuito 23: protege el sistema de freno de estacionamiento. *Circuito 24: Protege el sistema de accesorios a aire.</p> 	10	Entregar a los circuitos (22,23y 24) 8bar.		
	Presión de apertura y cierre de circuito 21: 6,7/4,5bar.	Entrega aire por 21 a la válvula de freno de servicio.		11	Cerrar el circuito de alimentado si se presenta falla en este (presión menor a 4,5 bar)		
	Presión de apertura y cierre de circuito 22: 6,7/4,5bar.	Entrega aire por 22 ala válvula de freno de servicio.		12	Alimentar los circuitos restantes a 8 bar cuando se presenta falla en uno de los circuitos (presión menor de 4,5bar)		
	Presión de apertura y cierre de circuito 23: 6,7/4,5bar.	Entrega aire por 23 a válvula de freno de estacionamiento y a válvula de relé.		13	Alimentar los circuitos independientemente con 8bar cuando la presión en cualquier de ellos disminuye por debajo de 8 bar.		
	Presión de apertura y cierre de circuito 24: 6,7/4,5bar.	Entrega aire por 24 a válvula de freno de estacionamiento fuelles primer eje de circuito de accesorios.		14	Priorizar la presurización en los circuitos 21 y 22.		
5: Válvula de freno de servicio .	Presión de alimentación de 8 bar.	Recibe aire p.o. 11 de 21 de la válvula de cuatro vías.	<p>Es la responsable de modular la presión del sistema de freno de servicio, a través de dos circuitos distintos, con la finalidad de controlar la presión de los cilindros de freno. Cuando el conductor aplica los frenos de servicio usando el pedal de freno, una parte de los embolso se mueve dentro de la válvula de freno, cerrando el escape de la válvula y abriendo conductos dentro de la válvula que permite la presión de aire esperando allí, pase y se entregado a los sistemas del freno trasero y delantero.</p> 	15	Modular la presión de freno de servicio a través del pedal de (0-8 bar.)		
	Presión en punto nulo: 0+0,1bar.	Recibe aire de la 22 de la válvula de cuatro vías.		16	Entrega la presión modulada al sistema de freno delantero.		
	Presión en un punto máximo de 8 bar.	Entrega aire por 22 ala válvula al sistema de freno de 1er eje.		17	Entregar la presión modulada al sistema de freno trasero.		
6: Válvula DE FRENO DE ESTACIONAMIENTO.	Presión de alimentación de 8 bar.	Recibe aire por 11 de 23 de la válvula de 4 vías	<p>Es la encargada de accionar gradualmente el freno de estacionamiento y emergencia del vehículo, a través de una señal neumática enviada a la válvula relé la cual a su vez envía presión para accionar el cilindro combinado.</p> 	18	Entregar la presión de alimentación por 21 y 22 cuando es accionada para liberar el freno de estacionamiento.		
	Presión de liberación: toda la presión del tanque de almacenamiento.	Recibe aire por 12 de 24 de la válvula de 4 vías.					
	Presión de respuesta: máx.. 2,2 bar.	Entrega aire por 21 a la válvula de relé.				19	Mantener la palanca en su posición cuando el freno es accionado.
	Frenado completo: 0 bar.	Entrega aire por 22 a 12 de la válvula de dos vías.				20	Puño de la palanca debe retornar automáticamente.

ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	INTERFACES	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	Cód.. Fun.	FUNCIONES
7: VÁLVULA RELÉ.	Presión máxima de servicio: 20 bar.	Recibe aire a presión de operación por 1 proviene de 24 de la válvula de 4 vías.	<p>Produce el accionamiento y des accionamiento del freno trasero más rápido, son usadas principalmente en vehículos para aplicar y liberar los frenos de estacionamiento o de servicio en los ejes traseros. Cuando el conductor aplica los frenos, el aire fluye a través de la línea de entrega (en este caso la señal) a la válvula relé y mueve hacia abajo un pistón interno. esto cierra el escape y abre la entrega de aire a los frenos. los beneficios principales de usar una válvula relé es que la capacidad de aire necesaria para es entregada directamente y el aire no tiene que correr hasta la válvula de freno y después hasta los frenos.</p> 	21	Liberar rápidamente el aire por 3 cuando llegue la señal de freno de estacionamiento.
	Limites de temperatura: - 40 °C a 80 °C.	Entrega aire a presión por 2 y 11 de la válvula de 2 vías para la cámara trístops.		22	Transferir el aire proveniente 23 de la válvula de 4 vías ala cámara de freno cuando no hay señal del freno de estacionamiento.
	Escape admisible a la presión máxima de operación.	Descarga aire ala presión atmósfera por 3 al llegar la señal por 4 de 21 del freno de estacionamiento.			
8: VÁLVULA DISTRIBUIDORA	Presión de funcionamiento máxima de: 8 bar	Recibe aire a presión por 1 proveniente de 21 de la válvula de 4 vías.	<p>Controla gradualmente el freno de servicio, de estacionamiento y de emergencia del remolque o semirremolque. Es la responsable de aplicar la señal neumática de freno en los diferentes ejes con el fin de equiparar la presión de frenado.</p> 	23	Equipar presión de frenado de tercer eje.
	Nivel de respuesta de 41 máx.: 0,4bar	Entrega aire por 21 a los actuadores de ABS de tercer eje.			
	Nivel de respuesta de 42: 0,9 bar a 1,2 bar.	Recibe señal neumática por 41 de 21 de la válvula de freno de servicio.			
	Nivel de respuesta de 43: máx. 1,1 a 1,4 bar.	Recibe señal neumática por 42 de 22 de la válvula de freno de servicio.			
	Limites de temperatura: - 40 °C a 80 °C	Entrega presión de control por 43.			
9: VÁLVULA SENSIBLE A LA CARGA ALB.	Rango de regulación: 1:8	Recibe aire presurizado por 1 que viene de 21 de la válvula de 4 vías.	<p>Es la encargada de controlar la presión de aire en las cámaras de freno trasero en función de la carga del vehículo. El control automático depende de la presión contenida en el interior de los fuelles neumáticos que a su corresponde ala carga del vehículo.</p> 	24	Garantizar presión de frenado independientemente de la carga del bus.
	Presión máxima: 13 bar.	Entrega aire regulado por 2 alas electroválvulas ABS de segundo eje.		25	Reducir según el grafico la presión neumático en 2 cuando el vehículo se encuentra sin carga.
	P/41-42-43 máx.. 13 bar.				
	p4 máx. 10 bar.	Recibe señal neumáticas de los fuelles del 2 eje lado por 41.		26	Incrementa según el grafico la presión neumática en 2 cuando el vehículo se encuentra a media carga.
	P41/42 sin presión: 1,3 bar.	Recibe señal neumática de fuelles lado izquierdo por 42.			
	p2 sin presión: 3,2 bar (p4=8bar)	Recibe la señal neumática por 4 de 21 de la válvula de freno de servicio			
	p41/42 en carga: 4,3 bar.			27	Incrementar según el grafico la presión neumática en 2 cuando el vehículo esta carga total.
p2 con carga: 7 bar.	Descarga aire a la atmósfera por 3.	28	Descarga aire de 2 ala atmósfera cuando el sistema de freno de servicio es liberado.		

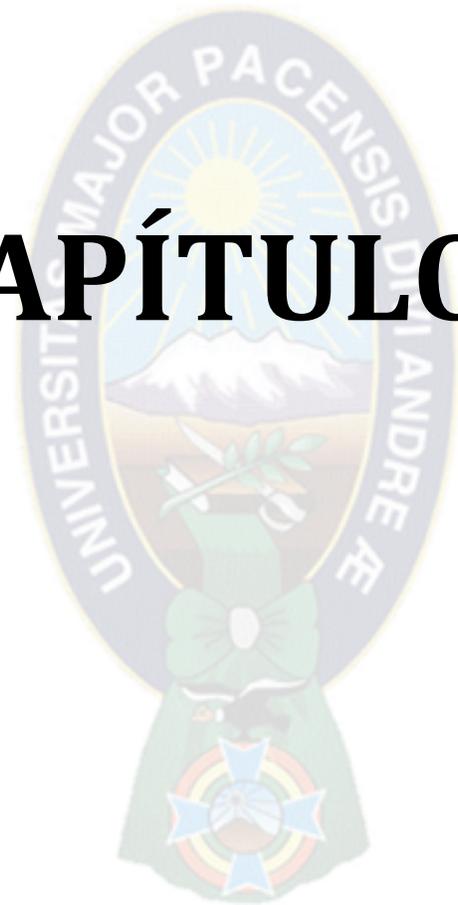
ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	INTERFACES	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	Cód.. Fun.	FUNCIONES
10: VÁLVULA DE 2 VÍAS.	Presión de operación máx... De 10 bar.	Recibe aire por 11 de 23 de la válvula de freno de estacionamiento.	<p>Es utilizada con la finalidad de conducir para un único circuito de aire comprimido, proveniente de dos circuitos diferentes.</p>  	29	Entrega aire a un único circuito con dos alimentadores.
	Diámetro nominal: 12mm.	Recibe aire por 12 de 2 de la válvula de relé.			30
	Limites de temperatura -40°C 80 °C	Entrega aire a 12 de las cámaras de freno tristop.			
11: VÁLVULA DE RETENCIÓN	Presión de operación máx... De 20 bar.	Línea 23 de la válvula de 4 vías	<p>Permite el pasaje de aire en un solo sentido, e impide el contra flujo.</p>  	31	Permite el paso de aire en sentido de flujo de la línea.
	Diámetro nominal: 8mm.	Línea 24 de la válvula de 4 vías			32
	Limites de temperatura: -40°C a 80°C	Línea 1 antes de la válvula distribuidora			
12: VÁLVULA DE ESCAPE RÁPIDO	Presión máx.: de servicio 20 bar.	Recibe aire a presión por 1 de la línea de freno de servicio o de estacionamiento.	<p>Valvula de escape rápido: su función es liberar rápidamente el aire comprimido proveniente de las cámaras de freno de servicio trasero, tras el frenado.</p>  	33	Entrega el aire a presión cuando el freno de servicio es accionado por las 2 salidas impidiendo el escape por el desagüe 3.
	Escape admisible ala presión máxima de operación.	Entrega aire por 2 a las cámaras de freno			34
	Limites de temperatura -40 °C a 80°C.	Descarga aire por 3 ala atmósfera.			
13: CÁMARA DE AIRE SENCILLA	Presión máxima de funcionamiento de 8 bar.	Recibe aire a presión de las electroválvulas de ABS.	<p>Convierte la presión de aire en una fuerza mecánica que acciona las mordazas de frenos del vehículo mediante la palanca ajustadora de juego y están montados en el eje delantero del Bus.</p>  	35	Convertir la energía neumática en energía mecánica, cuando se utiliza el freno de servicio.
	Oscilación del vástago máx.: 3°				36
	Limites de temperatura: -40 °C a 80 °C	Entrega fuerza mecánica mediante el movimiento del vástago a los ajustadores de juego.			

ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	INTERFACES	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	Cod.fun.	FUNCIONES
14: CÁMARA DE FRENO COMBINADA O TRISTOP	Presión máxima de funcionamiento de 8 bar.	Recibe la presión en 3 eje de 21 de la válvula distribuidora y de 2 eje de la segunda válvula sensible.	<p>Están montadas en el eje de las ruedas y accionan los frenos traseros del vehículo (freno de servicio, estacionamiento y emergencia). Están compuestas de separadores de aire y actuadores mecánicos en una sola carcasa. Conectado a la válvula de freno de servicio, la porción de aire aplicada al actuador, funciona como freno de servicio. La porción mecánica del actuador contiene un poderoso resorte, el cual comprime añadiendo presión de aire o se libera quitando presión de aire. El freno de resorte contiene por lo tanto dos actuadores, los cuales usan presión de aire en dos vías opuestas. El actuador de servicio por lo tanto requiere presión de aire para aplicar, mientras el actuador de estacionamiento o de emergencia usa la presión de aire para liberar los frenos.</p> 	37	Accionar el vástago cuando no hay presión en 12
	Presión de desacoplo: 5,1 bar.	Recibe presión de 23 de la válvula de freno de estacionamiento o de 2 de relé.		38	Liberar el vástago cuando hay presión en 12 y no hay presión en 11.
	Limites de temperatura -40°C a 80 °C	Entrega fuerza mecánica mediante el movimiento del vástago a los ajustadores de juego.		39	Accionar el vástago cuando hay presión en 11.
15: VÁLVULA DE SOLENOIDE ABS.	Presión de funcionamiento máx.. 8 bar.	Las válvulas de solenoide de 1 eje reciben presión de 22 de la válvula de freno de servicio.	<p>Es una válvula electro-neumática (normalmente abierta) la cual cuando se envía una señal eléctrica, abre el desfogue enviando la presión a la atmósfera. Es utilizada para ajustar la presión del cilindro de freno en relación con las señales de control recibida desde la unidad electrónica de control ECU del sistema ABS. Para esto existe un sensor fijo conectado a un eje continuamente al cual recoge la información del movimiento rotativo de la rueda por medio de una rueda dentada. Los pulsos eléctricos generados dentro del sensor se transmite a la ECU la cual se utiliza para calcular la velocidad de la rueda al mismo tiempo la ECU utiliza un cierto modo una velocidad de referencia que se aproxima a la velocidad de la rueda. De toda esta información la ECU calcula la aceleración de la rueda o desaceleración cuando los valores determinados de deslizamiento se supera el valor de control de solenoide es accionado esto hace que la presión del cilindro de freno pueda ser limitada o reducida, manteniendo así la rueda dentro de su rango optimo de deslizamiento.</p> 	40	Permite el paso de aire a las cámaras de freno mientras el modulo de ABS no envía ninguna señal.
	Voltaje de 24 voltios +/- 10%	Las válvulas de solenoide de segundo eje recibe de 2 de la válvula de ALB.			
	potencia de entrada 10 W.	Las válvulas de solenoide de tercer eje reciben presión de 21 de la válvula distribuidora.		41	Liberar el aire comprimido a la atmosfera cuando la señal del modulo del ABS así lo permita.
	Limites de temperatura: -40 °C 45 °C	La válvula solenoide entrega el aire directamente a las cámaras de freno.			

ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	INTERFACES	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	Cod.fun.	FUNCIONES
16: VÁLVULA NIVELADORA	Presión de funcionamiento máx.: 8 bar	Recibe aire de 24 de la válvula de 4 vías por entrada 11.	<p>En vehículos con suspensión neumática la válvula de nivelación asegura que los fuelles neumáticos del eje mantengan una altura del chasis independiente de la carga del bus.</p>  	42	Permitir el paso de aire a 21 cuando aumenta el peso en el interior del bus.
	Longitud de nivelamiento 175 mm	Entrega aire por dos a 2 fuelles neumáticos		43	Permite desfogue de aire por 3 cuando disminuye el peso del interior del Bus.
	Limites de temperatura: -40 °C a 80°C.	Es comandada por la varilla que va conectada al bastidor.		44	Mantener el sellado el flujo de aire en cualquier dirección cuando el peso del bus es constante.
17: FUELLES NEUMÁTICOS	Apertura inferior y superior: 130,8mm	Soporte entre el bastidor y la carrocería.	<p>Los fuelles de suplección neumática están diseñados para soportar la presión requerida en el volumen de los mismos dependiendo de la carga a bordo del vehículo, estos fuelles se utiliza como elemento constructivo elástico entre el eje y suplección</p>  	45	Absorber los impactos del camino, para dar confort a los usuarios.
	Altura total: 595mm.	Entrada y salida de aire por la base de fuelles.		46	Mantener distancia entre el bastidor y carrocería.
18: TENSOR DE AJUSTE (CHICHARRA MECÁNICA)	Existe una graseras por ajustador de holgura. Engrase asta que la grasa salga por el centro ranurado y asta el área trinquete y se vea solo la grasa no combinada.	La acción de frenado mas eficiente es obtenida cuando el recorrido del brazo del tensor de ajuste esta aproximadamente a 90° y dentro de los limites recomendados de la cámara.	<p>El tensor de ajuste es el eslabón entre la cámara de freno o actuador y el eje de levas de freno S-Can. Su brazo es ajustado a la varilla de empuje con una horquilla y su lengüeta, es instalada en la base del eje de levas de freno.</p> 	47	Transforma y multiplica la fuerza desarrollada por la cámara en un par de torsión, el cual aplica los frenos por medio de eje de levas de freno.
19: FRENO S-CAM (LEVA "S")	En este caso, las zapatas de freno con los forros de freno se presionan contra los tambores de freno	Con el tipo de freno s-cam la leva y el árbol de levas ejercen un movimiento rotativo como el resultado de la fuerza de actuador de freno sobre el regulador.	<p>Freno S-Can es un freno de base de tipo leva el sistema de freno neumático esta acoplado en los frenos de base por el tensor de ajuste, el brazo de tensor de ajuste es sujetado ala varilla de empuje de la cámara con una horquilla. La lengüeta del tensor de ajuste es instalada en el eje de levas de freno, tensor de ajuste es una palanca que convierte la fuerza lineal de la varilla de empuje de la cámara, en fuerza de torsión o de giro, necesaria para aplicar los frenos.</p> 	48	Cuando el par de torsión es aplicado al eje de levas, las zapatas de freno lo distribuye en la leva en forma de "S", obligando al forro de freno a entrar en contacto con el tambor de freno, parando el Bus.
20: ALMOHADILLAS Y FORROS DE FRENO.	* Buena resistencia al rozamiento y además tiene alta fuerza de frenado hasta 500 °C	El material aglomerado de fricción esta soldado ala base metálica.	<p>Las almohadillas y forros de freno difieren en que dos almohadillas de freno para forrar una zapata, mientras que solo se requiere un segmento de una almohadilla de freno para hacer el mismos trabajo.</p> 	49	Aunque se recomienda un juego de forros sea usado cada rueda bajo algunas combinaciones una combinación de diferentes materiales de forro pueden ser deseables, si el mismo forro es marginal por ejemplo: un paso completo para obtener un forro a un grado muy alto puede dar una capacidad muy excesiva grande en este caso una combinación de almohadillas debe ser considerada.

Fuente: Manual de Funciones y Mantenimiento
Bus King Long Serie XMQ6110ACW3

CAPÍTULO IV



CAPÍTULO IV MARCO PRÁCTICO ESTUDIO PREVIO A LA APLICACIÓN RCM EN SISTEMA DE FRENO NEUMÁTICO

Se vio teóricamente RCM y su modo de aplicación, el objetivo de este capítulo es dar a conocer como se ha evaluado la ponderación de los equipos críticos, es decir a que equipos se va a dedicar esencialmente la atención, para implementar sobre ellos primeramente el análisis RCM. Para eso se realizó un árbol de sistemas y componentes el cual se trata de un árbol en forma de organigrama que relaciona todos los activos del bus, esto ha podido permitir registrar los equipos y máquinas, categorizarlo y relacionarlo entre ellos. El segundo paso es la identificación de paradas e interrupciones en generación ya sea programado o forzado de acuerdo a este árbol es decir insertar a cada falla y sistema un equipo asociado a cada interrupción.

A continuación se hizo un análisis de frecuencia de fallas para tener un panorama previo al análisis de criticidad al cual se llegará, considerando que el objetivo es la ponderación de los equipos más críticos, para esto se empleará el método de evaluación de criticidad basada en riesgo.

4.1. ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE FALLAS

Frecuencia de fallas significa el número de veces en que cada equipo ha fallado y afectado la generación. En este punto se analiza la frecuencia en cada equipo de SETRAM, que ha tenido inconveniente desde el 2014 a 2016, la fuente de información estadística necesaria para este análisis se presentara en el anexo N° 2 subtítulos de identificación de paradas de acuerdo a su sistema, equipos y componentes asociados a cada falla.

De aquí en adelante se reducirá el análisis a dos partes solo para buses BA-019; BA-005; BA-013. En general todos los equipos han tenido la misma falla pero los mencionados anteriormente estuvieron en mantenimiento mucho tiempo:

- (CHECK ABS) llamados también desconexión (destellos).
- Mantenimiento Correctivos que han sido extraídos de planillas de trabajo, indisponibilidades de equipos, mantenimientos inadecuados realizados por empresa tercerías.

Cuando se enciende Check del ABS (destellos) generalmente es asociados por un relé de protección o un error en el sistema lo que se hace generalmente es revisar y volver a limpiar el ABS la mayoría de veces.

Mantenimiento correctivo es la intervención de mayor tiempo en los que pueden durar varios días de trabajo. Con este tipo de mantenimiento se utilizó la maquinaria hasta que sobreviene la falla, como se estableció anteriormente falla o avería será el descenso en nivel de prestación de un equipo.

4.1.1. Análisis mediante Árbol de Fallas

En el proceso de diagnóstico, tras la detección e identificación de los síntomas originadas por la fallas del sistema de freno, es necesario la identificación de la falla mediante una evaluación de dichos síntomas.

Es por eso que se realiza la adaptación del árbol lógico como un tipo de análisis de fallas que parte de un síntoma particular y señala el camino para determinar la causa de la anomalía siguiendo un razonamiento deductivo.

A continuación se muestra un ejemplo de árbol lógico construido con la simbología estandarizada para bus Puma Katari provocado y utilizado con una falla límite en el sistema de freno.

