

MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA EL
SISTEMA NEUMÁTICO DE FRENOS Y SUSPENSIÓN EN BUSES
ARTICULADOS MERCEDES BENZ UPA 400 Y O500MA

ANDRÉS GEOVANNY ACOSTA BELTRÁN

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2012

MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA EL
SISTEMA NEUMÁTICO DE FRENOS Y SUSPENSION EN BUSES
ARTICULADOS MERCEDES BENZ UPA 400 Y O500MA

ANDRÉS GEOVANNY ACOSTA BELTRÁN

Monografía de Grado para optar al título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director
GIOVANNI ALBERTO BULLA PARRAGA
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2012

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	14
1. MARCO CONTEXTUAL	15
1.1. RESEÑA DE LA EMPRESA	15
1.2. ORGANIGRAMA ORGANIZACIONAL	16
1.3. TIPOLOGÍA DE LA FLOTA	17
1.4. ESQUEMA DE MANTENIMIENTO	18
1.5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.6. JUSTIFICACIÓN DEL PLAN PROPUESTO	20
1. 7. OBJETIVOS	21
1.7.1. Objetivo General	21
1.7.2. Objetivos específicos	21
2. MARCO CONCEPTUAL	22
2.1. DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO Y MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)	22
2.1.1. RCM Las siete preguntas básicas	23

2.1.2. Funciones y parámetros de funcionamiento	24
2.1.3. Fallas funcionales	25
2.1.4. Modos de Falla	23
2.1.5. Efectos de falla	27
2.1.6. Consecuencias de la falla	27
2.2. SISTEMAS DE FRENO A AIRE	29
2.2.1. Principios físicos	29
2.2.2. Sistemas de actuación en los frenos	31
2.2.3. Componentes del sistema de freno	32
2.2.3.1. Compresor de aire	32
2.2.3.2. Regulador de presión	32
2.2.3.3 .Filtro secador	32
2.2.3.4. Válvula protectora de cuatro circuitos	32
2.2.3.5. Indicador de baja presión	33
2.2.3.6. Depósito de aire comprimido	33
2.2.3.7. Válvula de desaireación	33
2.2.3.8. Válvula de escape rápido	33
2.2.3.9. Válvula de pedal	33
2.2.3.10. Cilindro de membrana	33
2.2.3.11. Cilindro combinado tristop	33

2.2.3.12. Electroválvula (válvula solenoide)	34
2.2.3.13. Válvula solenoide ABS	34
2.2.3.14. Válvula del freno de estacionamiento	35
2.2.3.15. Válvula relé	35
2.2.3.16. Válvula de dos vías	35
2.2.3.17. Válvula distribuidora	36
2.2.3.18. Válvula de retención	36
2.2.3.19. Manómetro	36
2.2.3.20 Válvula sensible a la carga (ALB)	36
2.3. SUSPENSIÓN NEUMÁTICA	36
2.3.1. Componentes del sistema de suspensión neumática	36
2.3.1.1. Válvula niveladora de suspensión neumática	37
2.3.1.2. Fuelle neumático	37
3. ESTRATEGIA METODOLÓGICA	38
3.1. DEFINICIÓN DE FRONTERAS E INTERFACES	38
3.2. CONTEXTO OPERACIONAL	40
3.2.1. Estándares de calidad	40
3.2.2. Condiciones operacionales	40
3.2.3. Lugar de operaciones	41
3.2.4 Modelo de jerarquía de los sistemas de los buses	41

3.3. DEFINICIÓN DE FUNCIONES	42
3.3.1. Funciones UPA400	42
3.3.1. Funciones O500MA	47
3.4. ANÁLISIS FMEA Y DEFINICION DE TAREAS	52
3.4.1. Análisis FMEA y definición de tareas para buses UPA400	54
3.4.2. Análisis FMEA y definición de tareas para buses O500MA	65
3.4.3. Clasificación de elementos del sistema por criticidad	72
3.4.4. Consolidación del plan de mantenimiento	73
3.5. PLAN DE EVALUACIÓN DE PROVEEDOR	76
4. CONCLUSIONES	80
BIBLIOGRAFÍA	82
ANEXOS	85

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Ficha técnica de los buses de Somos K S.A.	17
Tabla 2. Asociados especializados de Somos K S.A	18
Tabla 3. Estadísticas TransMilenio 2012	40
Tabla 4. Características técnicas y funciones componentes UPA400.	42
Tabla 5. Características técnicas y funciones componentes O500MA	48
Tabla 6. Matriz de riesgos	53
Tabla 7. Análisis FMEA y definición de tareas para buses UPA400	54
Tabla 8. Análisis FMEA y definición de tareas para buses O500MA	65
Tabla 9. Plan de mantenimiento para el sistema neumático de frenos y suspensión para buses Mercedes Benz UPA400.	74
Tabla 10. Plan de mantenimiento para el sistema neumático de frenos y suspensión para buses Mercedes Benz O500MA.	75
Tabla 11. Evaluación gestión general de proveedores	77
Tabla 12. Evaluación gestión ambiental de proveedores	78
Tabla 13. Evaluación gestión en de SySO de proveedores	79

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación de la empresa	15
Figura 2. Organigrama de Somos K S.A.	17
Figura 3. Causas de pérdida de kilometraje en porcentaje año 2011	19
Figura 4. Pareto de varadas por sistema en flota UPA400 año 2011	20
Figura 5. Pareto de varadas por sistema en flota O500MA año 2011	20
Figura 6. Diagrama de flujo del RCM	23
Figura 7. Diagrama de decisión proceso RCM	24
Figura 8. Fase de aceleración y frenado de un vehículo	29
Figura 9. Fuerza de accionamiento del cilindro sobre los forros de freno	30
Figura 10. Estructura del circuito de control de ABS	35
Figura 11. Esquema del sistema neumático de frenos y suspensión para buses articulados Mercedes Benz UPA400.	38
Figura 12. Esquema del sistema neumático de frenos y suspensión para buses articulados Mercedes Benz O500MA.	39
Figura 13. Modelo de jerarquía de los sistemas de los buses	41
Figura 14. Equipo de trabajo RCM	53
Figura 15. Criticidad de componentes UPA400	72
Figura 16. Criticidad de componentes O500MA	73
Figura 17. Modelo de gestión integral de proveedores	76

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Diagrama de flujo de mantenimiento preventivo	87
ANEXO B. Diagrama de flujo de mantenimiento correctivo	88

RESUMEN

TITULO: MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA EL SISTEMA NEUMÁTICO DE FRENOS Y SUSPENSIÓN EN BUSES ARTICULADOS MERCEDES BENZ UPA 400 Y O500MA *

AUTOR: ANDRES GEOVANNY ACOSTA BELTRAN **

PALABRAS CLAVES: MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD, FRENOS, SUSPENSIÓN NEUMÁTICA, BUS ARTICULADO, MERCEDES BENZ UPA 400, MERCEDEZ BENZ O500MA

DESCRIPCIÓN O CONTENIDO: La presente monografía es una propuesta de mantenimiento para el sistema de frenos y suspensión de la flota de buses articulados de SOMOS K S.A. El plan de mantenimiento presentado esta soportado en las metodologías del RCM (*Reliability Centered Maintenance*) y FMEA (*Failure mode and effects analysis*), con el fin de minimizar la principal causa de pérdidas económicas por mantenimiento de la compañía y mejorar la confiabilidad de los buses.

Se presenta descripción de: datos operacionales, parámetros de diseño, funciones, modos y efectos de fallo de los componentes del sistema de freno y suspensión, bajo los cuales siguiendo el modelo del diagrama de decisión de John Moubray, se establecieron diferentes tareas de mantenimiento, para eliminar o mitigar las consecuencias de la falla de estos elementos. Dado que la compañía cuenta con un modelo de mantenimiento de *outsourcing* se despliega un modelo de evaluación de proveedores basado en los requisitos de calidad, seguridad y salud ocupacional y protección del medio ambiente para contratar estas tareas.

Como resultado de este estudio, se presenta un consolidado final de 27 y 17 tareas encontradas a realizar en los buses UPA400 y O500MA respectivamente. Adicional a esto se presenta un formato de evaluación integral de proveedores el cual permite evaluar la idoneidad de los mismos.