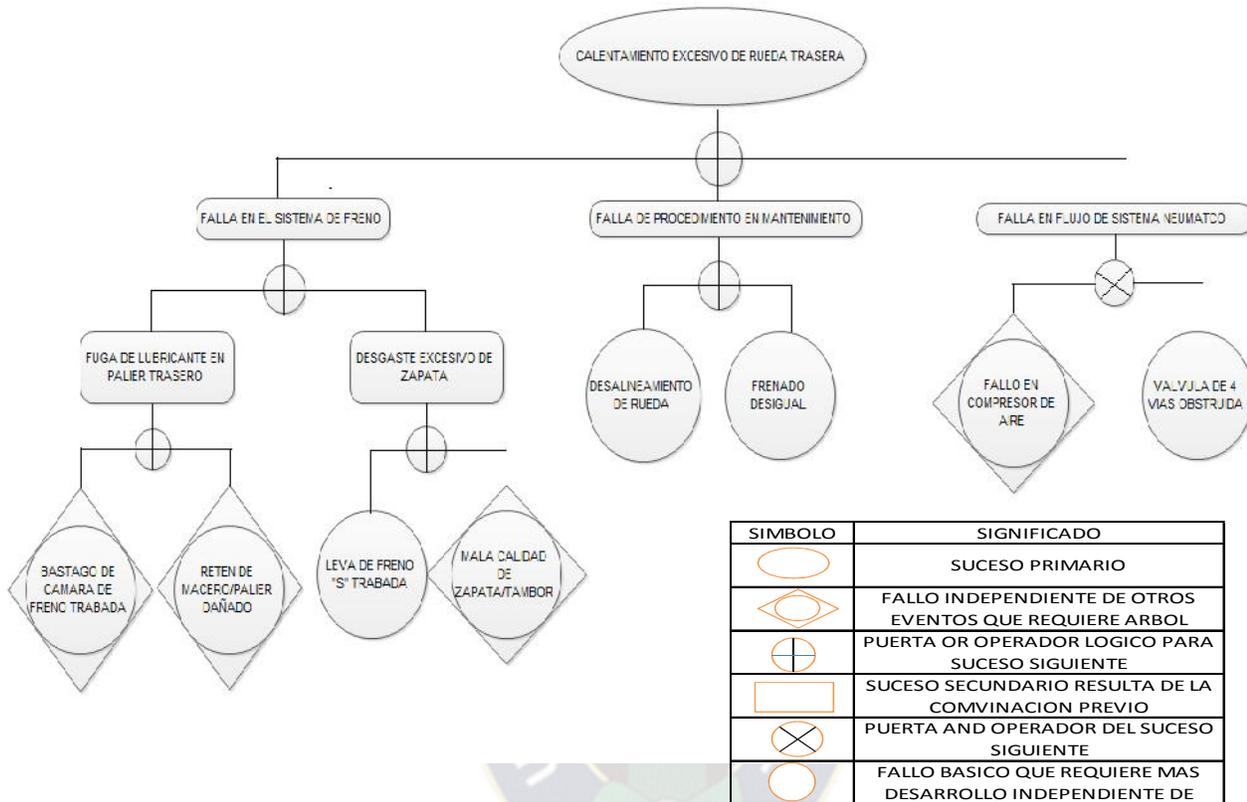


FIG. 15 Mapa de causas/falla Sistema Freno Neumático

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Análisis de diagrama de Ishikawa para sistema de freno

Cuando se estudian problemas de fallas en equipos, estos pueden ser atribuidos a múltiples factores. Cada uno de ellos puede contribuir positivamente o negativamente al resultado. Sin embargo alguno de estos factores puede contribuir en mayor proporción, siendo necesario recoger la mayor cantidad de causas para comprobar el grado de aporte de cada uno e identificar los que afectan en mayor proporción. Para resolver esta clase de problemas, es necesario

disponer de un mecanismo que permita observar la totalidad de relaciones causa-efecto.

Un diagrama de causa y efecto facilita recoger las numerosas opciones expresadas por el equipo sobre las posibles causas que generan el problema se trata de una técnica que estimula la participación e incrementa el conocimiento de los participantes sobre el proceso que se estudia.

En el siguiente diagrama se analizó problemas las causas y efectos que tiene el bus Puma Katari, al realizar este análisis se generó una base de datos con información actual y detallada de todas las fallas que han sucedido y que posiblemente sucede al equipo.

Cabe destacar que la idea de un análisis de diagrama de pescado es su retroalimentación; ósea no basta con quedarse con el análisis en sí, a medida que vayan sucediendo las fallas no consideradas, estas deben ser incluidas con el análisis junto a su tarea proactiva asociada.

La siguiente fig.16 tiene la finalidad de mostrar de manera gráfica todos los conocimientos que se tiene sobre un problema en particular, frecuentemente esta técnica es empleado para hacer la representación del análisis causa-raíz.

En este diagrama las causas que generan un potencial de efecto se presentan de manera jerarquizada por su particular forma también denominado espina de pescado.

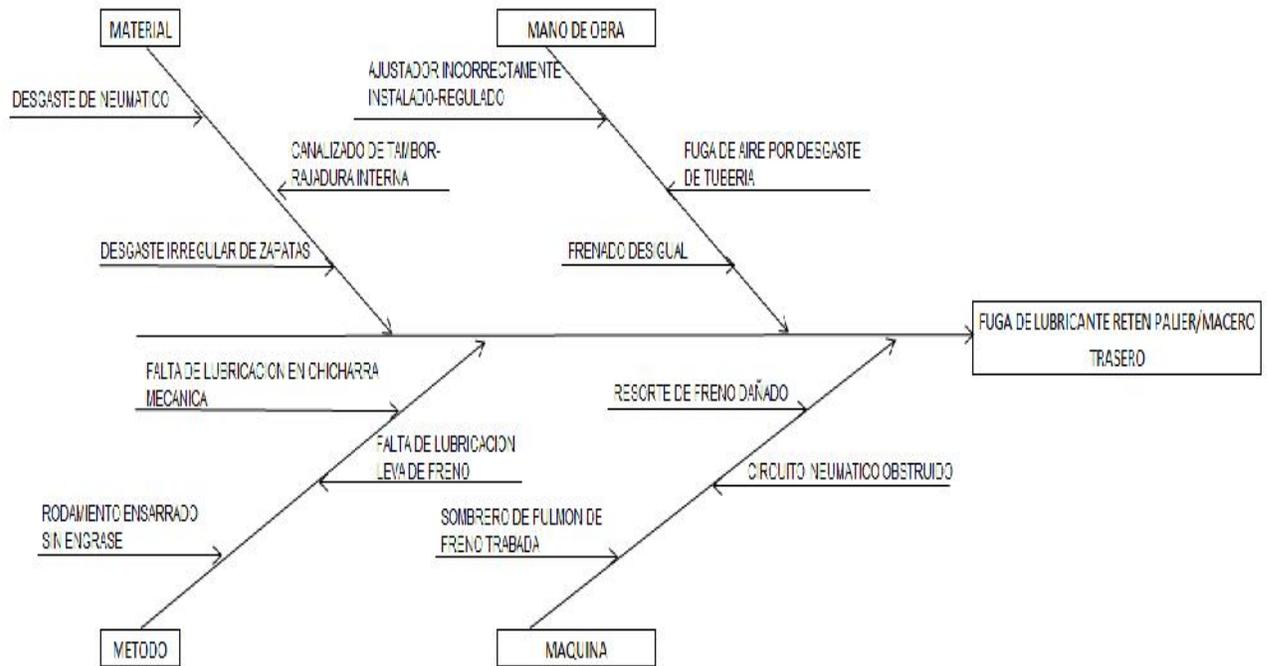


FIG. 16: Análisis Ishikawa Sistema de Freno Neumático
 Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Análisis ABC-Pareto

Sirve para conseguir el mayor nivel de mejora con el menor esfuerzo posible, es pues una herramienta de selección que se aconseja aplicar en la fase A que corresponde al enfoque concretar el problema, así como para seleccionar una causa. Tiene el valor de concentrar la atención en el 20% de los elementos que provocan el 80% de los problemas, en vez de extenderse a toda la población se cuantifican las mejoras que se alcanzaran solucionando los problemas alcanzados.

A continuación se incluye el diagrama de Pareto, el cual permite facilitar el estudio comparativo de numerosas fallas del sistema, así como fenómeno social y natural como se apreciara en los siguientes gráficos.

El mantenimiento contribuye en la competitividad de la empresa, cuando sus costos representan una inversión que aseguran la continua operación, por este motivo el mundo de mantenimiento sufre constantes cambios tecnológicos y de estrategias en pro de optimizar su gestión.

Para el mantenimiento correctivo, Fabros Motors tiene un plazo máximo preestablecido de 24 horas para el diagnóstico de la falla desde la remisión del pre-diagnóstico de forma física o vía correo electrónico para informar a SETRAM.

4.1.3.1. Frecuencia de desconexiones por destellos Año 2014

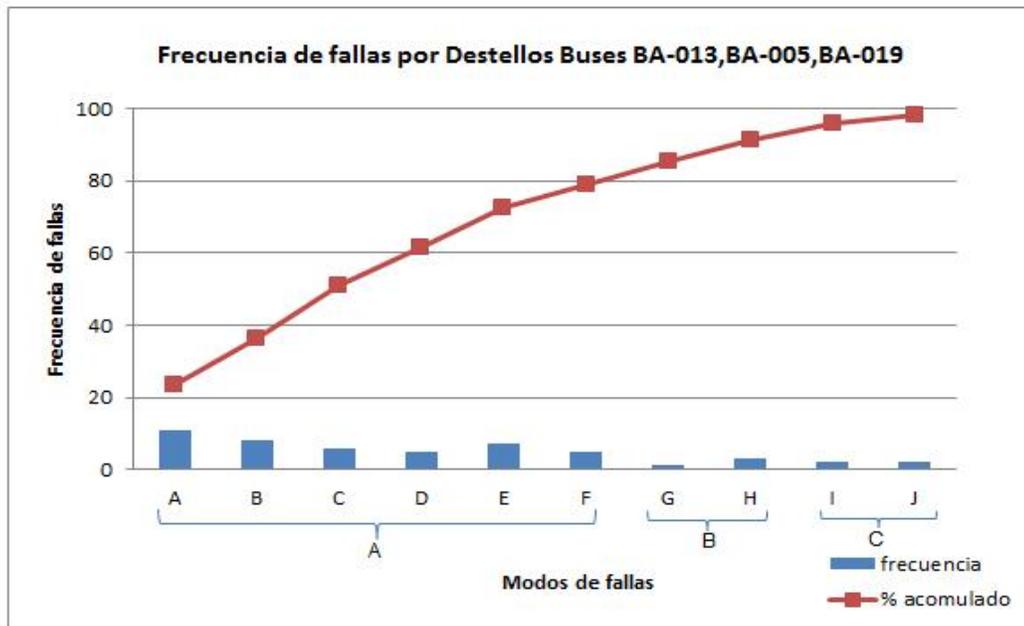
En el siguiente grafico se observa el conteo de destellos dentro todo los sistema del bus pero nuestro análisis es sobre el equipo y no sobre los sistemas hacemos esto porque primero identificamos los sistemas más críticos y consecutivamente los equipos más críticos.

Incluimos el diagrama de Pareto, que facilita el estudio comparativo de numerosos procesos, es decir que hay muchos problemas sin importancia, frente a unos pocos graves.

COD.	MODOS DE FALLAS	Nf	S*Nf	S*(Nf/Nf1)	Análisis Pareto
A	Fallo de ABS	11	11	23,4	A
B	Indicador de freno ABS	7	17	36,17	A
C	Freno Motor	6	24	51,06	A
D	Indicador de Señal de Bateria	5	29	61,7	A
E	Indicador de Señal filtro de aceite	5	34	72,34	A
F	Indicador de señal de combustible	3	37	78,72	A
G	Indicador de señal de pedal de Aceleracion	3	40	85,1	B
H	Indicador de pantalla de LCD	3	43	91,49	B
I	Tension de la correa de compresor	2	45	95,74	C
J	Indicador de forro de freno	2	47	100%	C
TOTAL:		47			

Tabla: 3 Fallas, modos de falla y frecuencia para análisis de Pareto

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 1. Frecuencia de modos de fallas por destellos

Fuente: Elaboración propia

4.1.3.2. Frecuencia de desconexión por mantenimiento correctivo

Hemos visto la frecuencia con la que los diferentes equipos son sometidos a destellos, pero los destellos o check provienen en la mayoría de los casos de la actuación de un sensor de protección, mientras que las interrupciones de la generación que provienen de un mantenimiento correctivo que involucran más tiempo y una intervención más profunda al equipo.

CÓD.	CAUSAS	Nf	S*Nf	S*(Ni/Nf1)	Análisis Pareto
A	Sistema de Freno Neumático	10	10	22,73	A
B	Suspensión	8	18	40,91	A
C	Llantas	7	25	56,82	A
D	Caja	5	30	63,64	A
E	Sistema de dirección	3	33	75	A
F	Motor	3	36	79,55	A
G	Sistema de combustible	2	38	86,36	B
H	Correas	2	40	90,9	B
I	Puertas Neumáticas	2	42	95,45	C
J	Sistema de Refrigeración	2	44	100%	C
Total:		44			

Tabla: 4 Componentes/Sistemas y frecuencia para análisis de Pareto

Fuente: Elaboración propia

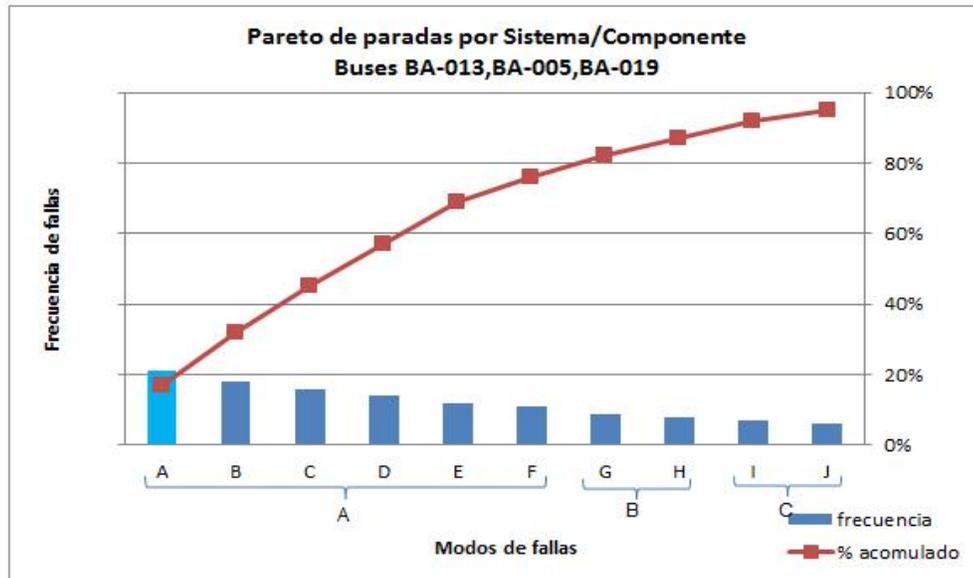


Gráfico: 2 Pareto de Paradas por Sistema/Componente

Fuente: Elaboración propia

En la gráfico vemos una lista de sistemas que han sido intervenidos por mantenimiento correctivo desde los años 2014, la frecuencia con la que los equipos han sido mantenidos se encuentran graficadas de mayor a menor, se puede observar en el siguiente diagrama de Pareto para identificar las causas provenientes.

CÓD.	Averías-Fallas	N° de Fallas	Tiempo de reparación	F(n*t)	S*Ni	S*(Ni/Nf1)	Análisis pareto
A	Reten de Palier dañado	8	5	40	40	19,42	A
B	Falta de lubricación en chicharra mecánica	7	4	28	68	33	A
C	Baja presión de estacionamiento	7	4	28	96	46,6	A
D	Frenado desigual	6	4	24	120	56,31	A
E	Circuito Neumático obstruido/perdida	6	3	18	138	63,59	A
F	Frenos desregulados	6	3	18	156	72,33	A
G	Tambor de freno con forma oval	5	3	15	171	81,06	B
H	Canalizado de tambor	5	3	15	186	86,89	B
I	Ajustador de freno dañado	5	2	10	196	92,72	B
J	Frenos después de aplicarlos se calientan	4	2	8	204	97,57	C
K	fuga de aire después de aplicarlos	2	2	4	208	99,51	C
L	Leva "S" Desgastada	1	1	1	209	100%	C
Total:				209			

Tabla: 5 Causas por Mantenimiento Correctivo/Preventivo Sistema de freno Neumático

Fuente: Elaboración propia

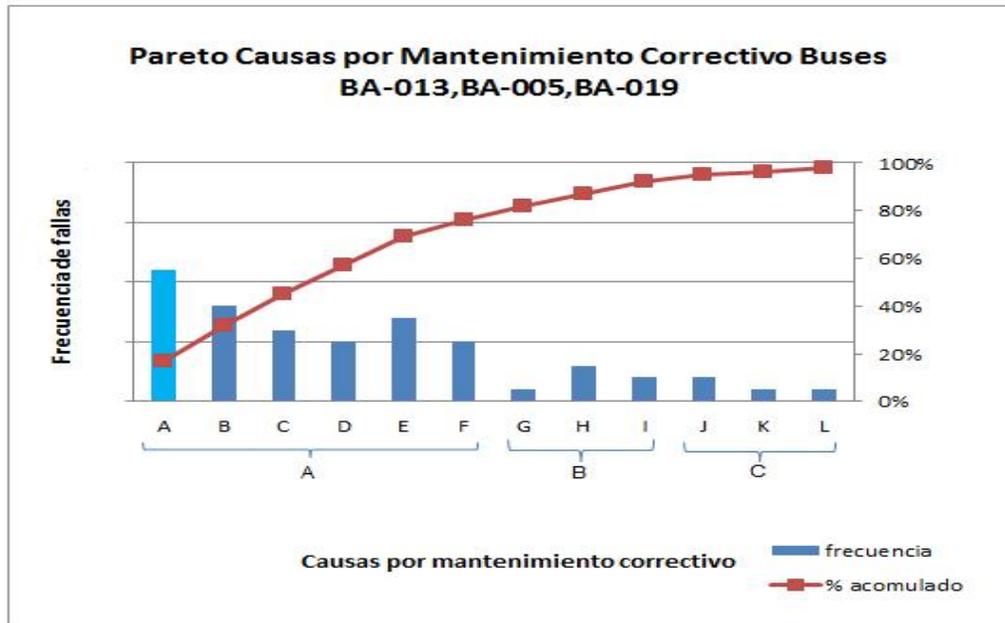


Gráfico: 3 Fallas, modos de falla y frecuencia de Bus Puma Katari

Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Análisis Crítico del Modo y Efecto de la Falla (FMECA)

El FMECA es un procedimiento de análisis de fallas mediante el cual cada falla (o modo de falla) potencial de la maquina es analizada con el fin de determinar los efectos de estas sobre las mismas clasificándose cada falla de acuerdo a su importancia.

Gracias a la tabla 1 “Matriz de riesgo” se pudo construir el siguiente análisis de FMECA o AMEF que indica la función, fallas funcionales, modos de fallas Causas y consecuencias de la falla del sistema de freno bus Puma Katari, se observa en anexo 3.

Causas de falla Sistema de Freno Neumático



FIG. 17 Imagen fuga de aceite de reten palier eje trasero de Bus
Fuente: Elaboración propia



FIG. 18 Imagen canalizado/rajadura interna de tambor
Fuente: Elaboración propia

4.2. SELECCIÓN DEL EQUIPO

Se trata de implementar RCM a todos los equipos críticos y de importancia para la producción. Es por ello que la selección de los buses es vital, y su importancia se verá reflejada en la gestión de la mantención en la Unidad de Servicio de Mantenimiento (SETRAM).

La justificación para realizar el análisis RCM es que estos equipos han tenido altos costos de mantención/repación y han estado fuera de servicio durante periodos prolongados desde su operación desde el año 2014.

4.3. CONTEXTO OPERACIONAL

Los trabajos de mantenimiento deben ser coordinados en función a las necesidades de operación de servicio y guía de mantenimiento proveniente de la fábrica de acuerdo modificaciones pertinentes con relación a la topografía y características ambientales de la ciudad de La Paz, tomando en cuenta el tiempo necesario para realizar el mantenimiento preventivo y correctivo, es decir que la programación de mantenimiento preventivo responderá a una planificación determinada, pero en cuanto al mantenimiento correctivo estará en función a las fallas que se presenten, por tanto el contratista debe tomar en cuenta todas las previsiones para no afectar la planificación realizada.

4.4. SITUACIÓN DE LOS BUSES

4.4.1. Costos asociados a mantención

En fecha 17 de diciembre de 2012, el Gobierno Autónomo de La Paz, ha suscrito el contrato Administrativo No. GAMLP-2289/2012 con la empresa FABROS MOTORS SRL., luego de ser adjudicado bajo la modalidad de Licitación Pública Internacional, para la “Adquisición de Buses para el Inicio del Servicio de

Transporte Municipal a cargo del TPM". Producto de esta adquisición la empresa proveedora de los 61 buses para el SETRAM remitió un certificado de garantía de fábrica por el tiempo de uno punto cinco (1.5) años hasta que cada una de las unidades alcancen los 150.000 Km (lo que ocurra primero).

De igual manera y durante el tiempo de vigencia de la garantía, el contratista y el contratante deben coordinar los procedimientos técnicos operativos y administrativos relacionados con el mantenimiento de las unidades de que se asegure el cumplimiento de garantía.

Es necesario aclarar que el listado de precios unitarios de insumos y repuestos para mantenimiento preventivo solo contempla el costo de los bienes sin tomar los costos de los servicios accesorios al suministro. Asimismo, aclarar que el listado de los precios unitarios de insumos y repuestos para mantenimiento correctivo contempla el costo de los bienes y los servicios accesorios al suministro contemplando mínimamente el costo de la revisión, inspección, verificación cambio o instalación del insumo o repuesto, la garantía técnica del servicio y accesorio a la instalación o cambio del bien, lo que permite que la garantía técnica de los buses se mantenga y que cualquier falla, ya sea por el repuesto, insumos o servicios accesorios el contratista es responsable de las mismas ante cualquier instancia.

La información que se tiene sobre las mantenciones y reparaciones es completa y lo realizado a estos equipos corre desde el año 2014 ya que fue ese año en que ingresa a trabajos de mantenimiento.

Sin embargo, debe reconocerse que también existen buenas experiencias y resultados conseguidos, aunque todavía en un nivel incipiente de tecnificación en el mantenimiento. Como se muestra en la distribución porcentual de estrategias de mantenimiento, conseguida de datos estadísticos de FABROS MOTORS SRL. En cual se ha establecido costos utilizados en los mismos tipos de mantenimiento en el cual se aprecia en la Anexo 1.

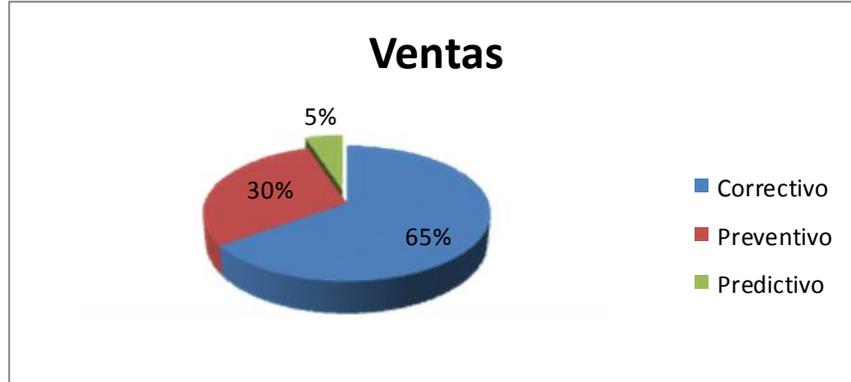


FIG. 19 Aplicación de Mantenimiento en Bus Puma Katari

Fuente: Elaboración propia

- EL 65% es correctivo, que tiene un elevado costo de mantenimiento.
- El 30% es preventivo, Consiste de una serie que se lleva a contrarrestar las causas conocidas de fallas potenciales.
- El 5% es preventivo basado en la condición o predictivo.

El mantenimiento contribuye en la competitividad de la empresa, cuando sus costos representan una inversión que asegura la continua operación, por este motivo el mundo de mantenimiento, sufre constantes cambios tecnológicos y estrategias en pro de optimizar su gestión.

Es por ello que la figura anterior se asocia a la mantención y costos del sistema de freno neumático, se aprecia en anexo 1.

4.4.2. Control de fiabilidad

Mediante este control se pretende encontrar indicadores estadísticos de parámetros que permitirán estructurar de mejor manera la propuesta, desarrollo del cálculo de los indicadores importantes que deben ser tomados en cuenta:

- Confiabilidad
- Probabilidad de falla

- Mantenibilidad
- Disponibilidad

4.4.3. Disponibilidad de los buses

A continuación se detalla el tiempo que estuvo el equipo fuera de servicio, por mantención o reparación entre los años 2014 y 2015.

Ya que los buses mencionados sufren deficiencias en el sistema de freno, esto por falta de repuesto e insumos. Además cabe mencionar están fuera de servicio mucho tiempo y esto con lleva un costo de mantenimiento muy alto.

Además que cada bus debe presentar un presupuesto diario al GAMLP (SETRAM).

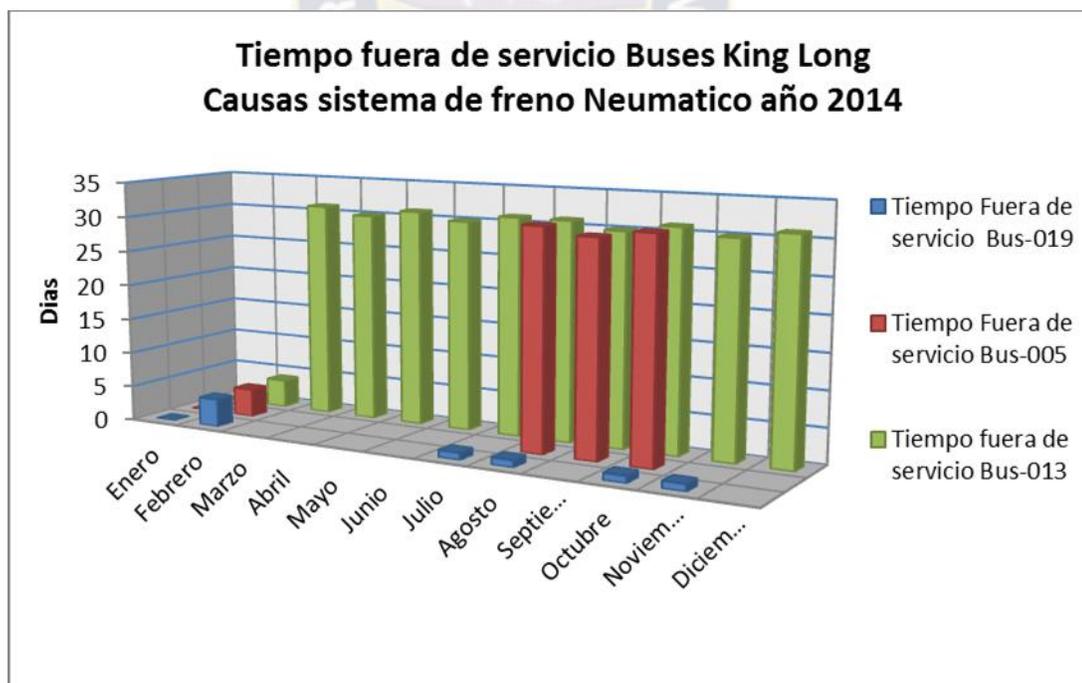


GRÁFICO. 4 Tiempo fuera de Servicio por Bus año 2014
Fuente: Base de Datos Software (Fabros Motors).

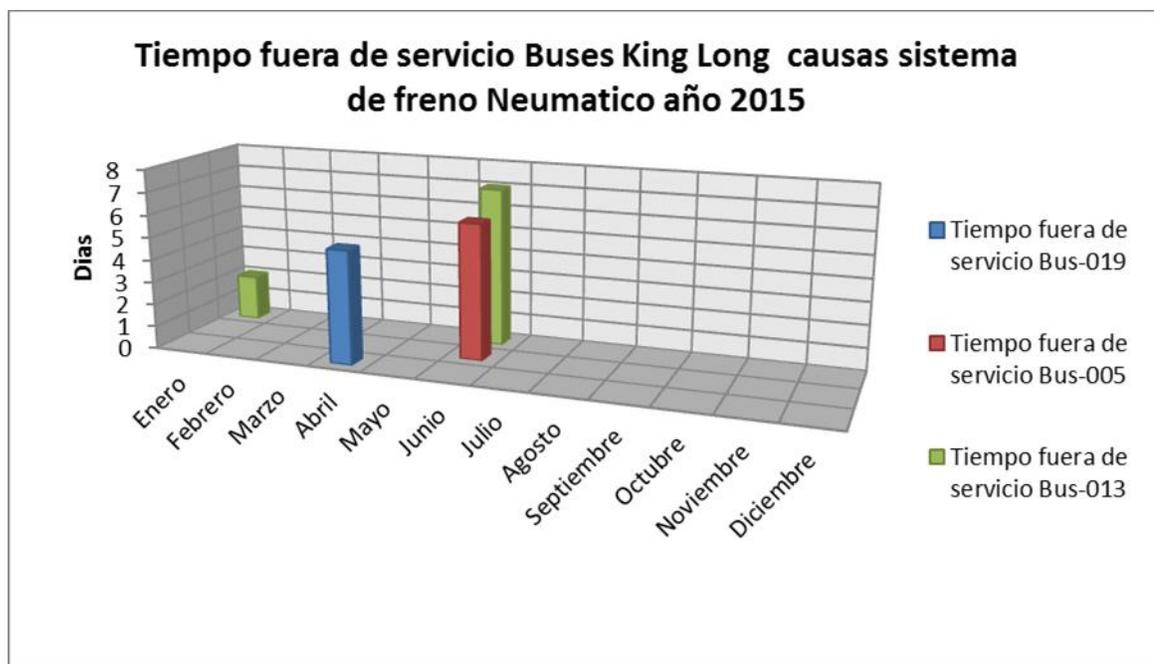


GRÁFICO. 5 Tiempo fuera de servicio por Bus año 2015
Fuente: base de datos software (Fabros Motors).

Resumen Días Fuera de Servicio Buses King Long						
	2014			2015		
	Bus BA-005	Bus BA-013	Bus BA-019	Bus BA-005	Bus BA-013	Bus BA-019
Enero						
Febrero	4	4	4			
Marzo		31				
Abril		30				1
Mayo		31				
Junio		30		2	1	
Julio		31	1			
Agosto	31	31	1			
Septiembre	30	30				
Octubre	31	31	1			
Noviembre		30	1			
Diciembre		31				
Total: Días	96	310	10	1	1	1

Tabla. 6 Resumen Tiempo Fuera de Servicio Buses King Long
Fuente: Elaboración Propia

Con los datos anteriores y gracias al anexo 2 “Tabla de operación anual de parada y ruta del sistema de freno” se calculara la disponibilidad de cada Bus durante los años mencionados.

Como se pudo apreciar en la figura 16 durante el año 2014 hubo una gran indisponibilidad de los buses BA-013 Y BA-005, lo que ocurrió durante todo un año en un equipo y en el otro en los meses de agosto, septiembre y octubre. Uno de los objetivos de este trabajo es aumentar la disponibilidad, manteniendo todos los parámetros sobre el 99,5%.



➤ **Ejemplo de cálculo de disponibilidad Bus BA-005 Año 2014.**

Se tiene una distribución de fallas en el sistema de freno Bus, se registraron 10 fallas mencionadas como ser:

FALLAS
Reten de palier dañado
Falta de lubricación en chicharra mecánica
Baja presión de estacionamiento
frenado desigual
Circuito de neumático obstruido/perdida
Frenos desregulados
Tambor de freno con forma oval
Canalizado de tambor
Ajustador de freno dañado
Frenos después de aplicarlos se calientan

En el cual 2 fallas ocurrieron sobre las horas utilizadas entre (2084 Hrs. y 1541 Hrs.), se pide obtener el periodo de revisión.

1. Tasa de fallas
2. Fiabilidad para 1000 Hrs. de operación
3. Tiempo medio entre fallas
4. Tiempo medio de reparación
5. Disponibilidad del equipo.

Nota: suponer distribución exponencial.

Solución:

$$\lambda = \frac{n}{N \cdot \Delta t}$$

Dónde:

= Tasa de fallos

n_i = n° de fallas durante el intervalo t_i, t_{i+1}

N_i = n° de supervivientes al principio del intervalo de tiempo t_i, t_{i+1}

$t = t_{i+1} - t_i$ = intervalo de tiempo considerado

$$\Delta(t) = 2084 + 1 - 1541 = 544$$

$$\lambda = \frac{2}{10 * 544}$$

$$\lambda = 3,67 * 10^{-04}$$

$$\lambda = 0.000367 \left(\frac{\text{Fallas}}{\text{horas}} \right)$$

- ¿Cuál es la fiabilidad para 1000 Horas de operación? Recomendado por manual.

$$R(t) = e^{-\lambda * t}$$

Para: t = 1000 Hrs.

$$R(t) = e^{-0.000367 * 1000}$$

$$R(t) = 0.692 = 69,28\%$$

- ¿Y cuál es el tiempo medio entre fallas (MTBF)?

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

$$MTBF = \frac{1}{0.000367}$$

$$MTBF = 2724 \text{ Hrs}$$

- ¿Cuál es el tiempo medio de reparación MTTR?, para 2 fallas registradas, días parados 96.

*Tiempo invertido reparacion = 96 * 8Hrs = 768Hrs.*

$$MTTR = \frac{\Sigma \text{Tiempo invertido reparacion}}{n^{\circ} \text{ de averias}}$$

$$MTTR = \frac{768 \text{ Hrs}}{2}$$

$$MTTR = 384 \text{ Hrs.}$$

- ¿Cuál será la disponibilidad del equipo en el año 2014?

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

$$D = \frac{2724}{(2724 + 384)}$$

$$D = 0.876$$

DISPONIBILIDAD = 87,6 %

➤ **Ejemplo de cálculo de disponibilidad Bus BA-013 Año 2014.**

Se tiene una distribución de fallos de una flota de transporte público se registraron 10 fallas como ser:

FALLAS
Reten de palier dañado
Falta de lubricación en chicharra mecánica
Baja presión de estacionamiento
frenado desigual
Circuito de neumático obstruido/perdida
Frenos desregulados
Tambor de freno con forma oval
Canalizado de tambor
Ajustador de freno dañado
Frenos después de aplicarlos se calientan

En el cual se registraron 3 fallas entre (1450 Hrs. y 818 Hrs.) se pide obtener el periodo de revisión.

1. Tasa de fallas
2. Fiabilidad para 1000 Hrs. de operación
3. Tiempo medio entre fallas
4. Tiempo medio de reparación
5. Disponibilidad del equipo.

Nota: suponer distribución exponencial.

Solución:
$$\lambda = \frac{n}{N \cdot \Delta t}$$

Dónde:

= Tasa de fallos

n_i = n° de fallas durante el intervalo t_i, t_{i+1}

N_i = n° de supervivientes al principio del intervalo de tiempo t_i, t_{i+1}

$t = t_{i+1} - t_i$ = intervalo de tiempo considerado

$$\Delta(t) = 1450 + 1 - 818 = 633$$

$$\lambda = \frac{3}{10 * 633}$$

$$\lambda = 4,739 * 10^{-4}$$

$$\lambda = 0.000473 \left(\frac{\text{falla}}{\text{hora}} \right)$$

- ¿Cuál es la fiabilidad para 1000 Hrs. de operación? Recomendado por manual.

$$R(t) = e^{-\lambda * t}$$

Para: t = 1000 Hrs.

$$R(t) = e^{-0.000473 * 1000}$$

$$R(t) = 0.6231 = 62,31\%$$

- ¿Cuál es el tiempo medio entre fallas (MTBF)?

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

$$MTBF = \frac{1}{0.000473}$$

$$MTBF = 2114 \text{ Hrs.}$$

- ¿Cuál es el tiempo medio de reparación (MTTR)? Para 3 fallas que se registran, días parados 310.

$$\text{Tiempo invertido reparacion} = 310 * 8 = 2480 \text{ Hrs.}$$

$$MTTR = \frac{\sum \text{Tiempo invertido reparacion}}{n^{\circ} \text{ de averias}}$$

$$MTTR = \frac{2480 \text{ Hrs.}}{3} = 827 \text{ Hrs.}$$

$$MTTR = 827 \text{ Hrs.}$$

- ¿Cuál será la disponibilidad del equipo en el año 2014?

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

$$D = \frac{2114}{(2114 + 827)}$$

$$D = 0.718$$

DISPONIBILIDAD = 71,8 %

➤ **Ejemplo de cálculo de disponibilidad Bus BA-019 Año 2014.**

Se tiene una distribución de fallas de los buses de transporte público como ser:

FALLAS
Reten de palier dañado
Falta de lubricación en chicharra mecánica
Baja presión de estacionamiento
frenado desigual
Circuito de neumático obstruido/perdida
Frenos desregulados
Tambor de freno con forma oval
Canalizado de tambor
Ajustador de freno dañado
Frenos después de aplicarlos se calientan

El cual se registró 1 falla entre (3392 Hrs y 2950 Hrs.) se pide obtener el periodo de revisión.

1. Tasa de fallas
2. Fiabilidad para 1000 Hrs. de operación
3. Tiempo medio entre fallas
4. Tiempo medio de reparación
5. Disponibilidad del equipo.

Nota: suponer distribución exponencial.

Solución:

$$\lambda = \frac{n}{N \cdot \Delta t}$$

Dónde:

= Tasa de fallos

n_i = n° de fallas durante el intervalo $t_i, t_i + t$

N_i = n° de supervivientes al principio del intervalo de tiempo $t_i, t_i + t$

$t = t_{i+1} - t_i$ = intervalo de tiempo considerado

$$\Delta(t) = 3392 + 1 - 2950 = 443$$

$$\lambda = \frac{1}{10 * 443}$$

$$\lambda = 2,257 * 10^{-4}$$

$$\lambda = 0.000225 \left(\frac{\text{falla}}{\text{hora}} \right)$$

- ¿Cuál es la fiabilidad para 1000 Hrs. de operación? recomendado por manual.

$$R(t) = e^{-\lambda * t}$$

Para: t = 1000 Hrs

$$R(t) = e^{-0,000225 * 1000}$$

$$R(t) = 0.798 = 79,8\%$$

- ¿Cuál es el tiempo medio entre fallas (MTBF)?

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

$$MTBF = \frac{1}{0.000225}$$

$$MTBF = 4444 \text{ Hrs.}$$

- ¿Cuál es el tiempo medio reparación (MTTR)?. Para 1 fallas que se registran, días parados 10.

*Tiempo invertido reparacion = 10 * 6 Hrs = 60 Hrs.*

$$MTTR = \frac{\sum \text{Tiempo invertido reparacion}}{n^{\circ} \text{ de averias}}$$

$$MTTR = \frac{60 \text{ Hrs.}}{1}$$

$$MTTR = 60 \text{ Hrs.}$$

- ¿Cuál será la disponibilidad del equipo en el año 2014?

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

$$D = \frac{4444}{(4444 + 60)}$$

$$D = 0.986$$

DISPONIBILIDAD = 98,66%

CAPÍTULO V



CAPÍTULO V

PROPUESTA – MODELO DE PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA FIABILIDAD PARA LOS BUSES PUMA KATARI

A continuación se desarrollarán los pasos esenciales para la aplicación de un plan de mantenimiento centrado en la fiabilidad, detallándose las principales áreas a cubrirse.

Es importante mencionar que la presente propuesta es una respuesta a las deficiencias encontradas en el estudio realizado y descrito en el capítulo anterior, referido al mantenimiento de los buses y la falla analizada.

Para este propósito y según la información recopilada mediante los trabajos que realicé referido a la organización se plantea lo siguiente:

5.1. ORGANIZACIÓN DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

En función de la organización que se defina para la empresa y en particular para el mantenimiento se tendrá diferentes estructuras para esto acorde al bien físico y su importancia.

5.1.1. Propuesta de organigrama GAMLP - La Paz

A continuación se presenta la propuesta de la organización de la empresa con el fin de mejorar la eficiencia en las actividades generales y de mantenimiento.

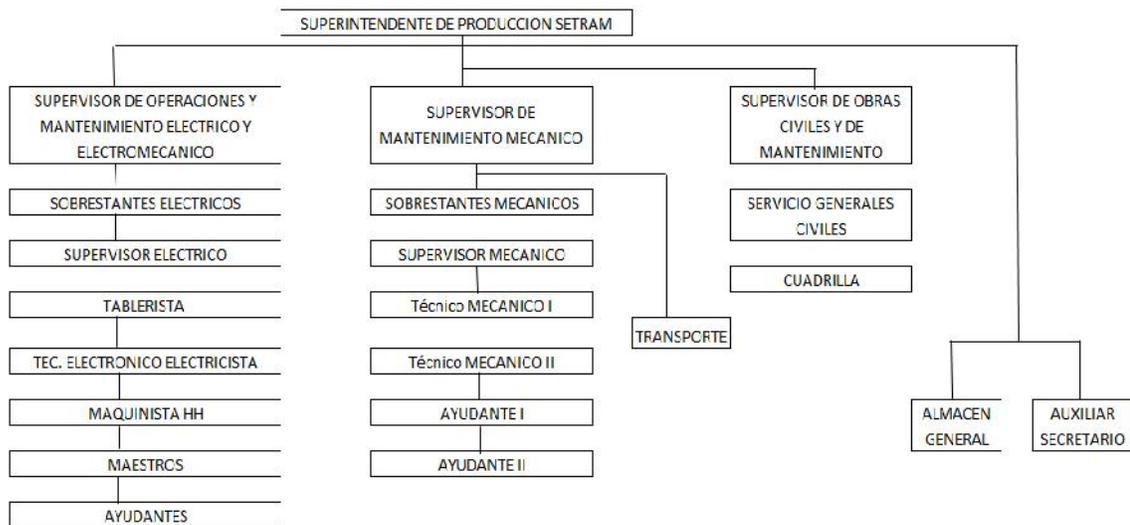


FIG. 20 Propuesta de organigrama
 Fuente: Servicio de Transporte Municipal SETRAM

La organización de mantenimiento se subdivide en una sección descentralizada de acuerdo como muestra el organigrama anterior, que por poseer varias plantas con diferentes tipos de maquinarias, y se hallan distribuidas en un área geográfica extensa como en las tres paradas de buses como se encuentran en nuestra ciudad de La Paz.

5.1.2. Superintendente de producción SETRAM

La toma de decisiones y la creatividad renacen directamente en él, así como el control de todas y cada una de las actividades del personal a su cargo.

El superintendente debe interpretar las políticas emanadas de los puestos superiores y con ellas traza sus propias estrategias, alternativas y prioridades.

Este puesto debe de ser ocupado por una persona conocedora de lo técnico pero experta en lo administrativo, con habilidades para el ejercicio de liderazgo y la comunicación. Su área de trabajo es total en lo físico con el inmueble; en lo

humano con su propio personal y con el de las demás áreas en sus diferentes jerarquías.

5.1.3. Supervisores y personal técnico

Supervisor de operaciones y mantenimiento eléctrico y electromecánico: este cargo demanda experiencia sobre todo en el área de electricidad o electromecánica que es en donde inciden algunas fallas Su área de trabajo es más concreta en lo interno desde el punto de vista humano, y desde luego en lo físico que es el 25 % de los trabajos a realizar, debe establecer una serie de apoyos para su desarrollo, entre los cuales deben considerarse:

- Análisis de los bienes definiendo: características funcionales de la empresa y componentes.
- Análisis estadístico.
- Costo por actividad sobre la base de estudios estadísticos, cálculos de rendimientos y/o eficiencias, valores índices, criterios de reemplazo, modificaciones, procedimientos.
- Capacidad de liderazgo y manejo de personal.