* Monografía

** Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.
Director: Giovanni Bulla Párraga. Ingeniero Mecánico. Especialista en Gerencia de Proyectos

SUMMARY

TITLE: MODEL RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE FOR AIR BRAKE SYSTEM AND SUSPENSION IN ARTICULATED BUSES AND O500MA UPA400 MERCEDES BENZ *

Author: BELTRAN ACOSTA ANDRES GEOVANNY **

KEYWORDS: RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE, BRAKES, SUSPENSION, ARTICULATED BUS, MERCEDES BENZ UPA400, MERCEDES BENZ O500MA

DESCRIPTION OR CONTENT: This monograph is a maintenance proposal for the braking and suspension systems of the fleet of articulated buses SOMOS K S.A. The maintenance plan submitted is supported in the methodologies of RCM (Reliability Centered Maintenance) and FMEA (Failure mode and effects analysis), in order to minimize the main cause of economic losses for maintenance of the company and improve the reliability of buses.

Description is presented: operational data, design parameters, functions, failure modes and effects of the components of the braking system and suspension, , following the model of the decision diagram of John Moubray, maintenance tasks were established to eliminate or mitigate the consequences of the failure of these elements. As the company has a maintenance outsourcing model, deploys a supplier evaluation model based on the requirements of quality, safety and occupational health and environmental protection to contract these tasks.

As a result of this study, we present a final bound of 27 and 17 found to perform tasks on buses UPA400 and O500MA respectively. In addition to this provides a format of integral assessment of suppliers, which allows evaluating the suitability of them.

* Monograph

** Faculty of Engineering ** Physical-Mechanical. Specializing in Maintenance Management.
Director: Giovanni Bulla Párraga. Mechanical Engineer. Project Management Specialist

INTRODUCCION

El objetivo principal de la presente monografía es consolidar un plan de mantenimiento para el sistema neumático de frenos y suspensión para la flota de buses articulados Mercedes Benz UPA400 y O500MA SOMOS K S.A., con la finalidad de minimizar los eventos de varadas y de no disponibilidad, los cuales para el sistema en estudio representan uno de los puntos más álgidos para la compañía.

Para el desarrollo del plan de mantenimiento se siguió la metodología del RCM la cual incluyó la recolección de datos diseño, operacionales, análisis de modos y efectos de fallo para los elementos del sistema. Más adelante con el apoyo del diagrama lógico de decisiones se establecieron las tareas necesarias para eliminar o mitigar las consecuencias de las fallas. Adicional a lo anterior, en el proyecto se presenta un modelo de evaluación de proveedores con el fin de tener parámetros objetivos para la selección del responsable de ejecutar las tareas propuestas en el plan de mantenimiento.

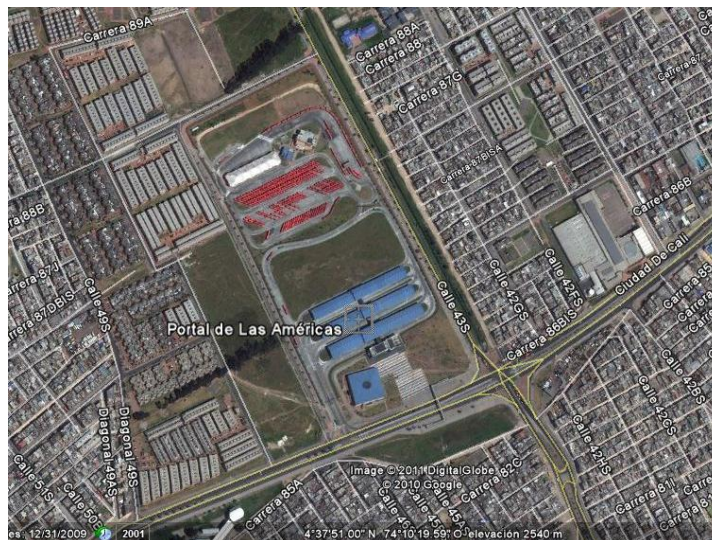
1. MARCO CONTEXTUAL

1.1. RESEÑA DE LA EMPRESA

Somos K S.A. es operador de la fase II del Sistema de transporte público de pasajeros TransMilenio en la ciudad de Bogotá, comenzó operaciones el 3 de enero de 2004 en el Patio de Américas como SI02 S.A., bajo el contrato de concesión número 017 de 2003 otorgado por el ente gestor. La operación del servicio de TransMilenio es realizada por siete operadores troncales SI99 S.A., Express del Futuro S.A., Ciudad Móvil S.A., Metrobús S. A., Transmasivo S.A., Connexión Móvil S.A y Somos K S.A.

La empresa está ubicada en el patio del portal de las Américas en la ciudad de Bogotá donde cuenta con un edificio administrativo, una estación de combustible, un área de lavado, 18 bahías cubiertas para mantenimiento (carrocería, lubricación, plataforma, llantas y pintura), 2 bahías para lavado de chasis, bodegas de repuestos, área de estacionamiento de buses, restaurante y capilla.

Figura 1. Ubicación de la empresa



Fuente: GOOGLE EARTH. Imagen 4°37'51.00" elevación 2540 m. [En línea], Diciembre 2009 [Citado 21 Feb 2012]

Como operador del sistema TransMilenio Somos K S.A. es responsable de la operación y mantenimiento de 158 buses articulados, la administración del patio de las Américas de mantenimiento y estacionamiento junto con el aseo y vigilancia de 9 estaciones de la troncal de las Américas y el portal de este mismo sector. A las empresas operadoras de servicios troncales se les paga en función de los kilómetros recorridos y la tarifa ofertada, de acuerdo con la programación realizada por TransMilenio S.A. El cumplimiento de las condiciones de operación, limpieza y confiabilidad genera estímulos; su incumplimiento genera multas que se aplican a mejorar la supervisión del Sistema.¹

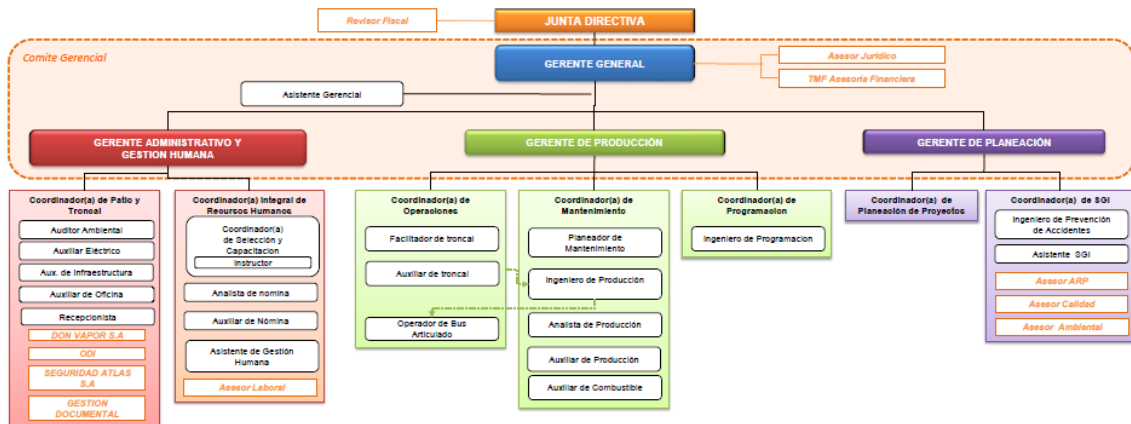
La operación de los buses es en servicios troncales que circulan por corredores exclusivos iniciando y terminando su recorrido en los Portales o Estaciones de Cabecera. Los vehículos sólo se pueden detener a dejar y recoger pasajeros en las estaciones, conforme a una planeación previa y a un riguroso control en tiempo real. En el corredor troncal sólo opera el servicio de transporte masivo TransMilenio, es decir, está prohibida la circulación de vehículos de transporte colectivo.

1.2. ORGANIGRAMA ORGANIZACIONAL

Para dar cumplimiento al contrato con el ente gestor la empresa cuenta con una plantilla administrativa de 42 colaboradores y más de 350 conductores. La plantilla administrativa se encuentra distribuida de la siguiente manera

¹ TRANSMILENIO S.A. Operación [En línea]. Bogotá D.C.[Citado 22 Feb. 2012] Disponible en internet: <http://www.transmilenio.gov.co/WebSite/Contenido.aspx?ID=TransmilenioSA_QuienesSomos_SistemaDeTransporte_Operacion>

Figura 2. Organigrama de Somos K S.A.



Fuente. GERENCIA SOMOS K S.A. Sistema de gestión integral Bogotá. 2011

1.3. TIPOLOGÍA DE LA FLOTA

La flota de buses de Somos K S.A. está compuesta por 158 buses articulados marca Mercedes Benz distribuidos en tres tipologías diferentes: 105 (66%) buses UPA400 (tecnología EURO II), 47 (30%) buses O500MA (Tecnología EURO III) y 6 buses (4%) O500EV (Tecnología Euro V). Como características estándar todos los buses miden 18 metros de largo por 2.60 metros de ancho, cuentan con caja de velocidades automática, suspensión neumática y 4 puertas de servicio de 1.10 metros de ancho ubicadas al lado izquierdo del vehículo.