Supervisor de mantenimiento mecánico: este cargo demanda experiencia en el área de mecánica o especialista en mantenimiento que es donde inciden otra gran mayoría de las fallas cuya eficacia podría parar la operación de la empresa. Su área de trabajo es más concreta en lo mecánico donde la totalidad de los buses están provistas de fallas en el sistema de freno neumático y sus componentes deben establecer una serie de apoyos para su desarrollo, entre los que debe considerarse:

- Entendido en planificación y técnicas de mantenimiento
- Capacidad de coordinación con el personal de la planta y especialmente con los supervisores de operaciones.

- Análisis de los bienes físicos, definiendo: características, funciones, componentes y periodicidades de mantenimiento.
- Capacidad de liderazgo y manejo de personal

Supervisor de obras civiles y mantenimiento: este cargo demanda experiencia en la especialidad Ingeniería civil que es parte fundamental en el normal desenvolvimiento de las empresas. Su área de trabajo es más concreta, donde la totalidad de las empresas de transportes están provistas de construcciones talleres y/o infraestructuras.

Para el trabajo que se está realizando se está enfocando la parte mecánica del mantenimiento por lo que se va a considerar lo siguiente:

Encargado e Ingeniero mecánico: estos cargos demanda gran experiencia en mecánica de frenos es parte fundamental en el normal desenvolvimiento de las empresas cuya consecuencia puede parar la operación de las empresas. Su área de trabajo es más concreta debiendo establecer una serie de apoyos para su desarrollo, entre los que deben considerarse:

- Entendido en mantenimiento de los buses.
- Sólidos conocimientos en sistema de freno neumático.
- Capacidad de coordinación con el personal de la planta y especialmente con el supervisor de mantenimiento mecánico.
- Criterios sólidos de reemplazo, modificaciones y construcción de partes y repuestos mecánicos.
- Capacidad de liderazgo y manejo de personal

Técnicos mecánicos: estos cargos demanda también gran experiencia en mecánica de buses, es parte fundamental en el normal desenvolvimiento de las empresas cuya consecuencia puede parar la operación de los buses. Su

área de trabajo es más concreta debiendo establecer una serie de apoyos para su desarrollo, entre los que deben considerarse:

- Entendido en mantenimiento de los buses
- Capacidad de coordinación con el personal de la empresa y especialmente con el ingeniero, sobrestantes y supervisor de mantenimiento mecánico.
- Análisis de estado de componente y periodicidades de mantenimiento.
- Sólidos conocimientos en máquinas y herramientas.

Almacenero: este cargo demanda conocimiento especializado sobre manejo de inventarios. Su área de trabajo es concreta debiendo ser de apoyo a las actividades de mantenimiento en la entrega de partes y repuestos en el momento oportuno. Entre las aptitudes que debe considerarse son:

- Conocimientos de partes y repuestos mecánicos, eléctricos y electrónicos.
- Capacidad de coordinación con el personal de mantenimiento y especialmente con técnicos mecánicos, sobrestantes y supervisores de operaciones de mantenimiento mecánico.

Ayudantes mecánicos: este cargo demanda conocimientos básicos de mecánica general. Su área de trabajo es más concreta debiendo ser de apoyo a las actividades de mantenimiento mecánico.

Para su desarrollo, entre los que deben considerarse:

- Conocimiento de herramientas
- Capacidad de coordinación con el personal de mantenimiento y especialmente con técnicos mecánicos, Ingenieros, sobrestantes y supervisores de mantenimiento mecánico.

5.2. PLANIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO

En esta etapa se pretende planear las acciones que se van a tomar en distintos periodos como se aprecia en el cuadro adjunto.

Largo Plazo	Mediano Plazo	Corto Plazo
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Substitución de bienes físicos ✓ Buses de transporte publico ✓ Necesidades de instalación 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cambio de componentes ✓ Mantenimiento de instalaciones 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cambio de repuestos y accesorios ✓ Diagnóstico de los mantenimiento
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Capacitación y contratación de personal. ✓ Implementación de sistema computarizados de mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ajuste del mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Valoración de periódica de las actividades del personal de mantenimiento
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Consideraciones de nuevos espacios, para el mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Programación e importación de partes mecánicas de los buses. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Integración del sistema de mantenimiento preventivo y correctivo
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Adquisición de equipos, maquinaria y herramientas 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Presupuesto anual de mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Control de ordenes de trabajo
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reconstrucción de equipos y herramientas 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Modificaciones, reemplazos y reparaciones mayores 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reparaciones menores de equipo
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tratamiento de proveedores 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Control de stock de inventario 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tareas o actividades diarias.

CUADRO N° 1 Planificación periódica del mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

5.2.1. Planificación de actividades del mantenimiento

Dentro de esta etapa quedan comprendidos los procedimientos para planear acciones, consistiendo básicamente en determinar las tareas a realizar, la fecha y lugar de su ejecución y la ponderación de sus prioridades, para programar los eventos a realizar:

- Planificación de acciones del mantenimiento correctivo que deberán efectuarse partiendo de un diagnóstico físico de los bienes en donde se determinen las necesidades de reparación, la tipificación de medidas correctivas aplicables al caso y la ponderación de alternativas para seleccionar la más adecuada.
- Planificación de acciones de mantenimiento preventivo, que se efectuará sobre la base del archivo de datos técnicos de la guía de actividades, donde se consigna la frecuencia de las diversas actividades rutinarias de revisión aplicables a cada uno de los bienes, las que debidamente recopiladas definirán el programa de acción a realizar.
- Planificación de acciones del mantenimiento predictivo que se desarrollara sobre la base de proyección estadística de acciones realizadas en periodos anteriores, tomando en cuenta los equipos de detección en uso y la experiencia del personal.
- Planificación de acciones de capacitación y difusión técnica que consistirá en predeterminar los cursos, seminarios, conferencias, etc., que se estime necesarios realizar, precisando características, época y lugar de cada evento.
- Planificación de actividades administrativas que comprenderá el detalle de todas aquellas actividades orientadas a la planificación, dirección y control de programas de mantenimiento, así como las relativas a la evaluación de pronósticos y resultados.

5.2.2. Ejecución de acciones para el mantenimiento

El mantenimiento se desenvuelve mediante el desarrollo las funciones básicas de las actividades administrativas, dentro de cada una de estas funciones, se cumplen un ciclo que requiere: plantear objetivos y metas, planificar, organizar, ejecutar y controlar las acciones de todos y cada uno de los individuos que participan en su desarrollo.

Considerando la gran variedad de bienes tangibles con características y componentes diferentes, demandan un constante servicio de revisión y reparación, se establece la necesidad de crear los mecanismos técnicos que normen el criterio para la realización de actividades de los mantenimientos, teniendo como finalidad orientar a los ejecutantes respecto a “cómo y cuándo deben hacer las cosas”, destacando los siguientes aspectos:

- Creación de rutinas de procedimientos técnicos para la revisión de los bienes y sus componentes con el propósito de establecer acciones programadas que aseguren un eficiente servicio del mantenimiento y propicien, al calendarizar las actividades, la formulación de los planes de acción.
- Determinación de cuadros de elemento básico que contemple la realización de estudios técnicos para definir las herramientas necesarias para cada operario en sus diferentes especialidades y las herramientas de grupo para cada área de conservación.
- Determinar en cada unidad operativa los niveles adecuados de existencia en materiales y repuestos de uso más frecuente, con el fin de garantizar un servicio eficiente.
- Implementación de órdenes de trabajo para el mantenimiento.

5.3. CLASIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO

Por la determinación de las áreas de trabajo, se requiere del establecimiento previo de la estructura orgánica de mantenimiento y su relación con otras áreas. Cada empresa tiene organizaciones diferentes por sus diversidades de funciones, sin embargo el mantenimiento generalmente trabaja en coordinación del área administrativa o de producción. Tomando en cuenta las diferentes áreas como la:

Eléctrica: Tableros, motores, red de distribución del sistema eléctrico del bus.

Mecánica: Maquinaria de construcción y diseño del bus (Sistema de freno, transmisión etc.)

Generales y civiles: Mantenimiento de inmuebles, equipo de oficina, supervisión, mantenimiento de buses, chapería etc.

5.4. DESARROLLO DE LA INFRAESTRUCTURA PARA UN SISTEMA FIABILISTICO

En esta etapa se crearan las bases necesarias para poder montar exitosamente el programa de mantenimiento centrado en la fiabilidad.

5.4.1. Implementación de un programa por órdenes de trabajo

Los programas ante todo, son resultantes de la planificación y sirven a ella como medios de control e instrumentos indispensables para la toma de decisiones.

A continuación se detalla como es el flujo de órdenes de trabajo y su relación con proceso fiabilístico.

Se puede utilizar los siguientes cuatro tipos de órdenes de trabajo:

- **Órdenes de trabajo de mantenimiento correctivo**

Estas son generadas cuando se presenta una emergencia o se requiere un trabajo especial, a causa de la falla de algún componente de un equipo o maquinaria a raíz de la detección de fallas durante las inspecciones, pruebas, verificaciones, análisis de materiales. En un ambiente fiabilístico no se deberían generar en lo posible.

- **Ordenes de trabajo de mantenimiento preventivo**

Estas son generadas sobre la base de un programa resultante de la evaluación de la maquinaria de la empresa y de los informes históricos. De las labores preparatorias necesarias para los mismos, generada por el área de mantenimiento (supervisión).

- **Ordenes de trabajo de mantenimiento predictivo**

Estas son generadas en función de la información obtenida de los mantenimientos preventivos y los análisis ejecutados al equipo en concordancia con una evaluación estadística.

Estos dos tipos de órdenes de trabajo deberían ser la mayor parte de las órdenes generadas en un sistema fiabilístico.

Como fruto de la aplicación de las técnicas de análisis fiabilístico y otras iniciativas en SETRAM, se generaran órdenes para el desarrollo de trabajo o modificaciones que incluyan mejoras en las actividades de SETRAM y minimización del riesgo a paradas no programadas de los buses.

Además cabe destacar que un orden de trabajo al realizar las tareas encomendadas deberá tener en cuenta las condiciones de seguridad que correspondan al caso. Identificando los riesgos e indicando las precauciones que se deberá tomar en cuenta debiendo encontrarse obligatoriamente en el dorso de los órdenes de trabajo. (Según normas OHSAS)

La identificación de riesgos, así como el control de normas de control de seguridad e higiene industrial. En las normas de trabajo, deberá ser generada por el departamento de seguridad en coordinación con el área de mantenimiento de la empresa.

A continuación se presenta una propuesta de órdenes de trabajo que será aplicable a los anteriores mencionados:

NOMBRE Y/O DISTINTIVO DE LA EMPRESA						
ORDEN DE TRABAJO:				O.T.N°:		
SOLICITANTE:						
PLANTA		UNIDAD		EQUIPO		COMPONENTE
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO O DE LA FALLA:						
SUPERVISOR		PRIORIDAD/FECHA:			FIRMA Y FECHA DE ACEPTACIÓN	
TIPO DE MANTENIMIENTO:		PREVENTIVO	PREDICTIVO	CORRECTIVO	EMERGENCIA	
PLANIFICACIÓN						
N°	DESCRIPCIÓN DE TRABAJO	SECCIÓN	TIEMPO ESTIMADO	FECHA		MANO DE OBRA
				INICIO	TERMINO	
MATERIALES A SOLICITAR						
1.						
2.						
REPORTE DE LOS TRABAJOS EJECUTADOS:						
PIEZAS, REPUESTOS Y MATERIALES UTILIZADOS:						
EQUIPO A UTILIZAR NECESARIOS:						
LUGAR Y TIEMPO DE VIAJE DE IDA Y VUELTA AL LUGAR:						
FECHA INICIO	FECHA TERMINO	TIEMPO TOTAL	APROBACIÓN Y FECHA	FIRMA RESPONSABLE TÉCNICO FABROS		
				FIRMA RESPONSABLE DE MANTENIMIENTO SETRAM		

CUADRO N° 2 Propuesta de Orden Trabajo
Fuente: Elaboración propia

RIESGO	PRECAUCIONES	VERIFICACIÓN
Precauciones iniciales	Colocación de extintor en forma estratégica	
	Relevamiento general de lugar	
	Realizar una adecuada Señalización	
	Ubicación de los buses en forma correcta	
Riesgo mecánico	Utilizar botines de seguridad	
	Utilizar casco de seguridad	
	Utilizar guantes protectores	
	Utilizar gafas de seguridad	
	Utilizar ropa de trabajo	
Riesgo ergonómico	Posición adecuada para realizar esfuerzos	
	Utilizar herramienta adecuadas y en buen estado	
	Colocación de plataforma de trabajo	
Riesgo de trabajo en lugares cerrados	Aireación de recintos	
	Medición con detector de oxígeno (concentración)	
	Verificación de ventilación	
Riesgo de gases	Utilizar elementos antiexplosivos	
	Verificar perdidas de gases tóxicos	
Elevado nivel de ruido	Realizar medición con sonómetro	
	Utilizar protector auditivo	
Riesgo eléctrico	Verificación de puesta a tierra de equipo	
	Colocación de señalización de precaución	
Riesgo ambiental	Deposición y tratamiento final de desechos	
	Utilizar desengrasantes/limpiador de seguridad no inflamable	
	Utilizar envases originales sin perdida	
	Deposición final de residuos	
Riesgo de líquidos tóxicos	Colocación de elementos absorbentes	
	Utilizar Guantes de acrílico nitrilo	
	Utilizar mascara de protección respiratoria	
	Procedimientos de recambio recipiente	
Responsable de seguridad en el trabajo:		
Fecha:		Firma:

CUADRO N° 3 Propuesta de seguimiento de seguridad
Fuente: Elaboración propia

Una medida recomendada para conservar la información podría ser la de construir un expediente dossier, o implementar programas de mantenimiento esto con la finalidad de facilitar el seguimiento de los equipo.

Dicho expediente dossier del equipo se sub divide en dos volúmenes. Uno dedicado a la documentación técnica que acompaña al equipo desde su origen, mientras que el segundo sirve para conservar toda la información y documentos que se generan en el área de mantenimiento.

El primer volumen del dossier de equipo, contiene copia de los documentos de adquisición, las especificaciones técnicas, planos generales, certificados de calidad parámetros nominales de operación, información gráfica en general.

El segundo volumen de dossier estará constituido por tres tomos distintos. El tomo 1, dedicada a la actividad de planificación del mantenimiento (cronograma y ciclos de mantenimiento, cantidad de personal ejecutor, duración estándar del tiempo de ejecución de cada actividad, información derivada del monitoreo de la condición y registro de averías). El tomo 2, estará relacionada con las actividades de ejecución del mantenimiento (órdenes de trabajo, calibración de equipos, listados de piezas, repuestos y materiales) y el tomo 3, con la información generada de los mantenimientos que sirve de apoyo a las evaluaciones de las operaciones de mantenimiento, con informes técnicos de mantenimiento no ejecutadas y sugerencias para posteriores mantenimientos.

Una adecuada clasificación o catalogación de los expedientes de equipo, apoyada en un sistema racional de codificación, permitirá abreviar el tiempo necesario para ubicar y recuperar la información requerida para las operaciones de mantenimiento y facilitara la labores de análisis, ya sea de fallas y de comportamiento de los equipos e instalaciones, de los tiempos de operación y reparación, del empleo de recursos humanos y materiales, o de los costos asociados a la actividad de mantenimiento.

5.4.2. Revisión de programa

El programa es un elemento de control, por lo cual su monitoreo es básico y debe tomarse en consideración la revisión de los mismos en forma regular y dinámica, que permite efectuar las desviaciones necesarias para adecuar el programa a las condiciones particulares de operación.

5.4.3. Métodos de programación

En función del grado tecnificación y los recursos disponibles seleccionaremos el tipo de programación a utilizar, debido al alto índice de desarrollo de la industria de cómputo y la baja de los precios la tendencia del mercado está orientada hacia soluciones informáticas, pero aun es factible hacerlo manualmente con la ayuda de hojas electrónicas u otras herramientas.

Hoy en día existen cientos de programas en el mercado, ofreciendo una gran variedad de soluciones para diferentes necesidades y presupuestos, estos van desde unos cientos de dólares hasta soluciones integradas por encima de millón de dólares. Estos programas manejan las ordenes de trabajo, recursos humanos y los inventarios entrelazan la información para emitir reportes de existencia, trabajos realizados, costos o tiempo promedio entre fallas.

5.5. REESTRUCTURACIÓN DE ALMACÉN

Se debe establecer una unión entre el mantenimiento y la bodega para lograr una mejor disponibilidad entre materiales y herramientas con sus respectivos requerimientos.

La función de almacenaje para poder brindar soporte a mantenimiento debe comprender: una adecuada recepción, expedición, registro, control, custodia y conservación de las herramientas y repuestos necesarios para efectuar su labor.

Al desarrollar el sistema de control de materiales para el mantenimiento de la planta, es importante definir políticas claras del manejo de mínimos y máximos, puntos de reordenamiento y tamaños de lote óptimos, para minimizar los costos de inventario así como los faltantes.

Realizar auditorías cíclicas sobre estos niveles de repuestos y herramientas así como las adquisiciones del nuevo equipo, utilizando un programa de cruce funcional integrado por personal de mantenimiento y operaciones.

Para contar con una disponibilidad de materiales deben hacerse en forma programada conforme a los siguientes criterios:

- Prioridades del programa
- Existencia en el programa
- Aprovechar la oportunidad de costos
- Prever tiempos de suministros
- Condiciones del almacén (espacio, instalaciones para transitorios)
- Recursos económicos
- Nivel de inventarios.

El mantenimiento y la bodega de almacén deben trabajar juntos para mantener un programa conjunto entre los repuestos y herramientas necesarias para llevar a cabo mantenimientos predictivos y preventivos, así como poder cubrir eventuales emergencias que se puedan presentar.

La interrelación entre estas dos unidades de trabajo es tan crítica que algunas compañías han adoptado el estándar de colocar la bodega o almacén bajo la responsabilidad directa del departamento de mantenimiento, asumiendo el área contable solo la función de auditor.

5.6. EVALUACIÓN DE EQUIPOS

Para poder desarrollar el mantenimiento es necesario recopilar la información de los bienes físicos de la empresa, la cual se deberá efectuar sobre la base de: Inventarios, levantamiento y diagnóstico.

El inventario de los bienes físicos de la empresa tiene como objetivo principal el soporte contable, pero para la parte de mantenimiento es necesario también un inventario de los bienes codificando conforme las recomendaciones de clasificación del equipo, información técnica de los bienes de lo cual debe de considerar como mínimo con el manual de operación por tipo de equipo, manual de partes. Asimismo se deberá establecer rendimientos estándar de operación por proceso, tipo de procedimiento y/o productos, tipo de actividades y costos.

Rendimientos históricos de mantenimientos por vida útil de equipo, componentes y partes principales, ciclos de mantenimiento por tipo de actividades y de equipo.

De esta forma se deberá captar esta información por área y retroalimentar a estas, de tal forma que se establezcan metas de corrección en aquellos casos en que se tienen valores por debajo de los rendimientos históricos, complementando esta información con la obtenida en las órdenes de trabajo (tasas de fallas) y en los análisis de riesgos.

5.7. ENTRENAMIENTO EN HERRAMIENTAS DE INSPECCIÓN DE EQUIPOS

Hoy en día existen numerosas herramientas para el análisis y ajuste de equipos, estas son fundamentales en los procesos de mantenimiento modernos. Estas herramientas nos suministran información valiosa para poder predecir fallas o para garantizar un buen funcionamiento. Muchas veces estos equipos son específicos para el tipo de industria o equipo que se maneja, por lo que se selección debe ser propia de cada empresa y presupuesto. Ejemplos de estas herramientas son el

análisis termo gráfico, análisis de vibración, equipo de balanceo, equipo de alineado laser y otros instrumentos para chequeo de equipos e instrumentos.

Es importante evaluar las opciones de adquisición, algunos equipos se pueden alquilar o se puede subcontratar el servicio, pero de todas formas es importante entrenar el personal para su uso e interpretación de los resultados.

5.8. ENTRENAMIENTO DE MULTIHABILIDADES

A todos los empleados debe dárseles entrenamiento en fiabilidad, a distintos niveles.

A un operador se le debe entrenar en el uso de las nueva maquinaria y/o equipos; se les instruirá del por qué se va hacer de la nueva forma y los beneficios que esta conlleva, así como el uso adecuado de las herramientas para hacer el trabajo. En el área administrativa (Superintendente de producción y supervisores de diferentes áreas) el entrenamiento fiabilistico deberá enfocarse a técnicas de análisis fiabilisticos, tales como: HAZOP, AMEF, árbol de fallas e interpretación de los mismos así como la toma de decisiones.

La persona que está encargada de toma de decisiones debe tener conocimiento suficiente de las distintas áreas de mantenimiento. Los supervisores (mandos medios) deberán ser capacitados para que identifiquen las áreas que necesiten mejoras, así para que tomen una actitud proactiva con respecto a las mismas.

5.9. TRANSICIÓN DE UN AMBIENTE CORRECTIVO A AMBIENTE PREVENTIVO/PREDICTIVO

Ya con la infraestructura apropiada, el cauce normal de la operación debería ser que los órdenes de trabajo de mantenimiento correctivo empiecen a disminuir

mientras que se incrementan los órdenes de trabajo de mantenimiento preventivo y predictivo.

En esta parte es fundamental contar con la retroalimentación del control fiabilístico y un apoyo de la gerencia para organizar charlas al personal donde se les expliquen las metas que se persiguen y como las alcanzaremos, esto es crítico, ya que en las primeras fases de la implementación de un programa fiabilístico es necesario hacer concesiones de tiempo y presupuesto, ya que para contar con todo el equipo en condiciones apropiadas para llenar los nuevos estándares será necesario programar paros de los mismos, así mismo se puede observar incrementos puntuales en los costos de reparación mientras los programas de mantenimiento preventivo y predictivo empiezan a dar resultados.

Esta parte es de la más complicada ya que tiene mucho que ver con la actitud del personal y la gerencia. Esto hace más importante el énfasis en las partes de control y retroalimentación para que exista información (evidencia cuantificable), sobre la cual se puedan sustentar los cambios.

5.10. DESCRIPCIÓN GENERAL DE PROCESO DE MANTENIMIENTO EN SETRAM:

El gerente de mantenimiento está a la cabeza de las decisiones y es quien se encarga de revisar la información general y tomar decisiones a partir de los datos entregados por el sistema de administración de información.

El jefe de patio es quien está encargado de hacer seguimiento continuo al proceso y quien vela por la normal ejecución del mantenimiento a diario.

SETRAM cuenta con un personal técnico compuesto 16 individuos distribuidos por áreas de la siguiente manera 3 técnicos carroceros, 4 técnicos eléctricos, y 8 técnicos mecánicos y un administrador del sistema informático.

El organigrama del departamento de mantenimiento podría esquematizarse como se muestra en la siguiente figura:

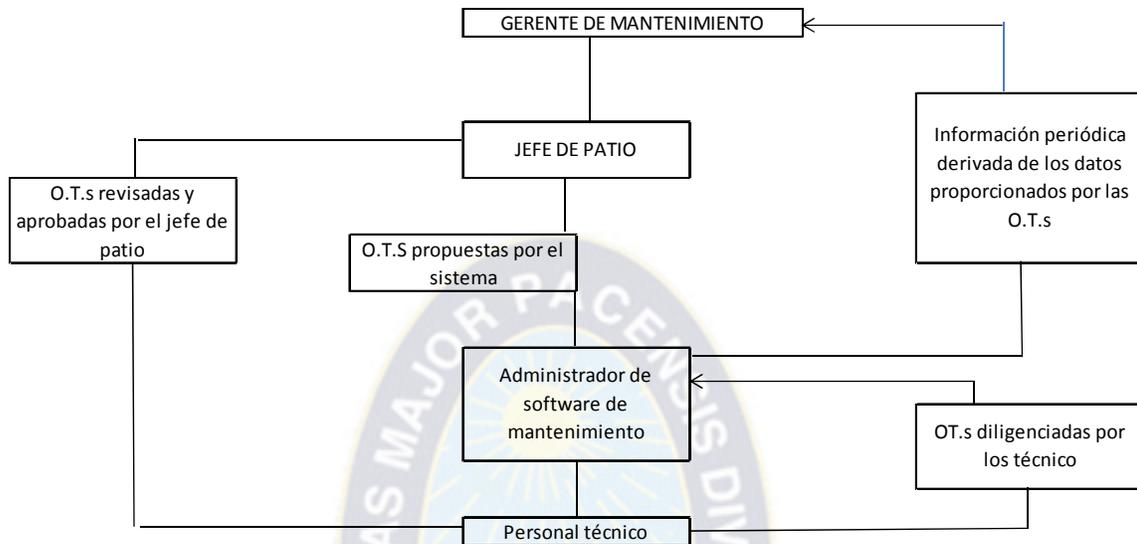


FIG. 21 Propuesta organigrama de mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

Diariamente el administrador del sistema imprime las O.T.s y las entrega al jefe de patio quien las revisa y corrige si es necesario y luego entrega al personal correspondiente. Este cumple con las labores que se le indican y diligencia la orden de trabajo indicando en ella todas las anotaciones y datos que considere importantes y luego entrega las O.T.s al administrador de software quien se encarga de tomar información y computarla en el sistema. Posteriormente valiéndose en dicha información se levantan informes que se presentan periódicamente al gerente de mantenimiento para que este pueda tomar decisiones.

Los horarios de operación de los buses son determinados por el departamento de operaciones, quien se encarga de programar las entradas y salidas del patio de los equipos, garantizando un determinado de horas fuera de servicio en las que el área de mantenimiento puede realizar sus actividades.



The logo of Universitas Major Pacensis Divi Andreae is a circular emblem. It features a sun with rays at the top, a mountain range in the middle, and a green banner at the bottom with a blue cross and a central emblem. The text "UNIVERSITAS MAJOR PACENSIS DIVI ANDREAE" is written around the perimeter of the circle.

CAPÍTULO VI

CAPÍTULO VI ANÁLISIS RCM

6.1. INTRODUCCIÓN

El paso más importante para la implantación de RCM, es el análisis de los modos y efectos de falla que consiste en un análisis metódico de como una maquina puede fallar y esta falla cómo puede afectar a la producción, seguridad e imagen.

El primer paso que el RCM plantea es el describir funciones:

6.2 DESCRIPCIÓN DE FUNCIONES

Dentro de esta etapa del proceso de análisis del RCM, se definen las funciones del sistema que deben preservarse, por lo tanto es realmente importante definir una lista completa de todas las funciones que realiza, ya que la ausencia de una implicaría la omisión de una tarea de mantenimiento necesaria para su conservación, las etapas posteriores constituyen una fuente de información necesaria para identificar las funciones del sistema de freno neumático.

La descripción de una función define las expectativas de desempeño, y dentro de esta se puede incluir propiedades físicas, rendimiento operativo y/o requisitos de tiempo.

A continuación listamos algunas funciones del sistema de freno neumático.

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN BUS PUMA KATARI	SISTEMA
	COMPRESOR DE AIRE
	EQUIPO
	BUS BA-005
FUNCIÓN	
Comprime el aire existente en la atmósfera a presión de operación de 8 bar.	
Permitir el mínimo paso de aceite al aire comprimido.	
Disipar el calor producido al refrigerante del motor	
Convertir el torque entregado por el motor en movimiento alternativo.	

Tabla: 7 Funciones del Sistema de Freno Neumático

Fuente: Elaboración propia

Al final de este capítulo se mostrara hoja de información completa.

6.3. FALLAS FUNCIONALES

Las fallas funcionales describen las diversas formas en que un sistema o subsistema puede incumplir con el desempeño esperado. La pérdida de una función puede ser parcial o total. Una clara identificación de las fallas funcionales permite clasificar dentro de un nivel importancia, dado a que estas pueden causar un impacto mayor o menor sobre la organización.

En la tabla 10 se muestra la forma como quedan registradas las funciones y Fallas funcionales del sistema de freno neumático, en la columna 1, se registra la identificación numérica de las funciones del sistema.

En la columna 2 se documenta la identificación numérica de las fallas funcionales del Sistema.

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN BUS PUMA KATARI.	SISTEMA	
	VALVULA DE CUATRO VÍAS	
	EQUIPO	
	BUS BA-019	
FUNCIÓN		FALLAS FUNCIONALES
Entregar a los 3 circuitos (21,22 y 24) 8 bar de presión.		No entrega a 8 bar a los tres circuitos.
Cerrar el circuito alimentado si se presenta falla en este caso (presión < 4,5 bar.)		No cierra el circuito alimentado, descargando a los demás circuitos.
Alimentar los circuitos restantes a 8 bar, cuando se presente falla en uno de los circuitos (presión <4,5 bar)		Alimentar los circuitos restantes con baja presión por perdida de aire en el circuito de falla.

Tabla: 8 RCM II Función y Falla Funcional

Fuente: Elaboración propia

6.4. MODOS DE FALLA

El AMEF es una herramienta que ayuda a identificar y determinar las falla potenciales en cada uno de los componentes del sistema. Los modos de fallas son las razones que dan origen a las fallas funcionales, es decir, lo que hace que el equipo o componente no realice la función deseada. Cada falla funcional puede ser originada por más de un modo de falla de los equipos existentes.

Las consecuencias de la falla son las que ejercen la mayor influencia para que se encuentre a mejor manera de evitarla o prevenirlas. La falla de un activo físico puede impactar a la organización de la siguiente manera:

- Poniendo en riesgo la vida o la integridad de las personas (consecuencias de seguridad)
- Violando cualquier norma medioambiental conocida (consecuencias de medio ambiente)
- Disminuyendo o anulando la capacidad productiva de los equipos (consecuencias operacionales)

- Aumentando los costos de reparación de los equipos (consecuencias no operacionales)

En la tabla 11 se muestra el formato de registro del análisis de modo y efectos de falla del sistema de freno neumático.

ELEMENTO	FUNCIÓN	Descrip. Falla funcional	Modo de la falla (Causa de la falla)
COMPRESORA DE AIRE	Comprime el aire existente en la atmósfera a presión de operación 8 bar.	El aceite pasa del compresor al sistema de frenado	Contaminación por aceite.
Valvula reguladora de presión	Regula el aire proveniente del compresor a máx.. 8.1 bar.	Aire escapa por la válvula de seguridad.	Obstrucción a la entrada de aire 4.
Valvula de 4 vías.	Entrega aire a los 3 circuitos (21,22 y 24) 8 bar de presión.	El compresor esta dando a la bomba, pero la presión en el manómetro sube muy despacio.	Obstrucción del embolo central queda parcialmente cerrada.

Tabla: 9 Modos de fallas (Causas de fallas) freno neumático

Fuente: Elaboración propia

6.5. EFECTOS DE FALLAS

Cuando se identifica cada modo de falla, este traerá un efecto, los cuales deben ser registrados, debido a que ayudan a identificar la importancia que tiene cada falla, por consiguiente el valor de definir la acción de mantenimiento.

Notemos que efecto de falla no es lo mismo que consecuencia de falla. Un efecto de falla responde a la pregunta ¿Qué ocurre?, mientras que la consecuencia de falla responde la pregunta ¿Qué importancia tiene? Ejemplo.

ELEMENTO	FUNCIÓN	Descrip. Falla funcional	Modo de la falla (Causa de la falla)	Descripción Efectos (Que sucede cuando falla)
Filtro secador	Eliminar el contenido de humedad que se encuentra en aire comprimido.	Durante el frenado escapa aire del cilindro de freno.	Material microscópico desgastado	El manguito (7) del pistón, permeable.
Cámara de freno tristop.	Accionar el vástago cuando no hay presión en 12.	El basto del cilindro de cámara de freno regresa despacio a su posición inicial.	Diafragma dañado con ruptura.	Grasa sobre las paredes de cilindro solidificada.
Almohadillas y forros de freno	Tiene la función de frenar cuando se lo requiere.	La palanca de la leva de freno no regresa a su posición inicial durante el desfrenado.	Material de forro de freno mala calidad	Los órganos mecánicos del freno se mueven muy apretadamente.
Valvula de escape	Descarga aire de 2 cuando el sistema de freno es estacionamiento es liberado.	Al soltar los frenos el aire sigue escapando por el orificio de descarga D en la parte inferior de la válvula de mando.	Contaminación por aceite.	El anillo obturador esta deteriorado o sucio con polvo.

Tabla: 10 Descripción de efectos falla (¿Qué sucede cuando falla?)

Fuente: Elaboración propia

La evidencia de la falla debe describirse de tal forma que permita a los analistas del RCM decidir si en circunstancias normales, será evidente para los operarios perdidos de función causada por ese modo de falla actuando por sí solo.

Por ejemplo la descripción debe indicar si la falla va acompañada o precedida por aspectos físicos obvios, tales como ruidos fuertes, incendio, humo, fugas de vapor, olores extraños o manchas de líquidos en las ruedas también indicar si la maquina separa como consecuencia de falla.

6.6. CONSECUENCIAS DE FALLA

Definir las consecuencias de falla es responder a la quinta pregunta RCM: ¿De qué manera importa cada falla?

La naturaleza y la gravedad de los efectos de fallas definen las consecuencias de falla, en otras palabras definen la manera y los usuarios de los activos creerán que cada falla es importante. Nótese que los activos de falla que sucede cuando ocurre una falla, mientras que las fallas consecuencias describen y cuanto importa. Las consecuencias son serias entonces se aran esfuerzos considerables para evitar, eliminar o minimizar sus consecuencias.

6.7. HOJA DE INFORMACIÓN SISTEMA DE FRENO NEUMÁTICO BUS PUMA KATARI

El historial de las fallas, la experiencia de operadores y del personal de mantenimiento, y los manuales de fabricantes son una fuente de información importante para determinar las causas de las fallas, y para cada una de ellas es necesario proponer una tarea de mantenimiento.

En anexo 3 se realiza el análisis AMEFC, esto con la ayuda de la tabla N° 1 (Matriz de riesgo), se observa hoja de información del sistema de freno neumático del bus Puma Katari las columnas serán descritas como se mencionó en los acápite precedentes.

6.8. CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS SISTEMA POR CRITICIDAD:

Una determinada las funciones, fallas funcionales, circunstancias (modos de fallas), sus causas y sus consecuencias, es posible calcular la criticidad de los modos de falla, que es:

$$CR = P * G * E$$

Dónde:

- *P* es la probabilidad del modo de falla, esto es el número de veces que ha ocurrido el modo de falla durante el tiempo fijado.
- *G* es el valor de la consecuencia de la falla.
- *E* es la detectibilidad del modo de falla.

Consecuencias	Puntos
Incendio	20
Parada	10
Accidente	10
Fuga	5
Perdida de imagen	5
Inseguridad potencial	3
No importante	1

Tabla: 11 Consecuencias de fallo

Fuente: Principios y fundamentos de Ingeniería en Mantenimiento Dr. Ing. Ramiro Peralta

Detectibilidad	Puntos
Muy alta	1
Alta	5
Baja	8
Muy baja	10

Tabla: 12 Detectibilidad del modo de fallo

Fuente: Principios y fundamentos de Ingeniería en Mantenimiento Dr. Ing. Ramiro Peralta

Elemento	Funciones	Modos de falla		Causas	Consecuencia	E	G	P	Cr
		Fallas funcionales	Circunstancia						
Válvula de 4 vías	Entrega aire a los 3 circuitos (21,22 y 24) 8 bar de presión.	El compresor esta dando a la bomba, pero la presión en el manómetro sube muy despacio.	Cuando se inicia el arranque.	Circuito N° 24 Obstruido	Tornillo regulador M2 aflojado, de modo que ambos depósitos se llenan simultáneamente.	1	5	7	35
Cámara de freno combinada o tristop.	Accionar el vástago cuando hay presión en 11.	El vástago del cilindro de cámara de freno regresa despacio a su posición inicial.	Cuando se pisa el pedal freno.	vástago de cilindro trabada.	Grasa sobre las paredes de cilindro solidificada.	1	5	9	45
Valvula reguladora de presión.	Regula el aire proveniente del compresor a máx. 8.1 bar.	Escapa aire por la válvula de seguridad.	Cuando el bus esta en funcionamiento.	Obstrucción a la entrada de aire 4.	La pequeña válvula de seguridad no cierra.	1	3	1	3
Almohadillas y forros de freno	Tiene la función de frenar cuando se lo requiere.	Calentamiento excesivo de rueda trasera.	Cuando el bus esta en funcionamiento.	Material de forro de freno mala calidad	Canalizado de tambor de rueda.	1	10	5	50
Valvula freno de estacionamiento	Entregar presión de alimentación de 21 y 22 cuando es accionado para liberar el freno de estacionamiento.	No entrega presión de alimentación de circuito 21 y 22.	Cuando es accionado el freno de estacionamiento.	Circuito N° 21 Obstruido	La palanca de freno de estacionamiento no retorna a su posición inicial.	1	5	8	40
válvula freno de servicio	Entregar la presión modulada al sistema de freno trasero	No entrega la presión modulada al freno trasero	Cuando es accionado el freno de estacionamiento.	Circuito N° 22 Obstruido	Frenado defectuoso.	1	3	1	3
válvula distribuidora	Equipar presión de frenado de eje trasero	No entrega aire al eje trasero.	Cuando es accionado el freno de estacionamiento.	Valvula de 4 vías obstruida.	Frenado defectuoso.	1	3	1	3
válvula escape rápido	descargar aire a atmosfera cuando el sistema de freno de estacionamiento es liberado.	No descarga aire a la atmosfera.	Cuando es accionado el sistema de freno.	Circuito N° 2 Obstruido	Fuga de aire en el sistema de freno.	1	5	6	30
válvula solenoide ABS.	permitir el paso de aire alas cámaras de freno mientras el modulo abs no envía ninguna señal.	No libera el aire comprimido a la atmosfera.	Cuando la señal de abs así lo permita.	No recibe señal electrónica desde la ECU.	Chek ABS encendido	1	5	3	15
Cámara de aire sencilla	Retomar el vástago a su posición cuando no hay presión neumática y se libera freno de servicio.	No recibe aire a presión de las válvulas electromecánicas ABS.	Cuando es accionado el sistema de freno.	Valvula ABS defectuoso.	Chek ABS encendido	1	3	2	6
válvula relé	Liberar rápidamente el aire cuando llega la señal de freno estacionamiento	No transfiere aire proveniente del circuito 23 a la válvula de 4 vías.	Cuando no hay señal de freno de estacionamiento.	Circuito neumático N° 24 obstruido.	Frenado defectuoso.	1	5	1	5
válvula de 2 vías	Entregar aire a un único circuito con dos alimentadores.	No entrega aire proveniente de la válvula de	Cuando hay señal de freno de estacionamiento.	Circuito N° 12 obstruido.	Valvula de freno de estacionamiento trabada.	1	3	2	6
válvula de retención	Permitir el paso de aire en retorno en línea.	No permitir el paso de aire de retorno.	Cuando es accionado el sistema de freno.	Existe una fuga de aire.	Valvula de 4 vías obstruida.	1	5	1	5

Tabla: 13 Criticidad de Elementos Sistema de Freno Neumatico.

Fuente: Elaboracion propia

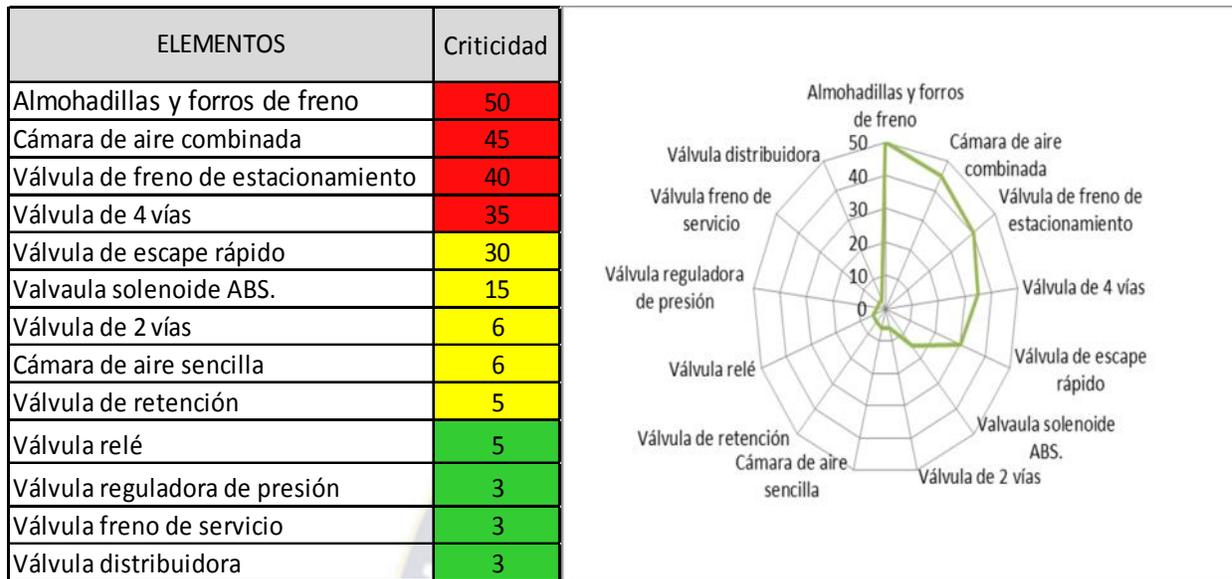


Figura: 22 Criticidad de Elementos Sistema de Freno Neumatico.
Fuente: Elaboracion propia

Con este análisis de criticidad se consigue tener un listado de los elementos con un parámetro de criticidad (Cr) asociado y se podrá realizar un plan de mantenimiento personalizado a cada uno de dicho elemento.

6.9. CONSOLIDACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO:

Luego de haber evaluado todos los modos y efectos de fallas de los elementos constitutivos del sistema se procedió a consolidar el plan de mantenimiento con las tareas propuestas siguiendo el diagrama lógico de decisiones de RCM de acuerdo a lo anterior en las tablas 9 y 10 se presentan las tareas a realizar, las frecuencias y recursos necesarios.