Tabla 1. Ficha técnica de los buses de Somos K S.A.

DESCRIPCION	O400 UPA (EURO II)	O500MA (EURO III)	O500EV (EURO V)
Motor	MB OM 449 LA mecánico (5 cilindros)	MB OM457 LA electrónico (6 cilindros)	MB OM 457 LA/V electrónico (6 cilindros)
Potencia	320 cv @1900 RPM	360 cv @ 2000 RPM	354 cv @ 1900 RPM
Caja automática	Voith Diwa 2 (3 marchas) – Diwa 3e (4 marchas)	Diwa 3e (4 marchas)	Diwa 5 (4 marchas)
Compresor	Mono-cilíndrico refrigerado por agua	De 2 cilindros refrigerado por agua	De 3 cilindros refrigerado por agua
Capacidad 1er eje	6.500 kg	7.000 kg	7.000 kg
Capacidad 2do eje	10.000 kg	10.000 kg	10.000 kg
Capacidad 3er eje	12.000 kg	12.300 kg	12.300 kg

Fuente. El autor

1.4. ESQUEMA DE MANTENIMIENTO

El esquema de mantenimiento de Somos K S.A. está planteado sobre el modelo de contratación de todas las tareas a asociados especializados los cuales están distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 2. Asociados especializados de Somos K S.A.

ASOCIADO	ESPECIALIDAD
Daimler Colombia	Plataforma (motor y bastidor)
Busscar S.A.	Carrocería
Lavinco S.A.	Aseo
Sumilogística S.A.S.	Latonería, pintura y llantas
Sertec S.A.	Lubricación
Voith turbo	Caja de velocidades

Fuente. El autor

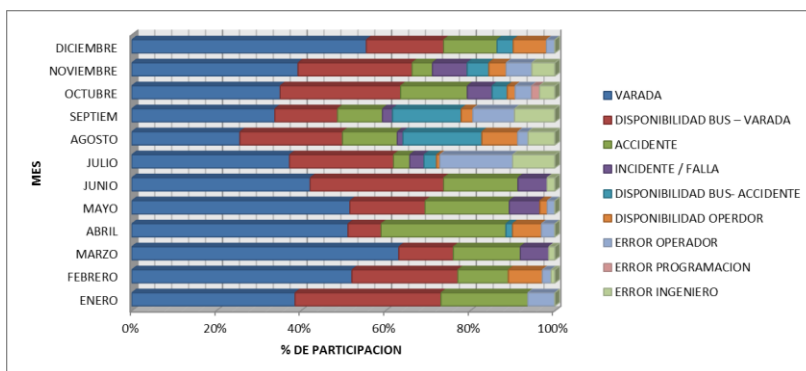
La planeación del mantenimiento de los buses es ejecutada por Somos K S.A. a través del software de mantenimiento Impact X.P. y es entregada a los asociados correspondientes semanalmente, los buses son programados para ingresar en fechas y horarios específicos para la ejecución de las rutinas preventivas, las cuales son supervisadas por los ingenieros de producción quienes son los encargados de validar los trabajos y autorizar cualquier trabajo adicional que se detecte en la rutina. (Ver diagramas de flujo mantenimiento preventivo y correctivo Anexo A y Anexo B).

1.5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Somos K S.A. tiene un vínculo con TransMilenio regido por el contrato público No 017 de 2003, en el cual se establecen todos los requisitos mínimos de operación de buses articulados dentro del sistema TransMilenio. Los ingresos de la compañía dependen del kilometraje comercial recorrido por los buses según la programación entregada por la entidad contratante, a su vez en el contrato existen cláusulas que penalizan el pago por eventos de incumplimiento como varadas en

la troncal y la no prestación de los servicios programados. Durante el 2011 la principal causa de pérdida de kilometraje corresponde a eventos de buses varados en la troncal (Figura 3.), adicional a esto la segunda causa corresponde a la no disponibilidad de buses para retomar los servicios después de un evento de varada ya que Somos K S.A. no cuenta con flota de reserva, lo cual ocasiona pérdidas económicas (multas), daño a la imagen del sistema y detrimento en la calidad del servicio prestado.

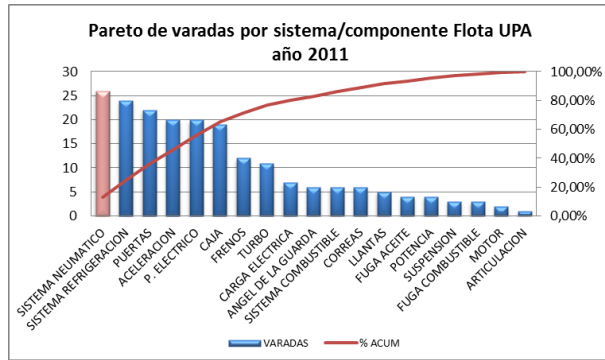
Figura 3. Causas de pérdida de kilometraje en porcentaje año 2011



Fuente. PRODUCCION SOMOS K S.A.

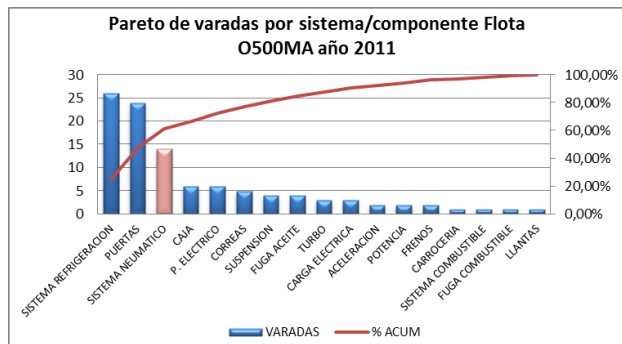
En el período comprendido entre Enero y Diciembre de 2011 se evidencia que la causa más relevante varadas en la troncal de la flota de buses articulados de SOMOS K S.A. corresponde a problemas ocasionados en el sistema neumático de frenos y suspensión, teniendo en cuenta que en la flota UPA400 que cubre el 66% de los buses este problema representa el 12.94% de las varadas y en la flota O500 que cubre el 30% de los buses este problema cubre el 13.33% (Ver figuras 4 y 5).

Figura 4. Pareto de varadas por sistema/componente en flota UPA400 año 2011



Fuente. PRODUCCION SOMOS K S.A.

Figura 5. Pareto de varadas por sistema/componente en flota O500MA año 2011



Fuente. PRODUCCION SOMOS K S.A.

1.6. JUSTIFICACIÓN DEL PLAN PROPUESTO

Con la elaboración del presente proyecto se pretende minimizar el número de varadas en la troncal de la flota de buses articulados Mercedes Benz UPA400 y O500MA de SOMOS K S.A. como consecuencia de problemas en el sistema neumático de frenos y suspensión que como se evidencia en las figuras 4 y 5 representan una de las principales causas de pérdida de kilometraje de la compañía, lo que representa pérdidas económicas. Adicional a lo anterior el sistema de frenos de los vehículos es uno de los principales componentes de seguridad de los mismos, por lo tanto es imprescindible garantizar la confiabilidad

del funcionamiento del mismo, lo cual se traduce en mayor seguridad para los pasajeros transportados.

1. 7. OBJETIVOS

1.7.1. Objetivo General. Proponer un modelo de mantenimiento centrado en la confiabilidad para el sistema neumático de frenos y suspensión de buses articulados Mercedes Benz UPA 400 y O500 MA de SOMOS K S.A.

1.7.2. Objetivos específicos

- Recolectar y analizar datos de diseño, operacionales y de confiabilidad de los componentes del sistema que permitan realizar el análisis de los modos y efectos de fallo, utilizando la técnica FMEA (*Failure mode and effects analysis*).
- Realizar el análisis funcional de las fallas, identificando y describiendo las funciones de los sistemas, los requerimientos de operación del sistema y las formas cómo pueden fallar las funciones de los componentes del sistema neumático de frenos y suspensión.
- Seleccionar los componentes o ítems críticos y no críticos para el funcionamiento adecuado del sistema neumático de frenos y suspensión
- Realizar la selección de las tareas de mantenimiento utilizando la técnica de del diagrama lógico de decisiones de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM *Reliability Centered Maintenance*) para los componentes del sistema neumático de frenos y suspensión.
- Presentar plan de evaluación de proveedores para suministro y servicio de los componentes del sistema neumático de frenos y suspensión de acuerdo a las tareas de mantenimiento establecidas.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1. DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO Y MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

Desde el punto de vista de la ingeniería hay dos elementos que hacen al manejo de cualquier activo físico. Debe ser mantenido y de tanto en tanto quizás también necesite ser modificado.

Los diccionarios más importantes definen mantener como causar que continúe (Oxford), o conservar su estado existente (Webster), o conservar cada cosa en su ser (Real Academia Española). Esto sugiere que “mantenimiento” significa preservar algo.

Cuando se dispone a mantener algo, ¿Qué es eso que se desea causar que continúe?, ¿Cuál es el estado existente que se desea preservar? La respuesta a estas preguntas está dada por el hecho de que todo activo físico es puesto en funcionamiento porque alguien quiere que haga algo, en otras palabras, se espera que cumpla una función o ciertas funciones específicas. Por ende al mantener un activo, el estado que debemos preservar es aquel en el que continúe haciendo aquello que los usuarios quieren que haga. “Mantenimiento: Asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan.”²

Los requerimientos de los usuarios van a depender de dónde y cómo se utilice el activo (contexto operacional). Esto lleva a la siguiente definición formal de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad “Un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual.”³ También

² MOUBRAY, John, Mantenimiento centrado en la confiabilidad. Asheville, North Carolina: Ed. Aladon, 2004. p. 7.

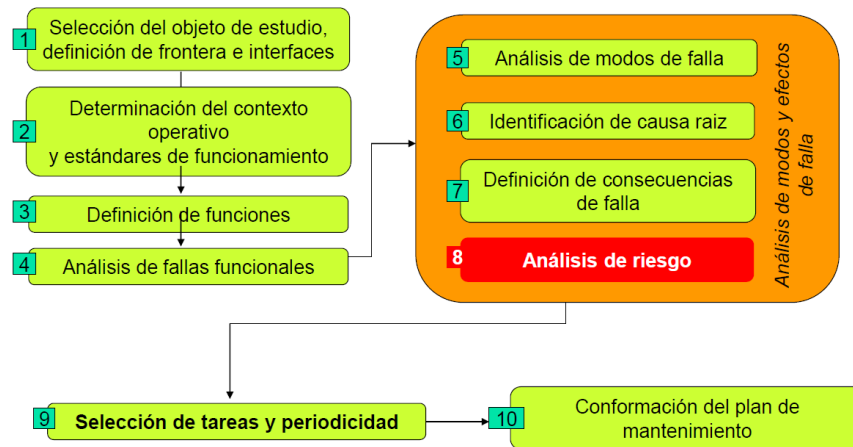
³ SAE JA1011. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) processes. Society of automotive Engineers Inc. 1999

la norma SAE JA1011 define Mantenimiento centrado en confiabilidad como “un proceso específico para identificar las políticas que deben ser implantadas para administrar los modos de falla que pueden causar fallas funcionales en cualquier activo físico en su contexto operacional.”⁴

2.1.1. RCM Las siete preguntas básicas. El proceso RCM formula siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta revisar:

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

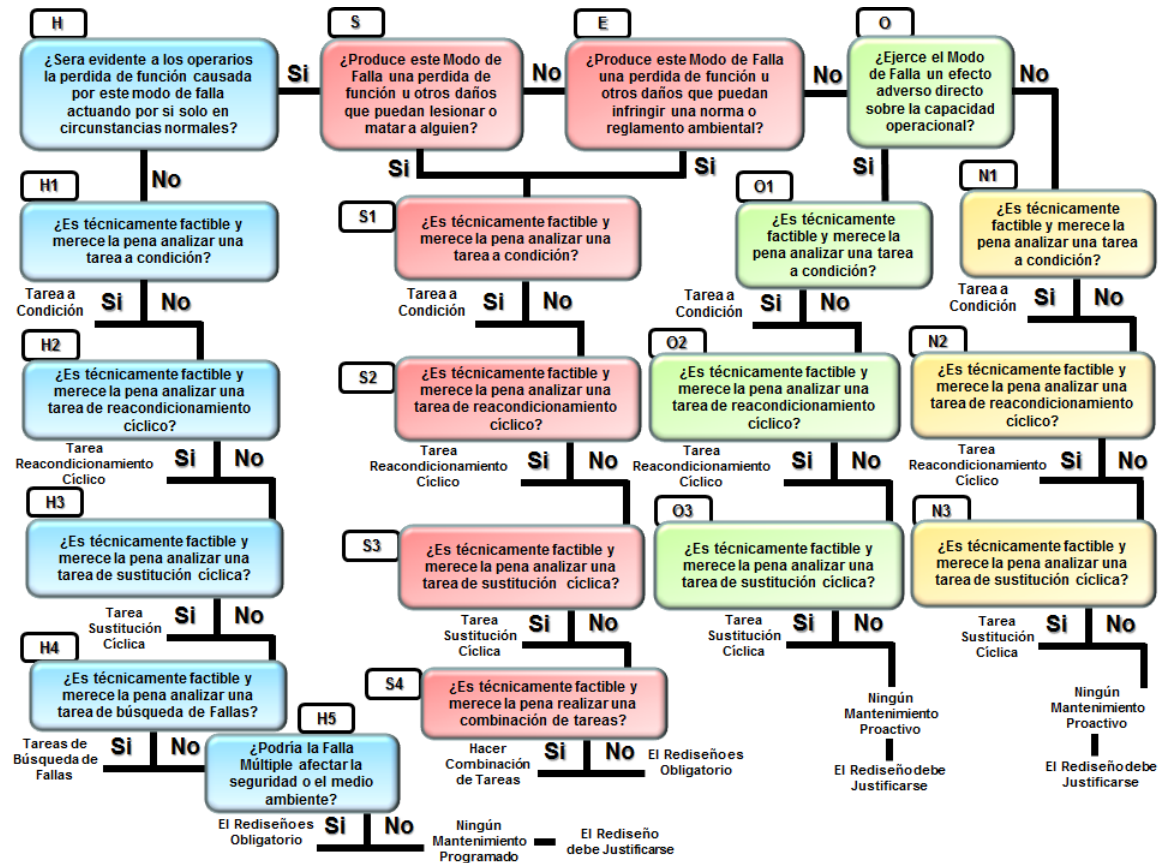
Figura 6. Diagrama de flujo del RCM



Fuente. ORTIZ, Daniel. El método: Diagrama de flujo del RCM. En: Especialización en Gerencia de mantenimiento (17: 9-10, Diciembre: Bogotá). Memorias. Bogotá: UIS, 2011 p. 4.

⁴ SAE JA1011. Op. Cit., p19

Figura 7. Diagrama de decisión proceso RCM



Fuente. MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Asheville, North Carolina: Ed. Aladon, 2004. P 204-205

2.1.2. Funciones y parámetros de funcionamiento. Antes de poder aplicar un proceso para determinar qué debe hacerse para que cualquier activo físico continúe haciendo aquello que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional, necesitamos hacer dos cosas:

- Determinar qué es lo que sus usuarios quieren que haga.
- Asegurar que es capaz de realizar aquello que sus usuarios quieren que haga.

Por esto el primer paso en el proceso de RCM es definir las funciones de cada activo en su contexto operacional, junto con los parámetros de funcionamiento

deseados. Lo que los usuarios esperan que los activos sean capaces de hacer puede ser dividido en dos categorías:

- Funciones primarias, que en primera instancia resumen el porqué de la adquisición del activo. Esta categoría de funciones cubre temas como velocidad, producción, capacidad de almacenaje o carga, calidad de producto y servicio al cliente.
- Funciones secundarias, la cual reconoce que se espera de cada activo que haga más que simplemente cubrir sus funciones primarias. Los usuarios también tienen expectativas relacionadas con las áreas de seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia operacional, cumplimiento de regulaciones ambientales, y hasta de apariencia del activo.

Los usuarios de los activos generalmente están en la mejor posición para saber exactamente qué contribuciones físicas y financieras hace el activo para el bienestar de la organización como un todo. Por ello es esencial que estén involucrados en el proceso de RCM desde el comienzo.

Si es hecho correctamente, este paso toma alrededor de un tercio del tiempo que implica un análisis RCM completo. Además hace que el grupo que realiza el análisis logre un aprendizaje considerable acerca de la forma en que realmente funciona el equipo.

2.1.3. Fallas funcionales. Los objetivos del mantenimiento son definidos por las funciones y expectativas de funcionamiento asociadas al activo en cuestión. Pero, ¿Cómo puede el mantenimiento alcanzar estos objetivos?