PLAN DE MANTENIMIENTO PARA SISTEMA DE FRENO NEUMÁTICO PARA BUSES PUMA KATARI			
Cód.. De tarea	DESCRIPCIÓN DE TAREA	FRECUENCIA	RECURSOS
T1	Antes de iniciar la marcha el operador de verificar que no se escuchen fugas de aire por la válvula de freno de estacionamiento.	Diario	Operador
T2	Al liberar el freno de estacionamiento el operador debe verificar que a plena carga (10 bar), el tiempo de liberación del freno de estacionamiento no debe superar a los 2 segundos.	Diario	Operador
T3	Verificar los códigos de falla de ABS antes de iniciar la marcha	Diario	Operador
T4	Tomar el tiempo de carga del sistema neumático (debe ser menor a 5 minutos).	15,000 km	Técnico Mecánico
T5	Verificar la presión de descarga de la válvula reguladora en el manómetro del habitáculo del operador.	15,000 km	Técnico Mecánico y llave pistola.
T6	Verificar la presencia de aceite en el filtro secador.	15,000 km	Técnico Mecánico y llave para filtros
T7	Verificar el estado de los fuelles neumáticos, amortiguadora y soporte de amortiguadores funcionamiento reglaje de válvula niveladora.	15,000 km	Técnico Mecánico.
T8	Cambiar el cartucho de filtro secador.	90,000 km	Técnico mecánico y cartucho secador.
T9	Cambiar juego de reparación en la válvula de 4 vías, y realizar su respectiva calibración.	180,000 km	Técnico Mecánico y juego de reparación y banco neumático
T10	Cambiar el juego de reparación válvula de freno de servicio y hacer su respectiva calibración.	180,000 Km	Técnico Mecánico y juego de reparación y banco neumático
T11	Desmontar el compresor cada 50.000 Km para realizar el des carbonización se debe cambiar el rodamiento y buje del eje cigüeñal, lubricar y armar.	500.000 km	Técnico Mecánico Kit de empaquetadura laminillas, rodamiento, bujes y casquetes
T12	Cambiar juego de reparación de la válvula relé y calibración en banco neumático.	500.000 Km	Técnico Mecánico y juego de reparación y banco neumático
T13	Cambiar juego de relación de la válvula distribuidora y calibración de banco neumático.	500.000 Km	Técnico Mecánico y juego de reparación y banco neumático
T18	Cambiar conjunto de reparación de cámara de freno sencilla.	500.000 Km	Técnico Mecánico y juego de reparación y banco neumático
T19	Cambiar conjunto de reparación de cámara de freno combinada.	500.000 Km	Técnico Mecánico y juego de reparación y banco neumático
T20	Calibrar válvula de 4 vías en banco neumático antes de cada cambio según presión de apertura y cierre (6,8/4,5 bar) en el orden 21, 22, 23 y 24.	Cada cambio	Técnico Mecánico banco Neumático
T21	Cada vez que se requiera desmontar o realizar cualquier trabajo en la válvula distribuidora esta debe ser calibrada nuevamente en banco neumático.	Cada cambio	Técnico Mecánico banco Neumático
T22	Verificar en la válvula sensible a la carga la presión en 2 para las diferentes cargas en 41 y 42 en banco cada vez que se requiera ser montada.	Cada cambio	Técnico Mecánico banco Neumático
T23	Antes de iniciar la marcha el operador debe verificar que no se escuchen fugas de aire por la válvula de freno de estacionamiento.	Diario	Operador
T24	Antes de iniciar la marcha el operador debe liberar y accionar la palanca de freno de estacionamiento para asegurar el correcto anclaje y retorno.	Diario	Operador
T25	Al liberar el freno de estacionamiento el operador debe verificar que a plena carga (8 bar), el tiempo de liberación del freno de estacionamiento no debe superar en los 2 segundos.	Diario	Operador
T26	Verificar códigos de falla de ABS antes de iniciar la marcha.	Diario	Operador

Tabla: 14 Plan de mantenimiento para Sistema de Freno Neumático para Buses.

Fuente: Teoría y práctica del mantenimiento industrial de Francisco Javier.

Cód. De tarea	DESCRIPCIÓN DE TAREA	FRECUENCIA	RECURSOS
T27	Tomar el tiempo de carga del sistema neumático (Debe ser menor a 8 min.) en caso de ser mayor el tiempo debe realizar, prueba de paso de aceite a la salida.	15,000 Km	Operador
T28			
T29	Verificar la presión de descarga de la válvula reguladora en el manómetro del habitáculo del operador.	15,000 Km	Operador
T30	Verificar la presencia de aceite en el filtro secador.	15,000 Km	Técnico Mecánico y juego de reparación.
T31	Cambiar el cartucho del filtro secador.	90,000 Km	Técnico Mecánico y juego de reparación.
T32	Cambiar juego de relación en la válvula de 4 vías y calibración.	180,000 Km	Técnico Mecánico y juego de reparación.
T33	Cambiar juego de reparación de válvula relé y calibración.	180,000 Km	Técnico Mecánico y juego de reparación.
T34	Cambiar juego de reparación de válvula ALB y calibración en banco neumático.	500,000 Km	Técnico Mecánico y juego de reparación.
T35	Cambiar tapón, embolo y anillo de 2 vías.	500,000 km	Técnico Mecánico y juego de reparación.
T36	Cambiar conjunto de reparación de válvula de descarga rápida.	500,000 km	Técnico Mecánico y juego de reparación.
T37	Cambiar conjunto de reparación de cámara de freno sencilla.	500,000 km	Técnico Mecánico y juego de reparación.
T38	Realizar el cambio completo de compresor cada 500, 000Km.	500,000 km	Técnico Mecánico, compresor nuevo
T39	Verificar la presión de la válvula sensible a la carga en 2 para las diferentes cargas en 41 y 42 en banco cada vez que se requiera ser montada.	Cada cambio	Técnico Mecánico, banco neumático.

Tabla: 15 Plan de mantenimiento para Sistema de Freno Neumático para Buses.

Fuente: Teoría y práctica del mantenimiento industrial de Francisco Javier.

Luego de la implementación de RCM en el sistema de freno neumático y tomando datos de información de recorrido de los buses se verifica la disponibilidad de los buses BA-005 Y BA-013 en el año 2015.

Se pretende alcanzar es este caso una disponibilidad de suministro ligeramente superior, o igual 99,5% a partir de tener un stock y repuestos de producción.

(también podría aumentarse esta disponibilidad por medio de mejorar el proceso de mantenimiento, intentando disminuir la tasa de fallos o de forma más fácil modificando los tiempos de puesta al fallo, quizás con el aumento de personal destinado a reparación, mantenimientos que se lograría realizar).

➤ **Ejemplo de cálculo de disponibilidad Bus BA-005 Año 2015.**

Se tiene una distribución de fallos de una flota de transporte público que se registraron 10 fallas como ser:

FALLAS
Reten de palier dañado
Falta de lubricación en chicharra mecánica
Baja presión de estacionamiento
frenado desigual
Circuito de neumático obstruido/perdida
Frenos desregulados
Tambor de freno con forma oval
Canalizado de tambor
Ajustador de freno dañado
Frenos después de aplicarlos se calientan

Se registró 1 falla de las 10 mencionadas sobre las horas recorridas (3941 Hrs. Y 3259 Hrs.) Se pide obtener el periodo de revisión para que el nivel de confianza sea de 0,9%.

Nota: suponer distribución exponencial.

Solución:

$$\lambda = \frac{n}{N \cdot \Delta t}$$

Dónde:

= Tasa de fallo

n_i = n° de fallas durante el intervalo t_i, t_{i+1}

N_i = n° de supervivientes al principio del intervalo de tiempo t_i, t_{i+1}

$t = t_{i+1} - t_i$ = intervalo de tiempo considerado

$$\Delta(t) = (3941 + 1 - 3259) = 683 \text{ Hrs.}$$

$$\lambda = \frac{1}{10 * 683}$$

$$\lambda = 1.464 * 10^{-04}$$

$$\lambda = 0.000146 \left(\frac{\text{fallos}}{\text{horas}} \right)$$

- ¿Cuál es la fiabilidad para 1000 Hrs. de operación? Recomendado por manual.

$$R(t) = e^{-\lambda * t}$$

$$R(t) = e^{-0.000146 * 1000}$$

$$R(t) = 0.864 = 86,41\%$$

- ¿Cuál es el tiempo medio entre fallas MTBF?

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

$$MTBF = \frac{1}{0.000146}$$

$$MTBF = 6849 \text{ Hrs.}$$

- ¿Cuál es el tiempo de revisión para que el nivel de confianza sea 0,9%?

Sabemos que

$$R(t) = e^{-\lambda * t}$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad \text{pero} \quad \lambda = \frac{1}{MTBF}$$

$$R(t) = e^{-\frac{t}{MTBF}}$$

$$t = -MTBF * \ln 0,9$$

$$t = -6849 * \ln 0,9$$

$$t = 721.6 \text{ Hrs}$$

¿Cuál es tiempo medio reparación MTTR? Para 1 fallas registradas, días parados 1.

$$\text{T tiempo invertido reparacion} = 1 * 2 = 2 \text{ Hrs.}$$

$$MTTR = \frac{\sum \text{T tiempo invertido reparacion}}{n^{\circ} \text{ de averias}}$$

$$MTTR = \frac{2 \text{ Hrs.}}{1}$$

$$MTTR = 2 \text{ Hrs.}$$

- ¿Cuál será la disponibilidad del equipo en el año 2015?

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

$$D = \frac{6849}{(6849 + 2)}$$

$$D = 0.999$$

DISPONIBILIDAD DEL: 99.99%

➤ **Ejemplo de cálculo de disponibilidad Bus BA-013 Año 2015.**

Se tiene una distribución de fallos de una flota de transporte público y se registraron 10 fallas como ser:

FALLAS
Reten de palier dañado
Falta de lubricación en chicharra mecánica
Baja presión de estacionamiento
frenado desigual
Circuito de neumático obstruido/perdida
Frenos desregulados
Tambor de freno con forma oval
Canalizado de tambor
Ajustador de freno dañado
Frenos después de aplicarlos se calientan

Se registró 1 falla de las 10 mencionadas sobre las horas recorridas (2194 Hrs. Y 1450 Hrs.) Se pide obtener el periodo de revisión para que el nivel de confianza sea de 0,9 %.

Nota: suponer distribución exponencial.

Solución:
$$\lambda = \frac{n}{N \cdot \Delta t}$$

Dónde:

= Tasa de fallo

n_i = n° de fallas durante el intervalo t_i, t_{i+1}

N_i = n° de supervivientes al principio del intervalo de tiempo t_i, t_{i+1}

$t = t_{i+1} - t_i$ = intervalo de tiempo considerado

$$\Delta(t) = (2194 + 1 - 1450) = 745 \text{ Hrs.}$$

$$\lambda = \frac{1}{10 \cdot 745}$$

$$\lambda = 1.342 \cdot 10^{-04}$$

$$\lambda = 0.000134 \left(\frac{\text{fallo}}{\text{hora}} \right)$$

- ¿Cuál es su fiabilidad para 1000 Hrs. de operación? Recomendado por manual.

$$R(t) = e^{-\lambda \cdot t}$$

$$R(t) = e^{-0.000134 \cdot 1000}$$

$$R(t) = 0.874 = 87,4\%$$

- ¿Cuál es el tiempo medio entre fallas MTBF?

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

$$MTBF = \frac{1}{0.000134}$$

$$MTBF = 7462 \text{ Hrs.}$$

- ¿Cuál es el periodo de revisión para que el nivel de confianza sea 0,9%?
Sabemos que.

$$R(t) = e^{-\lambda * t}$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

Pero

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

$$R(t) = e^{-\frac{t}{MTBF}}$$

$$t = -MTBF * \ln 0,9$$

$$t = -7462 * \ln 0,9$$

$$t = 786.2 \text{ Hrs.}$$

- ¿Cuál es tiempo medio reparación (MTTR)? Para 1 fallos que se registran, días parados 1.

$$\text{Tiempo invertido reparacion} = 1 * 2 = 2 \text{ Hrs.}$$

$$MTTR = \frac{\sum \text{Tiempo invertido reparacion}}{n^{\circ} \text{ de averias}}$$

$$MTTR = \frac{2 \text{ Hrs.}}{1}$$

$$MTTR = 2 \text{ Hrs.}$$

- ¿Cuál será la disponibilidad del equipo en el año 2015?

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

$$D = \frac{7462}{(7462 + 2)}$$

$$D = 0,996$$

DISPONIBILIDAD DEL: 99,6%

Al construir un modelo matemático de un fenómeno real, siempre es necesario hacer ciertas suposiciones que simplifican el modelo para hacerlo manejable matemáticamente, por esta razón es muy comun en la práctica suponer que ciertos componentes o sistemas se distribuyen exponencialmente, lo cual quiere decir que no se deterioran con el tiempo, por ejemplo: si se tiene un equipo que ha estado en servicio un determinado tiempo, se asume “que sigue siendo tan bueno como un nuevo” con relación a la cantidad de tiempo que le falta para fallar.

Disponibilidad por Bus						
Disp. %	AÑO 2014			AÑO 2015		
	Bus BA-005	Bus BA-013	Bus BA-019	Bus BA-005	Bus BA-013	Bus BA-019
	87.61	71.82	98.66	99.99	99.61	97.77

INDICADORES DE CONFIABILIDAD El antes y después con RCM Aplicado en Sistema de Freno Neumático			
ANTES 2014		DESPUÉS 2015	
BUS BA-013	BUS BA-005	BUS BA-013	BUS BA-005
= 0,000473	= 0,000367	= 0,000134	= 0,000146
$R_{(t)} = 62,31\%$	$R_{(t)} = 69,28\%$	$R_{(t)} = 87,4\%$	$R_{(t)} = 86,41\%$
MTBF = 2114 Hrs.	MTBF = 2724 Hrs.	MTBF = 7462 Hrs.	MTBF = 6849 Hrs.
MTTR = 827 Hrs.	MTTR = 384 Hrs.	MTTR = 2 Hrs.	MTTR = 2 Hrs.
DISP. = 71,8%	DISP = 87,6%	DISP. = 99,6%	DISP. = 99,99%

Como se observa en el año 2014 hubo una indisponibilidad de los Buses (BA-005, BA-013) esto debido a que hubo falencias de repuestos, daños en el sistema de freno, suspensión, refrigeración embrague entre otros.

The logo of Universidad Mayor Pacensis Divi Andree is a circular emblem. It features a sun with rays at the top, a mountain range in the middle, and a green landscape with a blue cross at the bottom. The text "UNIVERSITAS MAJOR PACENSIS DIVI ANDREE" is written around the perimeter of the circle.

CAPÍTULO VII

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

A partir del trabajo realizado en SETRAM se logró llegar a las siguientes conclusiones:

- Con la ayuda de herramientas de análisis propuestas en la teoría RCM se ha logrado diseñar un plan maestro de mantenimiento para los buses Puma Katari.
- Se logró determinar por medio del análisis AMEF realizado a los Buses, el número de prioridad de riesgo NPR de cada uno de sus componentes, por medio de este detectar los subsistemas más críticos.
- Subsistemas como el de frenos, suspensión y dirección demostraron ser los más críticos pero también se pudieron determinar las medidas preventivas necesarias para aminorar el desgaste y evitar las potenciales fallas, lo cual es el objetivo de mantenimiento preventivo.
- Se llevó a cabo un análisis de los diferentes indicadores de gestión dando como resultado una serie de medidas cuantitativas correspondiente a la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad de la flota en general. Dichos datos servirán como un punto de comparación para el futuro análisis y comparación con el punto anterior a la aplicación del plan de mantenimiento propuesto.
- Siguiendo los indicadores encontrados del RCM, se distribuyeron las actividades en un calendario anual, buscando la menor cantidad de

postergaciones o anticipaciones de las tareas y rutinas, con el fin de optimizar el tiempo.

- Debido a los cambios culturales que con lleva el RCM, es de esperar que durante su implementación se tengan varios obstáculos, así que se debe estar preparado para situaciones como la siguientes:
 - ❖ Gerencia con temor al cambio de costumbres de mantenimiento, por lo regular debido al desconocimiento.
 - ❖ No existe espíritu de innovación tanto en las labores de mantenimiento como de operaciones, se piense que se sigue haciendo bien las cosas, pues el manejo acostumbrado es diferente.
 - ❖ Selección inadecuada de equipos y herramientas o mala utilización de los mismos.
 - ❖ Falta de claridad conceptual en cuanto a los tres parámetros básicos del mantenimiento: confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.
 - ❖ La falta de disponibilidad por parte del personal en registrar la información de forma organizada y correcta.
 - ❖ La necesidad de contratar personal nuevo o capacitar el existente en nuevas técnicas informáticas.
- El resultado final de implementar las correcciones que proponen las metodologías adecuadamente, será una gestión de mantenimiento satisfactoria tanto para la empresa como para los usuarios y en general para la comunidad, cumpliendo con las necesidades y requerimientos deseados.

7.2. RECOMENDACIONES

- El uso del RCM requiere hacer ciertas modificaciones en el área gerencial ya que se trata de una innovación que requiere crear nuevas áreas competitivas, puesto que para la administración y gestión eficiente del proceso que se requiere implementar tecnologías informáticas y medios computacionales con el fin de automatizar tanto como sea posible el proceso y de dar manejo controlado reduciendo el riesgo de error, y de esta manera mejorando gestión de mantenimiento.
- Por medio de la metodología que propone la teoría de RCM, es posible identificar las políticas de mantenimiento útiles para garantizar el cumplimiento de los estándares requeridos por los procesos del departamento de operaciones. Dicha metodología consiste en la revisión sistemática de las funciones que conforman un proceso determinado, sus entradas y salidas, los modos en los que puedan dejar de cumplirse tales funciones las causas y consecuencias de las fallas funcionales, y en últimas, las actividades de mantenimiento óptimas para cada situación (correctivo, preventivo etc.) en función de los requerimientos del departamento de operaciones.
- Se recomienda que una vez estudiado los factores de falla se debe continuar con la selección de tareas de mantenimiento, lo cual se realiza tomando en cuenta las posibles consecuencias producidas por cada modo de falla a través de un proceso estructurado de preguntas contenidas en un árbol lógico de decisiones.
- La administración de SETRAM debe desarrollar nuevas formas fortalecer y renovar las bases de conocimiento organizacional, orientado a crear competencias claves como son la gestión de nuevos proyectos y filosofías de mantenimiento.
- En función de la confiabilidad, varias capacitaciones tendrán que hacerse ya que si el personal técnico y administrativo no conoce bien

sus tareas no sabrán como ejecutarlas. El entrenamiento debe ser puesto en manos tan expertas como sea posible para que el conocimiento sea llevado al personal adecuadamente.

- El RCM suele ser parte fundamental de las organizaciones que basan su éxito en el mejoramiento continuo de su personal, llegando a hacer una herramienta de gran ayuda en el proceso de gestión y evaluación de tareas, actividades dentro de la organización.



BIBLIOGRAFÍA



BIBLIOGRAFÍA

- (1). Doc. Ramiro Peralta Uría, “Principios y fundamentos de Ingeniería de Mantenimiento” Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Ingeniería, La Paz Bolivia, 2002.
- (2). Lozano Conejero, Antonio, “Confiabilidad, teoría y práctica”, Eudeba Editorial, Buenos Aires 1969.
- (3). Moubray, John., “Reliability Centered Maintenance”, Industrial Press, New York, 1997.
- (4). Perez, Carlos Mario, “El Camino Hacia el RCM-Mantenimiento Centrado en la confiabilidad”, SOPORTE & CIA. LTDA., 1997.
- (5). Pascual J., Rodrigo “Mantención de Maquinaria”, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad Mayor de San Andrés, 2004.
- (6). King Long Buses (2013) Manual de Operation, China, Xiamen King Long United Automotive Industry CO., Ltd.
- (7). Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la ingeniería, Valdivia, 1997.

GLOSARIO

Contexto operacional: Donde y como está el equipo o sistema desarrollando su función.

Capacidad inicial: Es el nivel de operación que el activo físico o sistema es capaz de lograr en el momento que entra en servicio.

Falla: Es cuando un sistema cesa su función para el cual fue diseñado.

Fallas funcionales: Incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado.

Falla Múltiple: Un evento que ocurre si una función protegida falla mientras su dispositivo o sistema protector se encuentra en estado de falla.

Falla oculta: Un modo de falla cuyo efecto no es evidente para el personal de operación bajo circunstancias normales.

Función: Lo que el usuario desea que realice el equipo o sistema.

Función primaria: Es la función que constituye la razón principal por la que el activo físico o sistema es adquirido por el usuario.

Función Secundaria: las funciones que un activo físico o sistema tiene que cumplir, parte de su función primaria, así como aquella necesita cumplir con los movimientos regulados.

Modos de falla (Causa de falla): es un evento único que causa una falla funcional.

Consecuencias de falla: Es la importancia que se le da al efecto producido por el modo de falla o una falla múltiple.

Consecuencias operacionales: Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta adversamente la producción, capacidad, calidad del producto o servicio.

Consecuencias no operacionales: Una categorías de consecuencias de fallas que afecta adversamente la seguridad, el ambiente o las operaciones y que solo requiere reparación o reemplazo.

Efectos de falla: Lo que pasa si ocurre la falla

Falla evidente: Es un modo de falla cuyos efectos se tornan evidentes para el personal de operaciones bajo circunstancias normales.

Mantenimiento correctivo: Son las actividades que se realizan al equipo con la finalidad de restablecer la capacidad de operación, después de que ha fallado.

Mantenimiento Proactivo: Es una filosofía dirigida fundamentalmente a la detección y corrección de las causas que generan el desgaste que conducen a la falla de la maquinaria.

Mantenimiento preventivo: Consiste en una serie de tareas planeadas preventivas que se llevan a cabo para contrarrestar las causas conocidas de fallas potenciales de dichas funciones.

Análisis de criticidad: Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos en funcionamiento de su impacto global. Con el fin de facilitar la toma de decisiones.

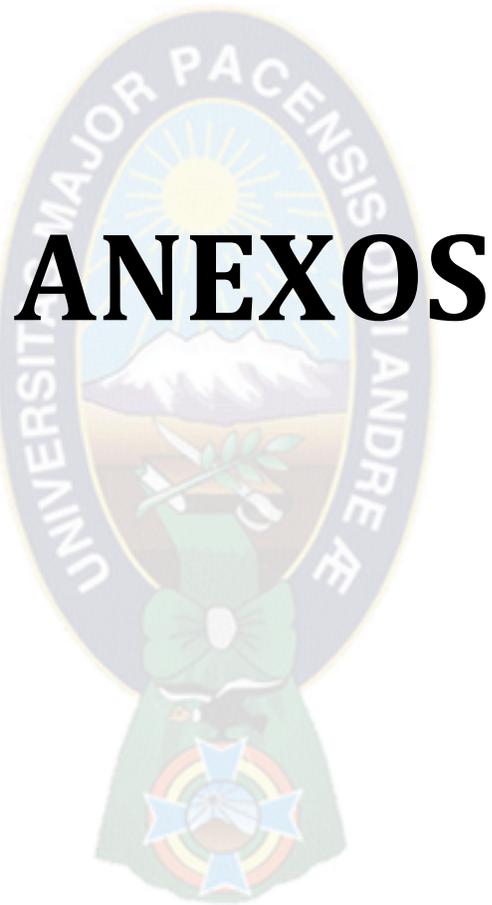
Causa: Es medio por el cual un elemento en particular del proyecto o proceso resulta en un modo de falla.

Confiabilidad: Se define como la probabilidad de que un equipo o sistema opere sin falla por un determinado periodo de tiempo, bajo unas condiciones de operación previamente establecidas.

Disponibilidad: Indicador de eficiencia de mantenimiento, que expresa la relación entre el tiempo planeado de producción (TPP) y el tiempo de paradas no programadas (TPNP).

Mantenimiento Centro en la confiabilidad: es la filosofía de mantenimiento desarrollada para la industria aeronáutica, reforzar la confiabilidad de las empresas.

Plan de mantenimiento: el PM es un conjunto de acciones a ejecutar (Actividades de mantenimiento preventivo, no correctivo ni de oportunidad) con cierta periodicidad hasta un año para anticiparse a salidas de equipo.



ANEXO: 1
LISTA GENERAL DE INSUMOS Y REPUESTOS PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y
CORRECTIVO

1. Listado de insumos y repuestos

- Los repuestos partes e insumos deben ser originales de acuerdo al modelo y marca del auto BUS.
- Para la provisión de repuestos e insumos para el mantenimiento preventivo y correctivo, el ofertante debe expresar claramente en los formularios del servicio la marca y los insumos y repuestos a utilizar en el mantenimiento correspondiente los cuales deberán ser compatibles con los componentes de los buses.
- EL taller debe contar con un mínimo de repuestos, partes e insumos y tener relaciones comerciales con importadores de repuestos e insumos, las cuales garanticen la provisión de repuestos en un plazo máximo de 10 calendario caso contrario se aplicara el régimen sancionatoria. Sin embargo en caso de que los repuestos sean especiales el supervisor de SETRAM con la autorización del responsable de mantenimiento podrá extender el plazo siempre y cuando el contratista establezca una fecha no mayor a 15 días adicionales en caso de no incumplir se sancionara.
- Como parte de los servicios accesorios al suministro de los insumos y repuestos el contratista debe almacenar todos los repuestos e insumos sustituirlos hasta que se coordine el procedimiento para su eliminación o desecho.

LISTADO GENERAL DE INSUMOS Y REPUESTOS PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO					
ITEM	SECCION	PARTE	DESCRIPCION	UNIDAD	PRECIO UNITARIO BOLIVIANOS
MP-1	FRENOS	FRENOS	LIQUIDO DE FRENO Características: DOT 3 de Servicio Pesado	LITRO	75,17
MP-2	FRENOS	FRENOS	FORRO DE FRENO Características Material: BP-73 Dimensiones Forro de Freno delantero: Ancho: 149.5 mm Largo: 205 mm Espesor: 15 mm Forro de Freno trasero: Ancho: 218 mm Largo: 210 mm Espesor: 15 mm	JUEGO	1.600,00
MP-3	MOTOR	MOTOR	ACEITE DE MOTOR Especificaciones ACEA E7/E5/E3/B4/B3/A2	LITRO	73,90

**LISTADO GENERAL DE INSUMOS Y REPUESTOS
PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

ÍTEM	SECCIÓN	PARTE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO BOLIVIANOS
MP-5	MOTOR	MOTOR	<p>LÍQUIDO REFRIGERANTE</p> <p>Características:</p> <p>Color : Azul</p> <p>Gravedad específica:</p> <p>A 60°F o 15.56 °C : 1.072</p> <p>A 68°F o 20°C : 1.070</p> <p>Densidad: 8.944 lb/gal o 1.072 Kg/L</p> <p>pH : 10.0</p> <p>Fluido base: Ethylene Glycol</p> <p>Premezclado: 50/50</p> <p>Punto de ebullición a 226 °F o 107.78 °C</p> <p>Protege el congelamiento : -35.8 °F (-37.68 °C)</p> <p>Atiende o excede los requerimientos:</p> <p>Nivel bajo de Silicato:</p> <p>TMC RP-329</p> <p>TMC RP-338</p> <p>ASTM D-6211</p> <p>ASTM D-5216</p> <p>Aprobaciones:</p> <p>Cummins® CES 14603</p> <p>Cummins SB 3666132</p> <p>Caterpillar®</p>	LITRO	68,00
MP-6	CHASIS	CHASIS	<p>GRASA</p> <p>Características</p> <p>Grado NLGI: 2</p> <p>Tipo de espesante: Complejo de litio</p> <p>Punto de goteo, °C: Método de prueba ASTM D-2265 : 280</p> <p>Viscosidad, cSt a 40 °C: Método de prueba ASTM D-445: 220</p> <p>Test 4-bolas carga soldadura, Kg : Método de prueba ASTM D-2596 : 315</p> <p>Test 4-bolas Desgaste, W de huella, mm: Método de prueba ASTM D-2266</p> <p>Penetración trabajada 60x a 25 °C: Método de prueba ASTM D-217: 280</p> <p>Carga Timkem, lbs. Método de prueba ASTM D-2509 : 40</p> <p>Caída de presión a 100 h, Kpa (psig): Método de prueba ASTM D-942 : 35(5)</p> <p>Protección a la corrosión : Método de prueba ASTM D-1743, pasa</p> <p>Previsión a la herrumbre, agua destilada, IP 220-Mod.: 0,0</p> <p>Corrosión lamina de cobre : ASTM D-4048</p> <p>Color: Azul</p>	KILOGRAMO	74,50

**LISTADO GENERAL DE INSUMOS Y REPUESTOS
PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

ÍTEM	SECCIÓN	PARTE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO
MP-12	MOTOR	MOTOR	FILTRO DE REFRIGERANTE Características: FW2074 o su equivalente Dimensiones: Diámetro externo: 93 mm Alto: 137mm Rosca: 11/16-16UN-2B Cantidad de empaque: 12 Aprobaciones de fabricantes: Cumple OEM de CUMMINS	Pcs.	250,00
MP-13	MOTOR	MOTOR	CORREA DEL ALTERNADOR Características: 8PK1800 o su equivalente Dimensiones: Largo: 1800 mm Ancho: 28 mm 8 hileras 7 canales	Pcs.	619,44
MP-14	MOTOR	MOTOR	CORREA DE VENTILACIÓN 1 Características: AV 22X1720, o su equivalente Dimensiones: Ancho: 22mm Largo: 1720mm Alto: 11mm Tipo: Correa dentada trapezoidal	Pcs.	190,00
MP-15	MOTOR	MOTOR	CORREA DE VENTILACION 2 (CORREA DE RODAMIENTO LOCO - VENTILADOR) Características: AV 22X1160, o su equivalente Dimensiones: Ancho: 22mm Largo: 1160mm Alto: 11mm Tipo: Correa dentada trapezoidal	Pcs.	210,00
MP-16	SUSPENSIÓN	SUSPENSIÓN	BUJE AXIAL DE SUSPENSIÓN Características: Material: teflón o su equivalente Dimensiones: Diámetro externo: 93 mm Diámetro interno: 41 mm Espesor: 4mm	JUEGO	105,00
MP-17	TRANSMISIÓN	TRANSMISIÓN	ACEITE DE DIFERENCIAL Características Grado SAE: 80W-90 Gravedad específica, Método de prueba ASTM D- 4452 : 0,8953 Viscosidad cSt a 40°C, Método de prueba ASTM D- 445 : 144,5 cSt a 40 °C 14,8 cSt a 100 °C Viscosidad Brookfield a -25 °C, Método de prueba ASTM D 2983 : 123800 Índice de viscosidad, Método de	LITRO	73,00

**LISTADO GENERAL DE INSUMOS Y REPUESTOS
PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

ÍTEM	SECCIÓN	PARTE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO BOLIVIANOS
MP-7	MOTOR	MOTOR	FILTRO DE ACEITE DE MOTOR Características Número de modelo: LF9009 / 3401544 o su equivalente Dimensiones Diámetro exterior: 118.87 mm (4.68 in) Altura: 301.76 mm (11.88 in) Tipo de rosca: 2 1/4-12 UNS-2B	Pcs.	699,69
MP-8	MOTOR	MOTOR	FILTRO DE COMBUSTIBLE Características Número de modelo: FF5488 / 3959612 o su equivalente Dimensiones Diámetro exterior: 93.47 mm (3.68 in) Altura: 175.77 mm (6.92 in) Tipo de rosca: 7/8-14 UNF-2B 3 micras de porosidad	Pcs.	453,58
MP-9	MOTOR	MOTOR	FILTRO DECANTADOR DE COMBUSTIBLE Características: Número de modelo: FS19816 / 16400GT301 o su equivalente Separador agua y combustible Características: Eficiencia: > 97.5um Eficiencia de separación de agua 95.2 % (ISO 4020) Material: Papel filtro Estructura: Cartucho Porosidad: 10 micras Dimensiones: Altura: 206mm Diámetro externo : 120.5mm Tipo de rosca: 1-14UNS-2B	Pcs.	714,17
MP-10	MOTOR	MOTOR	FILTRO DE AIRE PRIMARIO Características: P119370 o su equivalente Peso aproximado: 1.52Kg Dimensiones: Diámetro externo: 7.64" (194 mm) Diámetro interno: 6.04" (153 mm) Alto: 15.00" (381 mm)	Pcs.	2.662,62
MP-11	MOTOR	MOTOR	FILTRO DE AIRE SECUNDARIO Características: P182041 o su equivalente Dimensiones: Diámetro externo: 12.09" (307 mm) Diámetro interno: 7.73" (196 mm) Altura: 16.00" (406 mm) Diámetro del Perno de sujeción: 0.90" (23 mm) Diámetro de la junta interna: 8.12" (206 mm)	Pcs.	1.301,52

**LISTADO GENERAL DE INSUMOS Y REPUESTOS PARA
MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

ÍTEM	SECCIÓN	PARTE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO
MC-67	EJE TRASERO	EJE TRASERO	CONJUNTO DE SELLO DE RUEDA TRASERA (POR RUEDA) Características: Compatible o equivalente para Eje trasero Marca: Dong Feng - DANA Modelo: 2400005-ZQ34W (INCLUYE EL CAMBIO Y LA INSTALACIÓN)	Pcs.	1.127,52
MC-68	EJE TRASERO	EJE TRASERO	RODAMIENTO INTERNO DE RUEDA Características: Compatible o equivalente para Eje trasero Marca: Dong Feng - DANA Modelo: 2400005-ZQ34W (INCLUYE EL CAMBIO Y LA INSTALACIÓN)	Pcs.	835,20
MC-69	EJE TRASERO	EJE TRASERO	RODAMIENTO EXTERNO. DE RUEDA Características: Compatible o equivalente para Eje trasero Marca: Dong Feng - DANA Modelo: 2400005-ZQ34W (INCLUYE EL CAMBIO Y LA INSTALACIÓN)	Pcs.	661,20
MC-70	EJE TRASERO	EJE TRASERO	CONJUNTO DE CAMARA DERECHA (PULMÓN DE FRENO) Características: Compatible o equivalente para Eje trasero Marca: Dong Feng - DANA Modelo: 2400005-ZQ34W (INCLUYE EL CAMBIO Y LA INSTALACIÓN)	Pcs.	1.531,20
MC-71	EJE TRASERO	EJE TRASERO	CONJUNTO DE CAMARA IZQUIERDA (PULMÓN DE FRENO) Características: Compatible o equivalente para Eje delantero Marca: Dong Feng- DANA Modelo: 2400005-ZQ34W (INCLUYE EL CAMBIO Y LA INSTALACIÓN)	Pcs.	1.531,20

**LISTADO GENERAL DE INSUMOS Y REPUESTOS PARA
MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

ÍTEM	SECCIÓN	PARTE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO EN BOLIVIANOS
			Características: Compatible o equivalente para Eje trasero Marca: Dong Feng- DANA Modelo: 2400005-ZQ34W (INCLUYE EL CAMBIO Y LA INSTALACIÓN)		
MC-73	EJE TRASERO	EJE TRASERO	TUERCA DE RUEDA TRASERA Características: Compatible o equivalente para Eje trasero Marca: Dong Feng - DANA Modelo: 2400005-ZQ34W (INCLUYE EL CAMBIO Y LA INSTALACIÓN)	Pcs.	48,86
MC-74	EJE TRASERO	EJE TRASERO	PERNO DE RUEDA TRASERA Características: Compatible o equivalente para Eje trasero Marca: Dong Feng - DANA Modelo: 2400005-ZQ34W (INCLUYE EL CAMBIO Y LA INSTALACIÓN)	Pcs.	66,40
MC-75	EJE TRASERO	EJE TRASERO	PALIER RUEDA TRASERA IZQUIERDA Características: Compatible o equivalente para Eje trasero Marca: Dong Feng - DANA Modelo: 2400005-ZQ34W (INCLUYE EL CAMBIO Y LA INSTALACIÓN)	Pcs.	1.634,80
MC-76	EJE TRASERO	EJE TRASERO	PALIER RUEDA TRASERA DERECHA Características: Compatible o equivalente para Eje trasero Marca: Dong Feng - DANA Modelo: 2400005-ZQ34W (INCLUYE EL CAMBIO Y LA INSTALACIÓN)	Pcs.	2.122,00
MC-77	EJE TRASERO	JUEGO PLANETARIOS Y SATÉLITES	KIT COMPLETO DE SATÉLITES Y PLANETARIOS Características: Compatible o equivalente para Eje trasero Marca: Dong Feng - DANA Modelo: 2400005-ZQ34W (INCLUYE EL CAMBIO Y LA	Pcs.	5.436,00

**LISTADO GENERAL DE INSUMOS Y REPUESTOS PARA
MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

ÍTEM	SECCIÓN	PARTE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO
			Marca: King Long Modelo: XMQ6110ACW3 Año: 2014 (INCLUYE EL CAMBIO Y LA INSTALACIÓN)		
MC-139	FRENOS	FRENOS	REGULADOR DE FRENO TRASEROS Características: Compatible o equivalente para Autobús Marca: King Long Modelo: XMQ6110ACW3 Año: 2014 (INCLUYE EL CAMBIO Y LA INSTALACIÓN)	Pcs.	2.192,40
MC-140	FRENOS	FRENOS	REGULADOR DE FRENO TRASEROS Características: Compatible o equivalente para Autobús Marca: King Long Modelo: XMQ6110ACW3 Año: 2014 (INCLUYE EL CAMBIO Y LA INSTALACIÓN)	Pcs.	2.192,40
MC-141	FRENOS	FRENOS	TAMBOR DE FRENOS DELANTEROS Características: Compatible o equivalente para Autobús Marca: King Long Modelo: XMQ6110ACW3 Año: 2014 (INCLUYE EL CAMBIO Y LA INSTALACIÓN)	Pcs.	1.670,40
MC-142	FRENOS	FRENOS	MODULO ABS Características: ABS-E 4S/4M Voltaje: 24 V Compatible o equivalente con Modulo Marca: WABCO Modelo: 446 004 320 0 (INCLUYE EL CAMBIO Y LA INSTALACIÓN)	Pcs.	3.236,40

**LISTADO GENERAL DE INSUMOS Y REPUESTOS PARA
MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

ÍTEM	SECCIÓN	PARTE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO EN BOLIVIANOS
			Año: 2014 (INCLUYE EL CAMBIO Y LA INSTALACIÓN)		
MC-134	FRENOS	FRENOS	ZAPATA DE FRENO TRASERO IZQUIERDO (CONJUNTO DE BASE Y FORRO) Características: Compatible o equivalente para Autobús Marca: King Long Modelo: XMQ6110ACW3 Año: 2014 (INCLUYE EL CAMBIO Y LA INSTALACIÓN)	Pcs.	1.287,60
MC-135	FRENOS	FRENOS	TAMBOR DE FRENO TRASERO Características: Compatible o equivalente para Autobús Marca: King Long Modelo: XMQ6110ACW3 Año: 2014 (INCLUYE EL CAMBIO Y LA INSTALACIÓN)	Pcs.	2.784,00
MC-136	FRENOS	FRENOS	ABS SENSOR Características: Compatible o equivalente para Autobús Marca: King Long Modelo: XMQ6110ACW3 Año: 2014 (INCLUYE EL CAMBIO Y LA INSTALACIÓN)	Pcs.	1.225,45
MC-137	FRENOS	FRENOS	REGULADOR DE FRENO DELANTEROS IZQUIERDO Características: Compatible o equivalente para Autobús Marca: King Long Modelo: XMQ6110ACW3 Año: 2014 (INCLUYE EL CAMBIO Y LA INSTALACIÓN)	Pcs.	2.053,20

REPORTE DIARIO PATIO CHASQUIPAMPA

ÍTEM	FECHA	BUS	RECORRIDO (Km)	RECORRIDO (Hrs.)	TIPO DE SERVICIO	LUGAR	HORARIO	DESCRIPCIÓN DE TRABAJO
1	25-jun	BA-013	11770	818	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 10.000 Km Golpeteo del tren delantero. Los frenos chillan mucho. Fuga de lubricante palier trasero Izquierdo.
2	22-sep	BA-022	30681	2217	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 30000 Km Cambio balatas Cambio liq refrigerante Rev. del brazo pitman Rev. Tren delantero Rev. sist eléctrico y elevador Ajuste Gral. pernos, soportes etc.
3	22-sep	BA-002	36498	2473	Programado	Servicentro	Normal	Frenado del bus. Rev. De los pulmon de aire trasero y limpieza de (s) de freno TRASERO. Rev. sist eléctrico y elevador Ajuste Gral. pernos, soportes etc.
4	22-sep	BA-036	38282		Programado	Patio	Normal	Solución de ruido de caja
5	22-sep	BA-030	37729		Programado	Patio	Normal	Rev. De Convergencia del bus. Desarmado del tren delantero. Ajuste del muñón derecho y alineado.
6	23-sep	BA-052	31982	2591	Programado	Servicentro	Normal	Cambio balatas Cambio liq refrigerante Rev. del brazo pitman Rev. Tren delantero Rev. sist eléctrico y elevador Ajuste Gral. pernos, soportes etc.
7	24-sep	BA-003	32959		Programado	Servicentro	Normal	Fuga de aire del tren delantero.
8	24-sep	BA-051	31623	2480	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 30000 Km Cambio balatas Cambio liq refrigerante Rev. del brazo pitman Rev. Tren delantero Rev. sist eléctrico y elevador Ajuste Gral. pernos, soportes etc.
9	25-sep	BA-034	30056	2472	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 30000 Km Cambio balatas Cambio liq refrigerante Rev. del brazo pitman Rev. Tren delantero Rev. sist eléctrico y elevador Ajuste Gral. pernos, soportes etc.
10	25-sep	BA-007	31033	2479	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 30000 Km Cambio balatas Cambio liq refrigerante Rev. del brazo pitman Rev. Tren delantero Rev. sist eléctrico y elevador Ajuste Gral. pernos, soportes etc.

11	25-sep	BA-008	11770	2345	Programado	Servicentro	Normal	Embrague duro (APOYO DE DESPLAZADOR SECO.)
12	26-sep	BA-024	30956	2380	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 30000 Km Cambio balatas Cambio liq refrigerante Rev. del brazo pitman Rev. Tren delantero Rev. sist eléctrico y elevador Ajuste Gal. pernos, soportes etc.
13	27-sep	BA-014	28554	2327	Programado	Servicentro	Normal	Fuga de agua de radiador
14	29-sep	BA-031	31405	2526	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 30000 Km Cambio balatas Cambio liq refrigerante Rev. del brazo pitman Rev. Tren delantero Rev. sist eléctrico y elevador Ajuste Gal. pernos, soportes etc.
15	30-sep	BA-044	40194	2621	Programado	Servicentro	Normal	Convergencia del bus, muñón de la caja de dirección alineado
16	01-oct.	BA-023	30100	2441	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 30000 Km Cambio balatas Cambio liq refrigerante Rev. del brazo pitman Rev. Tren delantero Rev. sist eléctrico y elevador Ajuste Gal. pernos, soportes etc.
17	03-oct.	BA-001	30751	2467	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 30000 Km Cambio balatas Cambio liq refrigerante Rev. del brazo pitman Rev. Tren delantero Rev. sist eléctrico y elevador Ajuste Gal. pernos, soportes etc.
18	06-oct.	BA-017	41244	2715	Programado	Servicentro	Normal	Cambio de filtros de combustible, y filtro de aire. Verif. De fugas de agua de radiador y tensión de correa. Rev. del brazo pitman Cambio de bujes del tren delantero. Rev. sist eléctrico y elevador
19	07-oct.	BA-015	42360	2721	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 40.000 Km Cambio de filtros de combustible, y filtro de aire. Verif. De fugas de agua de radiador y tensión de correa. Rev. del brazo pitman Cambio de bujes del tren delantero. Rev. sist eléctrico y elevador Ajuste Gal. pernos, soportes etc.
20	07-oct.	BA-044	41291	2729	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 40.000 Km Cambio de filtros de combustible, y filtro de aire. Verif. De fugas de agua de radiador y tensión de correa. Rev. del brazo pitman Cambio de bujes del tren delantero. Rev. sist eléctrico y elevador Ajuste Gal. pernos, soportes etc.