El único hecho que puede hacer que un activo no pueda desempeñarse conforme a los parámetros requeridos por sus usuarios es alguna clase de falla. Esto

sugiere que el mantenimiento cumple sus objetivos al adoptar una política apropiada para el manejo de una falla. Sin embargo, antes de poder aplicar una combinación adecuada de herramientas para el manejo de una falla, se necesita identificar qué fallas pueden ocurrir. El proceso de RCM lo hace en dos niveles:

- En primer lugar, identifica las circunstancias que llevaron a la falla
- Luego se pregunta qué eventos pueden causar que el activo falle.

En el mundo del RCM, los estados de falla son conocidos como fallas funcionales porque ocurren cuando el activo no puede cumplir una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable.

Sumado a la incapacidad total de funcionar, esta definición abarca fallas parciales en las que el activo todavía funciona pero con un nivel de desempeño inaceptable (incluyendo las situaciones en las que el activo no puede mantener los niveles de calidad o precisión). Evidentemente estas sólo pueden ser identificadas luego de haber definido las funciones y parámetros de funcionamiento del activo.

2.1.4. Modos de Falla. Una vez que se ha identificado cada falla funcional, el próximo paso es tratar de identificar todos los hechos que de manera razonablemente posible puedan haber causado cada estado de falla. Estos hechos se denominan modos de falla. Los modos de falla “razonablemente posibles” incluyen aquellos que han ocurrido en equipos iguales o similares operando en el mismo contexto, fallas que actualmente están siendo prevenidas por regímenes de mantenimiento existentes, así como fallas que aún no han ocurrido pero son consideradas altamente posibles en el contexto en cuestión.

La mayoría de las listas tradicionales de modos de falla incorporan fallas causadas por el deterioro o desgaste por uso normal. Sin embargo, para que todas las causas probables de fallas en los equipos puedan ser identificadas y resueltas

adecuadamente, esta lista debería incluir fallas causadas por errores humanos (por parte de los operadores y el personal de mantenimiento), y errores de diseño. También es importante identificar la causa de cada falla con suficiente detalle para asegurarse de no desperdiciar tiempo y esfuerzo intentando tratar síntomas en lugar de causas reales. Por otro lado es igualmente importante asegurarse de no malgastar el tiempo en el análisis mismo al concentrarse demasiado en los detalles.

2.1.5. Efectos de falla. El cuarto paso en el proceso de RCM tiene que ver con hacer un listado de los efectos de falla, que describen lo que ocurre con cada modo de falla. Esta descripción debería incluir toda la información necesaria para apoyar la evaluación de las consecuencias de la falla, tal como:

- Qué evidencia existe (si la hay) de que la falla ha ocurrido
- De qué modo representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente (si la representa)
- De qué manera afecta a la producción o a las operaciones (si las afecta)
- Qué daños físicos (si los hay) han sido causados por la falla
- Qué debe hacerse para reparar la falla

2.1.6. Consecuencias de la falla. Un análisis detallado de la empresa industrial promedio probablemente muestre entre tres mil y diez mil posibles modos de falla. Cada una de estas fallas afecta a la organización de algún modo, pero en cada caso, los efectos son diferentes. Pueden afectar operaciones, también pueden afectar a la calidad del producto, el servicio al cliente, la seguridad o el medio ambiente, para ser reparadas todas tomarán tiempo y costarán dinero.

Son estas consecuencias las que más influyen el intento de prevenir cada falla. En otras palabras, si una falla tiene serias consecuencias, se debe hacer un gran esfuerzo para intentar evitarla. Por otro lado, si no tiene consecuencias o tiene

consecuencias leves, quizás se decida no hacer más mantenimiento de rutina que una simple limpieza y lubricación básica.

Un punto fuerte del RCM es que reconoce que las consecuencias de las fallas son más importantes que sus características técnicas. De hecho reconoce que la única razón para hacer cualquier tipo de mantenimiento proactivo no es evitar las fallas sino evitar o reducir las consecuencias de las fallas. El proceso de RCM clasifica estas consecuencias en cuatro grupos, de la siguiente manera:

- Consecuencias de fallas ocultas: las fallas ocultas no tienen un impacto directo, pero exponen a la organización a fallas múltiples con consecuencias serias y hasta catastróficas. (La mayoría están asociadas a sistemas de protección sin seguridad inherente)
- Consecuencias ambientales y para la seguridad: una falla tiene consecuencias para la seguridad si es posible que cause daño o la muerte a alguna persona. Tiene consecuencias ambientales si infringe alguna normativa o reglamento ambiental tanto corporativo como regional, nacional o internacional.
- Consecuencias operacionales: Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (cantidad, calidad del producto, atención al cliente, o costos operacionales además del costo directo de la reparación).
- Consecuencias no operacionales: Las fallas que caen en esta categoría no afectan a la seguridad ni la producción, sólo implican el costo directo de la reparación.

El proceso de evaluación de las consecuencias también cambia el énfasis de la idea de que toda falla es negativa y debe ser prevenida. De esta manera focaliza la atención sobre las actividades de mantenimiento que tienen el mayor efecto sobre el desempeño de la organización, y resta importancia a aquellas que tienen escaso resultado. También nos alienta a pensar de una manera más amplia

acerca de diferentes maneras de manejar las fallas, más que concentrarse en prevenir fallas. Las técnicas de manejo de fallas se dividen en dos categorías:

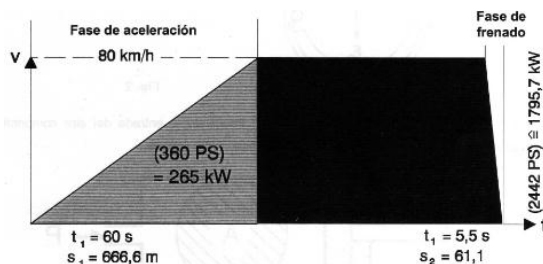
- Tareas proactivas: estas tareas se emprenden antes de que ocurra una falla, para prevenir que el ítem llegue al estado de falla. Abarcan lo que se conoce tradicionalmente como mantenimiento “predictivo” o “preventivo”. aunque veremos luego que el RCM utiliza los términos reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica, y mantenimiento a condición.
- Acciones a falta de: estas tratan directamente con el estado de falla, y son elegidas cuando no es posible identificar una tarea proactiva efectiva. Las acciones a falta de incluyen búsqueda de falla, rediseño, y mantenimiento a rotura.

2.2. SISTEMAS DE FRENO A AIRE

2.2.1. Principios físicos. Actualmente todos los vehículos deben tener sistemas de frenos que estén realmente de conformidad con las exigencias legales de seguridad. El propósito de estos sistemas de frenos es el siguiente:

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

Figura 8. Fase de aceleración y frenado de un vehículo



Fuente: WABCO UNIVERSITY, Sistemas de freno de aire. Campinas: Ed. Wabco. 2011. P3.

La actuación de frenado de un camión es normalmente diez veces mayor que la actuación del motor. Cuando los frenos del vehículo 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 del freno). El tipo de calentamiento generado en el freno del vehículo depende esencialmente de dos factores:

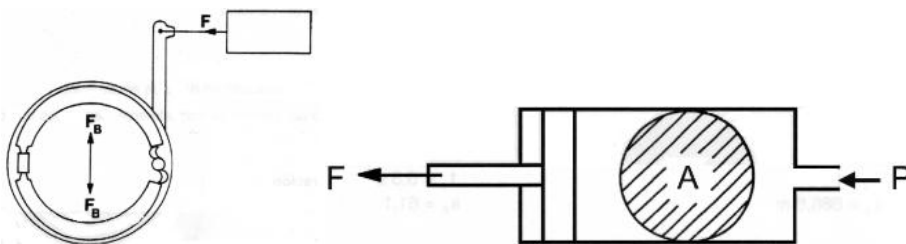
- Masa del vehículo: Un vehículo dos veces mayor que otro irá exigir dos veces más energía en el freno. Será producido un calentamiento dos veces mayor.
- Velocidad del vehículo: Doblando la velocidad, será necesaria cuatro veces más energía de frenado y, por lo tanto, producirá un calentamiento cuatro veces mayor.

Este calentamiento es producido por la fricción entre:

- Los forros y el tambor de freno.
- Condiciones de los neumáticos y carreteras.

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

Figura 9. Fuerza de accionamiento del cilindro sobre los forros de freno



Fuente: WABCO UNIVERSITY, O. Cit. p29.

La fuerza F liberada por el cilindro y es generada a través de la entrada de aire comprimido generando una presión P , que actúa contra la superficie A del embolo (Figura 5). 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.

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

- Freno de servicio: Es utilizado tanto para reducir la velocidad del vehículo como para pararlo. Es accionado por la válvula 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 accionado por la válvula de freno de mano. Este sistema debe ser totalmente eficaz en caso de presentarse falla en la energía neumática, por esta razón él debe actuar de forma mecánica (por accionamiento de muelles) accionando los frenos de las ruedas del vehículo.
- Freno de emergencia: Su función es sustituir la tarea del freno de servicio cuando halla fallas en el mismo. Tanto el circuito de freno de servicio (delantero y trasero) puede ser utilizado como un sistema de frenado de emergencia como el sistema de freno de estacionamiento.
- Retardador: Permite al conductor reducir la velocidad del vehículo sin la utilización de los sistemas de frenado convencionales, generalmente funciona a través de la caja de velocidades.

2.2.3. Componentes del sistema de freno. Los principales componentes del sistema de freno son los siguientes:

2.2.3.1. Compresor de aire. 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 refrigerante del motor y lubricado por el suministro de aceite del motor (Ciertos modelos tienen versiones de auto lubricación y/ o aire enfriado).

2.2.3.2. Regulador de presión. Controla automáticamente la presión neumática del sistema, manteniendo el sistema de frenos activo siempre que este sea solicitado.

2.2.3.3. Filtro secador: Es el encargado de retirar el agua y gotas de aceite proveniente del aire comprimido liberándola 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. La mayoría de las gotas de aceite son eliminadas por el separador de aceite cuando el aire pasa por el secador de aire, el aire entonces se mueve a través del material desecante, el cual elimina la mayoría del vapor de agua.

2.2.3.4. Válvula protectora de cuatro circuitos. Su función es garantizar una presión preestablecida en los circuitos intacta, en caso de defecto en uno o más circuitos de los sistemas de freno. Esta válvula protege los siguientes circuitos:

- Circuito 21: Protege el sistema de freno de servicio trasero (ejes traseros)
- 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

2.2.3.5. Indicador de baja presión. En una luz en el tablero de instrumentos, que indica la variación de la presión neumática (puede aumentar o disminuir) en determinado punto del circuito.

2.2.3.6. Depósito de aire comprimido. Son los encargados de almacenar el aire comprimido, estos pueden o no tener válvulas de desaireación.

2.2.3.7. Válvula de desaireación. Su función es retirar el agua condensada en los depósitos, así como vaciar el sistema, en caso de que sea necesario.

2.2.3.8. Válvula de escape rápido. Su función es liberar rápidamente el aire comprimido proveniente de las cámaras de freno de servicio trasero, tras el frenado.

2.2.3.9. Válvula de pedal. También es conocida como válvula de freno de servicio es la responsable de modular la presión del sistema del freno de servicio, a través de dos circuitos distintos, con la finalidad de controlar la presión de aire en los cilindros de frenos. Cuando el conductor aplica los freno de servicio usando el pedal del freno, una parte de los dos émbolos se mueve dentro de la válvula del freno, cerrando el escape de la válvula y abriendo conductos dentro de la válvula que permiten que la presión de aire esperando allí, pase y sea entregada a los sistemas del freno trasero y delantero.

2.2.3.10. Cilindro de membrana. Convierte la presión de aire en una fuerza mecánica que acciona las mordazas de freno del vehículo mediante la palanca ajustadora de juego y están montados en el eje delantero del vehículo.

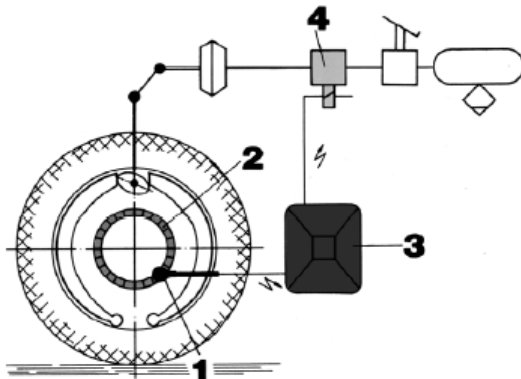
2.2.3.11. Cilindro combinado tristop. Están montados en los ejes de las ruedas y accionan los frenos traseros del vehículo (freno de servicio, de estacionamiento y de emergencia). Están compuestos de separadores de aire y actuadores

mecánicos en una sola carcasa. Conectado a la válvula del 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 se 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 vías opuestas. El actuador de servicio requiere presión de aire para aplicar los frenos, mientras el actuador de estacionamiento o emergencia, usa la presión de aire para liberar los frenos.

2.2.3.12. Electroválvula (válvula solenoide). Su función es presurizar y despresurizar diferentes actuadores neumáticos del vehículo como cilindro de accionamiento del freno motor, cilindro apagador, cilindro de aceleración de emergencia entre otros.

2.2.3.13. Válvula solenoide ABS. 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 al eje continuamente el cual recoge la información del movimiento rotativo de la rueda por medio de una rueda dentada. Los pulsos eléctricos generados dentro del sensor se transmiten a la ECU, la cual los utiliza para calcular la velocidad de la rueda. Al mismo tiempo, la ECU utiliza un cierto modo de referencia para determinar una velocidad que se aproxima a la velocidad del vehículo, que no está realmente medida. De toda esta información de forma continua la ECU calcula la aceleración de la rueda (+ b) o deceleración de la rueda (-b) y valores de frenado deslizante. Cuando los valores determinados de deslizamiento se superan, el valor de control de solenoide es accionado. Esto hace que la presión en el cilindro de freno pueda ser limitada o reducida, manteniendo así la rueda dentro de su rango óptimo de deslizamiento.

Figura 10. Estructura del circuito de control de ABS



1 = sensor, 2 = pole wheel, 3 - electronic control unit, 4 = solenoid valve

Fuente: WABCO. Anti-Lock Braking System (ABS) and Anti-Slip Regulation (ASR). 2 ed. 2011. P. 9

2.2.3.14. Válvula del freno de estacionamiento. 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.

2.2.3.15. Válvula relé. 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 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 alta capacidad de aire necesaria para el frenado es entregada directamente y el aire no tiene que correr hasta la válvula del freno y después hasta los frenos. La fuerza del freno es ajustable y cuando la válvula relé lo libera, escapa a la atmósfera.

2.2.3.16. Válvula de dos vías. Es utilizada con la finalidad de conducir para un único circuito aire comprimido, proveniente de dos circuitos diferentes.

2.2.3.17. Válvula distribuidora. Controla gradualmente el freno de servicio, de estacionamiento y de emergencia del remolque o del semirremolque. Es la responsable de amplificar la señal neumática de freno en los diferentes ejes con el fin de equiparar la presión de frenado.

2.2.3.18. Válvula de retención. Permite el pasaje de aire en un solo sentido, e impide su contraflujo.

2.2.3.19. Manómetro. Indica la presión neumática existente en los depósitos.

2.2.3.20 Válvula sensible a la carga (ALB). Es la encargada de controlar la presión de aire en las cámaras de freno traseras en función de la carga del vehículo. El control automático depende de la presión contenida al interior de los fuelles neumáticos que a su vez corresponde a la carga del vehículo.

2.3. SUSPENSIÓN NEUMÁTICA

La suspensión neumática es un tipo de suspensión para vehículos alimentada por un compresor de aire eléctrico o mecánico accionado por el motor del vehículo. Este compresor presuriza el aire, utilizando el aire comprimido como un resorte por medio de fuelles neumáticos. La suspensión neumática se utiliza a menudo en lugar de muelles de acero convencionales, y en aplicaciones para vehículos pesados, tales como autobuses y camiones. El propósito de la suspensión neumática es proporcionar una calidad marcha suave, constante y en la mayoría de los casos es auto nivelante de acuerdo a la carga del vehículo.