21	08-oct.	BA-021	33615	2153	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 30000 Km Cambio balatas Cambio liq refrigerante Rev. del brazo pitman Rev. Tren delantero Rev. sist eléctrico y elevador Ajuste Gral. pernos, soportes etc.
22	09-oct.	BA-006	42776	2632	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 40.000 Km Cambio de filtros de combustible, y filtro de aire. Verif. De fugas de agua de radiador y tensión de correa. Rev. del brazo pitman Cambio de bujes del tren delantero.
23	10-oct.	BA-050	46135	2832	Programado	Servicentro	Normal	Cambio de filtros de combustible, y filtro de aire. Verif. De fugas de agua de radiador y tensión de correa. Rev. del brazo pitman Cambio de bujes del tren delantero. Rev. sist eléctrico y elevador
24	10-oct.	BA-038	43169	2722	Programado	Servicentro	Normal	Cambio de filtros de combustible, y filtro de aire. Verif. De fugas de agua de radiador y tensión de correa. Rev. del brazo pitman Cambio de bujes del tren delantero. Rev. sist eléctrico y elevador
25	10-oct.	BA-007	33187	2141	Programado	Patio	Normal	Embrague suelto suave
26	10-oct.	BA-026	35519	2230	Programado	Patio	Normal	Reten de macero y palier reventado DERECHO.
27	11-oct.	BA-045	46413	2813	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 40.000 Km Cambio de filtros de combustible, y filtro de aire. Verif. De fugas de agua de radiador y tensión de correa. Rev. del brazo pitman Cambio de bujes del tren delantero.
28	13-oct.	BA-042	46514	2841	Programado	Servicentro	Normal	Cambio de filtros de combustible, y filtro de aire. Verif. De fugas de agua de radiador y tensión de correa. Rev. del brazo pitman Cambio de bujes del tren delantero. Rev. sist eléctrico y elevador
29	06-Nov.	BA-013	12127	1450	Programado	Servicentro	Normal	BUS FUERA DE SERVICIO POR LAS SIGUIENTES CAUSAS: Golpeteo del tren delantero. Los frenos chillan mucho. Fuga de lubricante palier trasero Izquierdo.
30	14-oct.	BA-015	43173	2735	Programado	Inca Llojeta	Normal	10 micras.

REPORTE DIARIO PATIO CHASQUIPAMPA

TEM	FECHA	BUS	RECORRIDO (Km)	RECORRIDO (Hrs.)	TIPO DE SERVICIO	LUGAR	HORARIO	DESCRIPCION DE TRABAJO
1	24-oct.	BA-014	30707	2503	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 30000 Km Cambio balatas Cambio liq refrigerante Rev del brazo pitman Rev. Tren delantero Rev sist electrico y elevador Ajuste gral pernos, soportes etc.
2	24-oct.	BA-041	33516	2112	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 30000 Km Cambio balatas Cambio liq refrigerante Rev del brazo pitman Rev. Tren delantero Rev sist electrico y elevador Ajuste gral pernos, soportes etc.
3	25-oct.	BA-051	33647		Programado	Servicentro	Normal	Manguera de ducto de agua rota.
4	27-oct.	BA-035	47582	2870	Programado	Servicentro	Normal	Revisión de sistema de freno No tiene boton de retarder. No tiene boton de parqueo.
5	27-oct.	BA-016	42237	2669	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 40.000 Km Cambio de filtros de combustible, y filtro de aire. Verif. De fugas de agua de radiador y tension de correa. Rev. del brazo pitman Cambio de bujes del tren delantero. Rev sist electrico y elevador Ajuste gral pernos, soportes etc.
6	27-oct.	BA-018	46698		Programado	Servicentro	Normal	Ruido del tren delantero
7	28-oct.	BA-049	45280	2793	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 40.000 Km Cambio de filtros de combustible, y filtro de aire. Fuga de aceite de corona Rev. del brazo pitman Cambio de bujes del tren delantero. Rev sist electrico y elevador Ajuste gral pernos, soportes etc.
8	29-oct.	BA-056	23903	1567	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 20000 km Golpeteo tren delantero Revisión de balatas Revisión y engrase levas de freno Revisión elevador Revisión sist electrico luces ajuste gral de soportes de motor
9	30-oct.	BA-018	46675	3050	Programado	Servicentro	Normal	Ruido en el eje trasero del buss
10	31-oct.	BA-027	37482	2322	Programado	Servicentro	Normal	Chapeado del buss

11	01-Nov.	BA-030	45986	3045	Programado	Servicentro	Normal	Embrague suelto suabe
12	04-Nov.	BA-031	46206	3024	Programado	Servicentro	Normal	Fuga de aceite de palier y macero. Sensor de retarder no funciona. Fuga de aceite hidraulico. Revision sist electrico luces.
13	04-Nov.	BA-035	48387	2922	Programado	Servicentro	Normal	Ajuste de muñon. Golpeteo del tren delantero. Los frenos chillan mucho. Revision sist electrico luces. Ajuste gral de soportes de motor.
14	05-Nov.	BA-029	44959	2826	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 40.000 Km Cambio de filtros de combustible, y filtro de aire. Verif. De fugas de agua de radiador y tension de correa. Rev. del brazo pitman Cambio de bujes del tren delantero.
15	05-Nov.	BA-047	28853		No programado	Inca Llojeta	Normal	Correas dañadas.
16	05-Nov.	BA-044	47867	2904	Programado	Servicentro	Normal	monitoreo de condicion
17	06-Nov.	BA-043	35020	2173	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 30000 Km Cambio balatas Cambio liq refrigerante Rev del brazo pitman Rev. Tren delantero Rev sist electrico y elevador Ajuste gral pernos, soportes etc.
18	10-Nov.	BA-005	29957	1541	Programado	Servicentro	Normal	Ajuste de muñon. Golpeteo del tren delantero. Revisión sist eléctrico luces. Ajuste Gral. de soportes de motor. Fuga de lubricante palier trasero derecho.
19	07-Nov.	BA-057	47561	2920	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 40.000 Km Cambio de filtros de combustible, y filtro de aire. Verif. De fugas de agua de radiador y tension de correa. Rev. del brazo pitman Cambio de bujes del tren delantero. Rev sist electrico y elevador Ajuste gral pernos, soportes etc.
20	07-Nov.	BA-012	46227	2794	Programado	Servicentro	Normal	Cambio de filtros de combustible, y filtro de aire. Verif. De fugas de agua de radiador y tension de correa. Rev. del brazo pitman Cambio de bujes del tren delantero. Rev sist electrico y elevador

21	10-Nov.	BA-047	29957	1894	Programado	Servicentro	Normal	- Limpieza de radiador.
22	11-Nov.	BA-036	46932	2965	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 40.000 Km Cambio de filtros de combustible, y filtro de aire. Verif. De fugas de agua de radiador y tension de correa. Rev. del brazo pitman Cambio de bujes del tren delantero. Rev sist electrico y elevador Ajuste gral pernos, soportes etc.
23	12-Nov.	BA-039	46698	2886	Programado	Servicentro	Normal	Cambio de filtros de combustible, y filtro de aire. Verif. De fugas de agua de radiador y tension de correa. Rev. del brazo pitman Cambio de bujes del tren delantero. Rev sist electrico y elevador Ajuste gral pernos, soportes etc.
24	12-Nov.	BA-020	47210	2911	Programado	Servicentro	Normal	Cambio de filtros de combustible, y filtro de aire. Verif. De fugas de agua de radiador y tension de correa. Rev. del brazo pitman Limpieza de radiador. Rev sist electrico y elevador
25	13-Nov.	BA-025	44771	2808	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 40.000 Km Cambio de filtros de combustible, y filtro de aire. Verif. De fugas de agua de radiador y tension de correa. Rev. del brazo pitman Limpieza de radiador. Rev sist electrico y elevador Ajuste gral pernos, soportes etc.
26	13-Nov.	BA-016	45616	2714	Programado	Servicentro	Normal	revisión de frenos delanteros y traseros y limpieza de radiador
27	14-Nov.	BA-009	45038	2720	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 40.000 Km Cambio de filtros de combustible, y filtro de aire. Verif. De fugas de agua de radiador y tension de correa. Rev. del brazo pitman Limpieza de radiador. Rev sist electrico y elevador Ajuste gral pernos, soportes etc.
28	15-Nov.	BA-059	44164	2678	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 40.000 Km Cambio de filtros de combustible, y filtro de aire. Verif. De fugas de agua de radiador y tension de correa. Rev. del brazo pitman Limpieza de radiador. Rev sist electrico y elevador Ajuste gral pernos, soportes etc.
29	17-Nov.	BA-032	45017	2825	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 40.000 Km Cambio de filtros de combustible, y filtro de aire. Verif. De fugas de agua de radiador y tension de correa. Rev. del brazo pitman Limpieza de radiador. Rev sist electrico y elevador Ajuste gral pernos, soportes etc.
30	17-Nov.	BA-055	44532	2867	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 40.000 Km Cambio de filtros de combustible, y filtro de aire. Verif. De fugas de agua de radiador y tension de correa. Rev. del brazo pitman Limpieza de radiador. Rev sist electrico y elevador Ajuste gral pernos, soportes etc.

REPORTE DIARIO PATIO CHASQUIPAMPA

TEM	FECHA	BUS	RECORRIDO (Km)	RECORRIDO (Hrs.)	TIPO DE SERVICIO	LUGAR	HORARIO	DESCRIPCION DE TRABAJO
1	26-Nov.	BA-044	51786	3167	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 50.000 Km Cambio de filtros de combustible, y de refrigerante. Verif. De fugas de agua de radiador y tension de correa. Rev. del brazo pitman. Rev sist electrico y elevador Ajuste gral pernos, soportes etc.
2	26-Nov.	BA-005	31726	2084	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 30000 Km Cambio balatas Cambio liq refrigerante Rev del brazo pitman Rev. Tren delantero Rev sist electrico y elevador Ajuste gral pernos, soportes etc.
3	27-Nov.	BA-047	33750	2112	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 30000 Km Cambio balatas Cambio liq refrigerante Rev del brazo pitman Rev. Tren delantero Rev sist electrico y elevador Ajuste gral pernos, soportes etc.
4	27-Nov.	BA-031	40228	3236	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 40.000 Km Cambio de filtros de combustible, y filtro de aire. Verif. De fugas de agua de radiador y tension de correa. Rev. del brazo pitman Limpieza de radiador.
5	28-Nov.	BA-025	44523	2822	Programado	Servicentro	Normal	Ruido en el tren delantero
6	29-Nov.	BA-017	53384	3232	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 50.000 Km Cambio de filtros de combustible, y de refrigerante. Verif. De fugas de agua de radiador y tension de correa. Rev. del brazo pitman.
7	29-Nov.	BA-033	15993	1070	Programado	Servicentro	Normal	Problema de frenado del buss
8	01-Dic.	BA-031	40241	3239	Programado	Servicentro	Normal	Ruido en eje delantero
9	01-Dic.	BA-042	55646	3397	Programado	Servicentro	Normal	Cambio de filtros de combustible, y de refrigerante. Verif. De fugas de agua de radiador y tension de correa. Rev. del brazo pitman. Rev sist electrico y elevador
10	01-Dic.	BA-039	50928	3137	Programado	Servicentro	Normal	Reten reventado de rueda trasera lzq. Rev. De feno motor. Rev. De asensor. Rev. De sistema electrico.

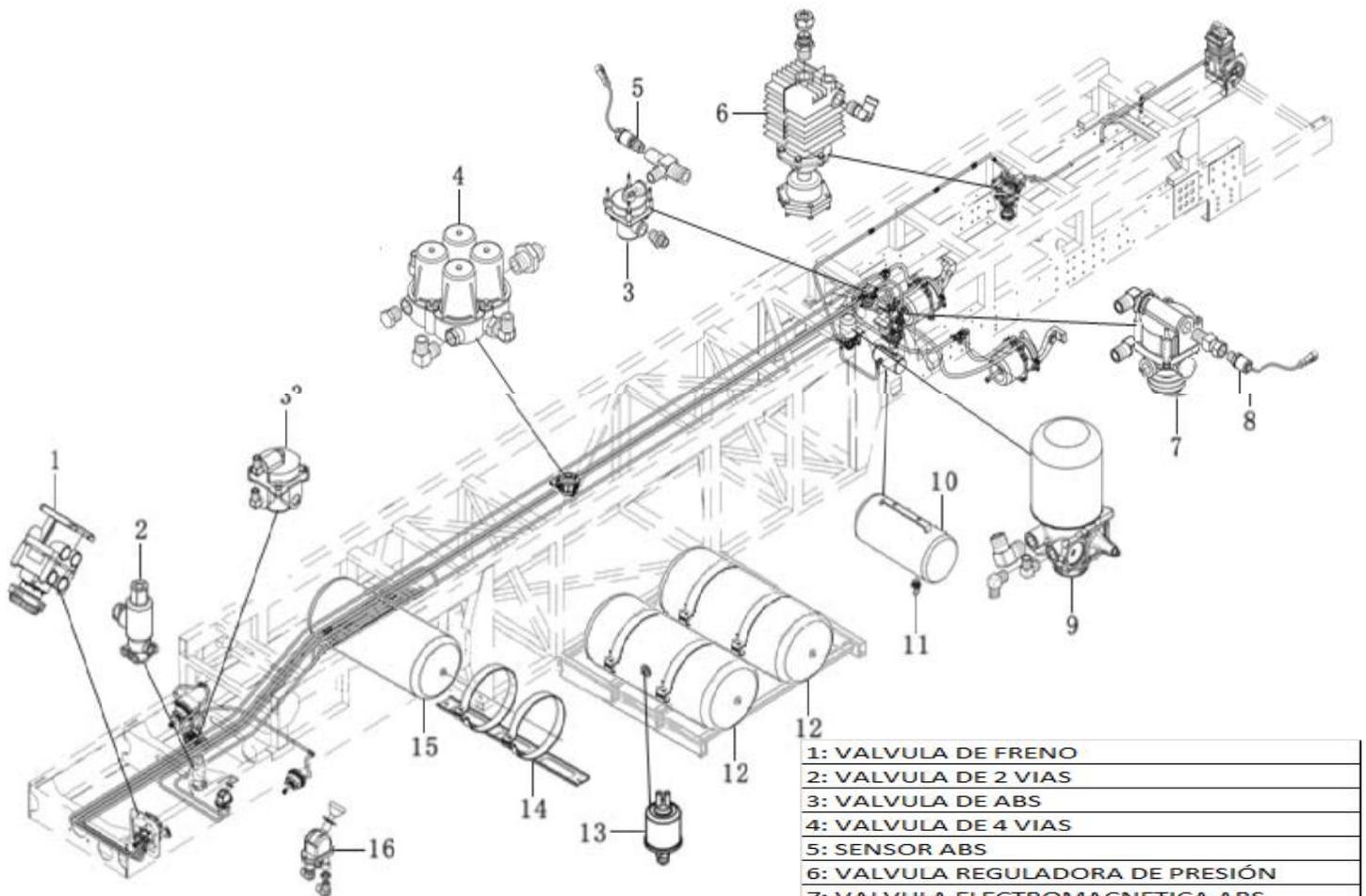
11	02-Dic.	BA-037	43571	3457	Programado	Servicentro	Normal	Cambio de filtros de combustible, y filtro de aire. Verif. De fugas de agua de radiador y tension de correa. Rev. del brazo pitman Fuga de agua de radiador. Rev sist electrico y elevador
12	02-Dic.	BA-004	52417	3261	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 50.000 Km Cambio de filtros de combustible,y de refrigerante. Verif. De fugas de agua de radiador Rev. del brazo pitman. Rev sist electrico y elevador Ajuste gral pernos, soportes etc.
13	03-Dic.	BA-061	55157	3439	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 50.000 Km Cambio de filtros de combustible,y de refrigerante. Verif. De fugas de agua de radiador y tension de correa. Rev. del brazo pitman. Rev sist electrico y elevador Ajuste gral pernos, soportes etc.
14	04-Dic.	BA-008	22802	1431	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 20000 km Golpeteo tren delantero Revision de balatas Revision y engrase levas de freno Revision elevador Revision sist electrico luces
15	04-Dic.	BA-006	53986	3219	Programado	Servicentro	Normal	Cambio de filtros de combustible,y de refrigerante. Verif. De fugas de agua de radiador y tension de correa. Rev. del brazo pitman. Rev sist electrico y elevador
16	05-Dic.	BA-030	53978	3356	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 50.000 Km Cambio de filtros de combustible,y de refrigerante. Verif. De fugas de agua de radiador y tension de correa. Rev. del brazo pitman.
17	05-Dic.	BA-040	44255	3557	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 40.000 Km Cambio de filtros de combustible, y filtro de aire. Verif. De fugas de agua de radiador y tension de correa. Rev. del brazo pitman
18	06-Dic.	BA-022	42170	3084	Programado	Servicentro	Normal	Mantenimiento 40.000 Km Cambio de filtros de combustible, y filtro de aire. Verif. De fugas de agua de radiador y tension de correa. Rev. del brazo pitman Fuga de agua de radiador.

ELEMENTO	COMPRESORA DE AIRE	Valvula reguladora de presión	Valvula de 4 vías.	Valvula distribuidora
Código de funcionamiento	1	2	3	4
FUNCIÓN	Comprime el aire existente en la atmósfera a presión de operación 8 bar.	Regula el aire proveniente del compresor a máx.. 8.1 bar.	Entrega aire a los 3 circuitos (21,22 y 24) 8 bar de presión.	Equipar presión de frenado en 2eje.
Descripción Falla funcional	El aceite pasa del compresor al sistema de frenado	Aire escapa por la válvula de seguridad.	El compresor esta dando a la bomba, pero la presión en el manómetro sube muy despacio.	Al frenar, la presión en el manómetro baja con rapidez.
Modo de la falla (Causa de la falla)	Contaminación por aceite.	Obstrucción a la entrada de aire 4.	Obstrucción del embolo central queda parcialmente cerrada.	Diafragma dañado con ruptura
Descripción Efectos (Que sucede cuando falla)	Aceite acumulado en la parte inferior del infla neumático.	La pequeña válvula de seguridad no cierra.	Tornillo regulador M2 aflojado, de modo que ambos depósitos se llenan simultáneamente.	Reserva de aire insuficiente. Además tornillo regulador M2 demasiado apretado, de modo que se llena solo el deposito auxiliar.
FALLA OCULTA	SI	NO	NO	NO
Riesgo Ambiental	A3	A4	A5	A5
Riesgo Humano	B4	B5	B5	B3
Riesgo de imagen	D3	D4	E5	D4
Criticidad	IMPORTANTE	IMPORTANTE	IMPORTANTE	IMPORTANTE
Tipo de decisión	Monitoreo de condición	Monitoreo de condición	Monitoreo de condición	Monitoreo de condición
Descripción de tarea	Desmontar el tapón 10 en la parte inferior del infla neumático y evacuar el aceite.	Desmontar la válvula y limpiar el asiento.	Ajustar el tornillo M2 para que se llene primero el deposito auxiliar.	Aflojar un tanto el tornillo de regulación M2, para que una presión de 4 a 4,5 atm. Empiece a llenar el deposito adicional.
Frecuencia	10.000 Km.	10.000 Km.	5000 Km.	5000 Km.
Recursos	Técnico mecánico	Técnico mecánico	Técnico mecánico	Técnico mecánico
Tipo de Mantenimiento probable	Mantenimiento correctivo.	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento preventivo

ELEMENTO	Codigo de funcionamiento	FUNCIÓN	Descripción Falla funcional	Modo de la falla (Causa de la falla)	Descripción Efectos (Que sucede cuando falla)	FALLA OCULTA	Riesgo Ambiental	Riesgo Humano	Riesgo de imagen	Criticidad	Tipo de decisión	Descripción de tarea	Frecuencia	Recursos	Tipo de Mantenimiento probable
Valvula de escape	12	Descarga aire de 2 cuando el sistema de freno es estacionamiento es liberado	Al soltar los frenos el aire sigue escapando por el orificio de descarga D en la parte inferior de la válvula de mando.	Contaminación por aceite.	El anillo obturador esta deteriorado o sucio con polvo.	NO	F4	E4	E3	IMPORTANTE	MONITOREO DE CONDICIÓN	Desmontar el plato, limpiarlo y esmerinarlo concéntricamente con la válvula 11.	5000 Km.	Técnico Mecánico	Mantenimiento preventivo
Almohadillas y forros de freno	11	Tiene la función de frenar cuando se lo requiere.	Calentamiento excesivo de rueda trasera.	Material de forro de freno mala calidad	Canalizado de tambor de rueda trasera	NO	E3	D3	E3	IMPORTANTE	MONITOREO DE CONDICIÓN	Verificar el alojamiento de la leva de freno y las zapatas. Limpiar lubricar y reponer las misma en forma debida.	5000 Km.	Técnico Mecánico	Mantenimiento correctivo
Cámara de freno trístop	10	Accionar el vástago cuando no hay presión en 12.	El basto del cilindro de cámara de freno regresa despacio a su posición inicial.	Diafragma dañado con ruptura.	Grasa sobre las paredes de cilindro solidificada.	NO	F4	C4	D3	IMPORTANTE	MONITOREO DE CONDICIÓN	Desmontar la cámara de freno trístop. Y repararlos, lubricarlos con grasa.	5000 Km.	Técnico Mecánico	Mantenimiento correctivo
Filtro secador	9	Eliminar el contenido de humedad que se encuentra en aire comprimido	Durante el frenado escapa aire del cilindro de freno.	Material microscópico desgastado	El manguito (7) del pistón, permeable.	NO	A4	C4	D4	IMPORTANTE	MONITOREO DE CONDICIÓN	Reemplazar el manguito deteriorado.	15.000 Km.	Técnico Mecánico	Mantenimiento correctivo

Anexo: 4

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE FRENO POR AIRE (con ABS)



1:	VALVULA DE FRENO
2:	VALVULA DE 2 VIAS
3:	VALVULA DE ABS
4:	VALVULA DE 4 VIAS
5:	SENSOR ABS
6:	VALVULA REGULADORA DE PRESIÓN
7:	VALVULA ELECTROMACNETICA ABS
8:	VALVULA RELE
9:	FILTRO SECADOR DE AIRE
10:	TANQUE DE AIRE
11:	TAPON DE SEGURIDAD
12:	TANQUE DE AIRE
13:	ELECTRO VALVULA
14:	ARMELLA DE AMARRE
15:	TANQUE DE AIRE
16:	VALVULA DE FRENO ESTACIONAMIENTO

Diagrama esquemático de Sistema de Freno Neumático Bus Puma Katari