2.3.1. Componentes del sistema de suspensión neumática. Los principales componentes del sistema de suspensión neumática son los siguientes:

2.3.1.1. Válvula niveladora de suspensión neumática. En vehículos equipados con suspensión neumática la válvula de nivelación asegura que los fuelles neumáticos del eje mantengan una altura constante del chasis independiente de la carga del vehículo

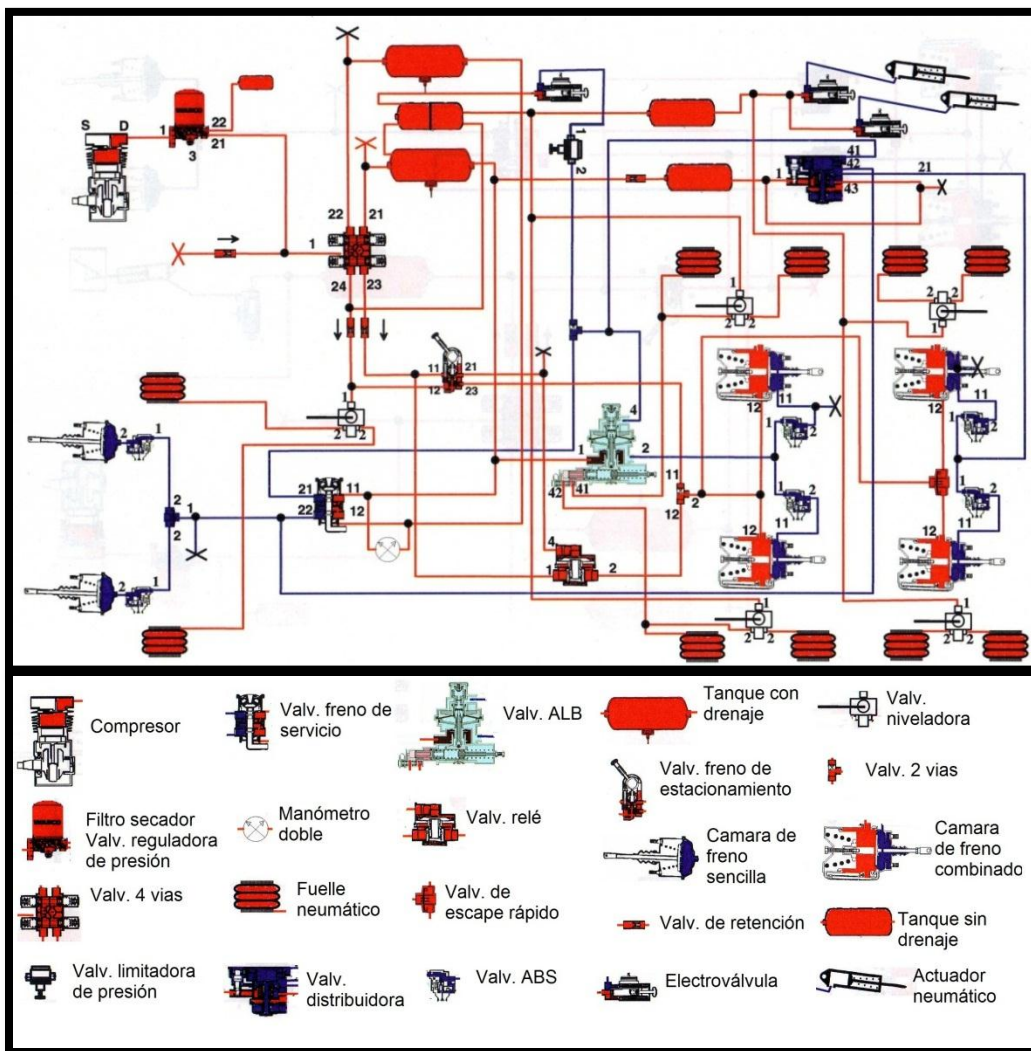
2.3.1.2. Fuelle neumático. Los fuelles de suspensión neumática están diseñados para soportar la presión requerida en el volumen de los mismos dependiendo de la carga a bordo del vehículo, Estos fuelles se utilizan como elementos constructivos elásticos entre el eje y el chasis del vehículo

3. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

3.1. DEFINICIÓN DE FRONTERAS E INTERFACES

Para el sistema neumático de frenos y suspensión de la flota de buses UPA400 se establecen las siguientes interfaces y fronteras de acuerdo al diagrama presentado a continuación:

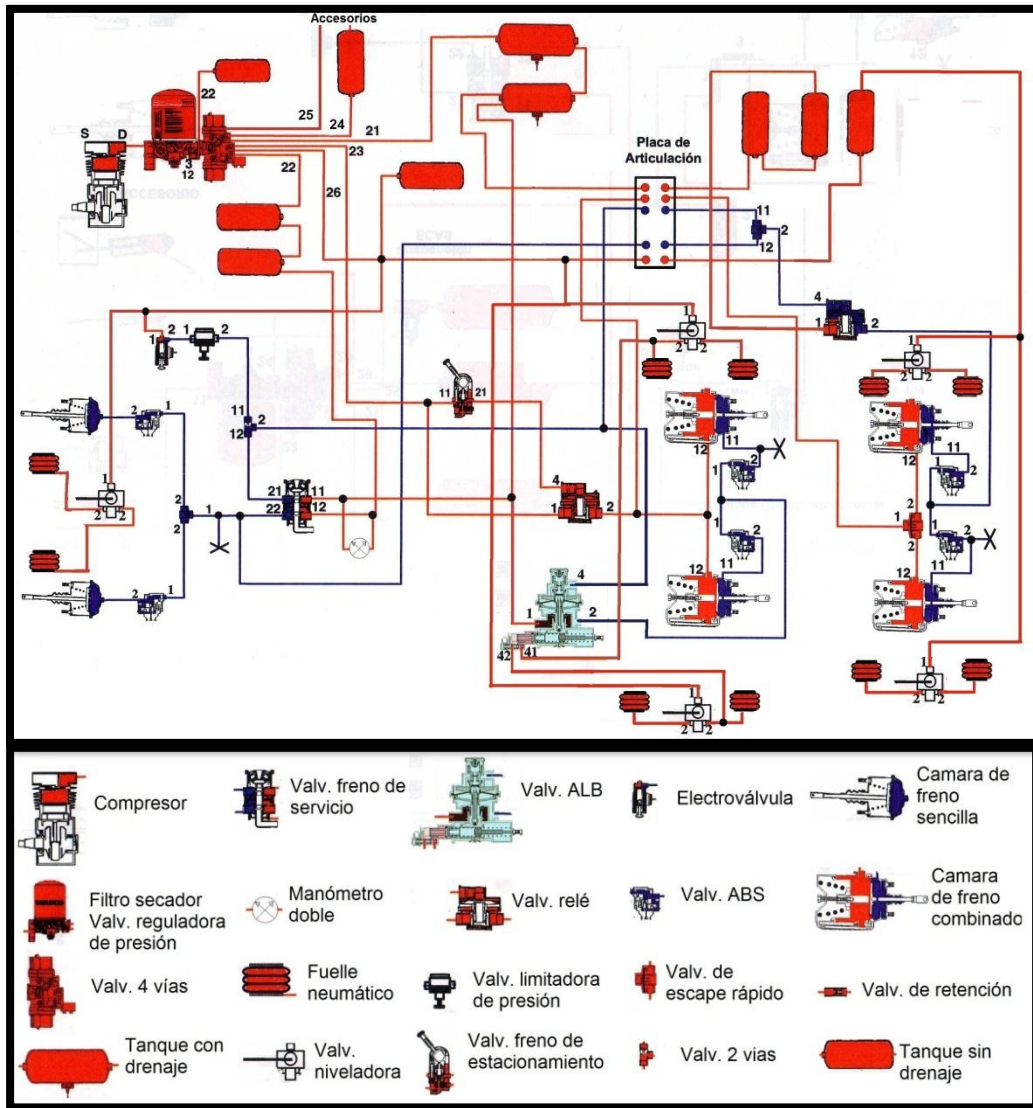
Figura 11. Esquema del sistema neumático de frenos y suspensión para buses articulados Mercedes Benz UPA400.



Fuente: WABCO UNIVERSITY, Op. Cit. p. 29

Para el sistema neumático de frenos y suspensión de la flota de buses O500 MA se establecen las siguientes interfaces y fronteras de acuerdo al diagrama presentado a continuación:

Figura 12. Esquema del sistema neumático de frenos y suspensión para buses articulados Mercedes Benz O500MA.



Fuente: WABCO UNIVERSITY, Op. Cit. p. 27

3.2. CONTEXTO OPERACIONAL

El contexto operacional de los buses se enmarca dentro de la legislación nacional (Código Nacional de Transito Ley 1383 de 2010), los requerimientos de la entidad contratante TransMilenio S.A. (Contrato 017 de 2003), y los requisitos internos de la organización.

3.2.1. Estándares de calidad. Los buses deben cumplir con una regularidad del 100% (cantidad de viajes realizados / cantidad de viajes programados), en los tiempos establecidos por la entidad contratante, para los servicios programados y en los horarios indicados, estas programaciones pueden variar semanalmente o varias veces en la semana, dependiendo de los requerimientos de la ciudad.

3.2.2 Condiciones operacionales:

Tabla 3. Estadísticas TransMilenio 2012

Pasajeros totales al 30 de abril de 2012	3.803.439.499	Pasajeros
Promedio pasajeros hora pico de abril de 2012	199.511	Pasajeros
Estaciones en operación	115	Estaciones
Kilómetros de vía en operación troncal	87	Km
Flota troncal disponible vinculados 30 de abril de 2012	1.291	Buses
Velocidad promedio flota troncal abril de 2012	26,08	Km/hora
Promedio kilómetros recorridos flota troncal abril de 2012	338.060	Km

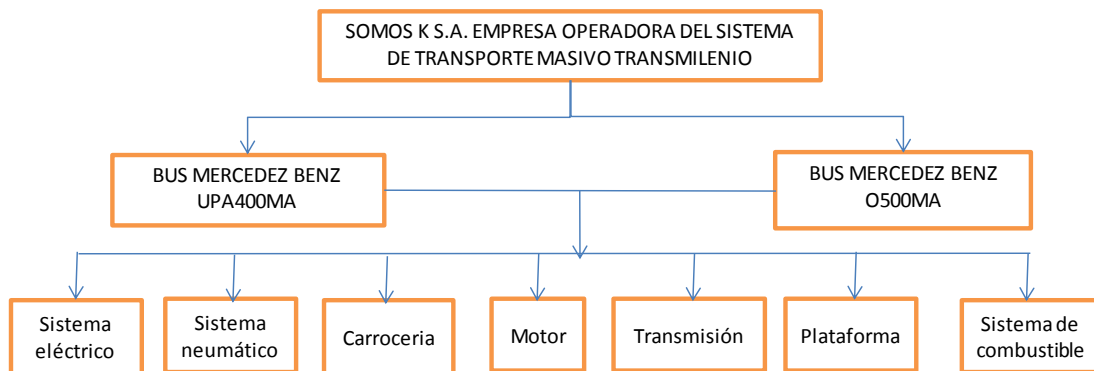
TRANSMILENIO S.A. Estadísticas Generales [En línea]. Bogotá D.C. [Citado 21 May. 2012] Disponible en internet: < http://www.transmilenio.gov.co/WebSite/Contenido.aspx?ID=TransmilenioSA_TransmilenioEnCifrasEstadisticasGenerales>

3.2.3 Lugar de operaciones. Ciudad de Bogotá D.C. Esta ciudad presenta las siguientes condiciones ambientales: ⁵

- Altura: 2630 m.s.n.m.
- Temperatura media anual: 14 °C
- Temperatura máxima media anual: 19.9 °C
- Temperatura mínima media anual: 8.2 °C
- Precipitación media anual 1013 mm
- Presión atmosférica: 752 milibares

3.2.4 Modelo de jerarquía de los sistemas de los buses. Los buses se dividen en siete subsistemas, los cuales al interactuar a través de sus diferentes interfaces garantizan el correcto funcionamiento de los mismos.

Figura 13. Modelo de jerarquía de los sistemas de los buses



Fuente. El autor

⁵ UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS. Characteristics [En línea]. Bogotá D.C.[Citado 22 Feb. 2012] Disponible en internet: < <http://www.udistrital.edu.co/universidad/colombia/bogota/caracteristicas>>

3.3. DEFINICIÓN DE FUNCIONES

3.3.1. Funciones UPA400. A continuación (Ver tabla 4) se presentan las características técnicas, las interfaces con los elementos del sistema, la descripción y las funciones de los principales elementos del sistema neumático de frenos y suspensión como fundamento para el análisis de los modos y efectos de falla de cada uno de ellos.

Tabla 4. Características técnicas y funciones componentes UPA400.




ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	INTERFASES	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	Cód. Fun.	FUNCIONES
1. COMPRESOR DE AIRE (P/N KNORR 4751300115R)	Presión de operación 8 bar +0,3 / -0,1	Recibe aire a 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 refrigerante del motor y lubricado por el suministro de aceite del motor</p> 	1	Comprimir el aire existente en la atmósfera a presión de operación de
	Válvulas: tipo láminas			2	Convertir el torque entregado por el motor en movimiento alternativo.
	Máxima rotación: 300 RPM			3	Permitir mínimo paso de aceite al aire comprimido (menor a 0,5 gr/h)
	Lubricación: Lubricación forzada (aceite motor SAE 15W40)	Transfiere el calor generado a través de la culata al refrigerante del motor		4	Disipar el calor producido al refrigerante del motor.
	Enfriamiento: Sistema refrigeración del motor (Refrigerante 50% etilenglicol - 50 % agua des ionizada)	Entrega aire comprimido por medio de la tubería de salida			
	Rotación: cualquier dirección				
2. VALVULA REGULADORA DE PRESIÓN (P/N 178209 KNORR - 975 300 110 0 WABCO)	Presión de apertura : 8,1 bar	Recibe aire a presión de operación de la tubería de salida del 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 el 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 el agua y gotas de aceite proveniente del aire comprimido liberándola 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 y evitar la corrosión	Entrega aire al regulador de presión		9	Eliminar el contenido de aceite que se encuentra en el aire comprimido

Tabla 4. Continuación

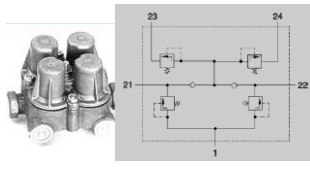


ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	INTERFASES	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	Cód. Fun.	FUNCIONES
4. VÁLVULA 4 VÍAS (P/N 170615 KNORR - 934 702 300 0 WABCO)	Presión de alimentación: 8 bar	Entrada de aire del regulador de presión por 1	<p>Válvula protectora de cuatro circuitos: Su función es garantizar una presión preestablecida en los circuitos intacta, en caso de defecto en uno o más circuitos de los sistemas de freno. Esta válvula protege los siguientes circuitos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Circuito 21: Protege el sistema de freno de servicio trasero (ejes traseros) • 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 	10	Entregar a los 3 circuitos (22, 23 y 24) 8 bar
	Presión de apertura y cierre circuito 21: 6,8 / 4,5 bar	Entrega aire por 21 a la válvula de freno de servicio		11	Cerrar el circuito alimentado si se presenta falla en este (presión <4,5 bar)
	Presión de apertura y cierre circuito 22: 6,8 / 4,5 bar	Entrega aire por 22 a la válvula de freno de servicio		12	Alimentar los circuitos restantes a 8 bar cuando se presente falla en uno de los circuitos (presión <4,5 bar)
	Presión de apertura y cierre circuito 23: 6,8 / 4,5 bar	Entrega aire por 23 a válvula de freno de estacionamiento y a válvula relé		13	Alimentar los circuitos independientemente con 8 bar cuando la presión en cualquiera de ellos disminuya por debajo de 6,8 bar.
	Presión de apertura y cierre circuito 24: 6,8 / 4,5 bar	Entrega aire por 24 a válvula freno de estacionamiento, fuelles 1er eje y circuitos de accesorios		14	Priorizar la presurización en los circuitos 21 y 22
5. VÁLVULA FRENO DE SERVICIO (P/N 176624 KNORR - 461 315 038 0 WABCO)	Presión de alimentación: 8 bar	Recibe aire por 11 de 21 de la válvula 4 vías	<p>Es la responsable de modular la presión del sistema del freno de servicio, a través de dos circuitos distintos, con la finalidad de controlar la presión de aire en los cilindros de frenos. Cuando el conductor aplica los freno de servicio usando el pedal del freno, una parte de los dos émbolos se mueve dentro de la válvula del freno, cerrando el escape de la válvula y abriendo conductos dentro de la válvula que permiten que la presión de aire esperando allí, pase y sea entregada a los sistemas del freno trasero y delantero.</p> 	15	Modular la presión del freno de servicio a través del pedal (0 - 8 bar)
	Presión en punto nulo: 0 +0,1 bar	Recibe aire de 22 de la válvula 4 vías		16	Entregar la presión modulada al sistema de freno delantero
	Presión en punto máx. 8 bar	Entrega aire por 22 al sistema de freno de 1er eje		17	Entregar la presión modulada al sistema de freno trasero
		Entrega aire por 22 a la válvula ALB y a la válvula distribuidora			
6. VÁLVULA FRENO DE ESTACIONAMIENTO (P/N 961 722 284 0 WABCO)	Presión de alimentación: 8 bar	Recibe aire por 11 de 23 de la válvula 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 por 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 4 vías		19	Mantener la palanca en su posición cuando el freno es accionado
	Presión de respuesta: máx. 2,2 bar	Entrega aire por 21 a la válvula relé		20	Puño de la válvula debe retornar automáticamente
	Frenado completo: 0 bar	Entrega aire por 22 a 12 de la válvula 2 vías			

Tabla 4. Continuación



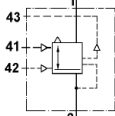

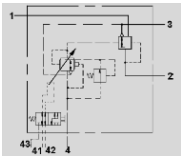
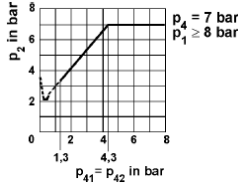
ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	INTERFASES	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	Cód. Fun.	FUNCIONES
7. VÁLVULA RELÉ (P/N 176204DW KNORR - 973 011 014 0 WABCO)	Presión máxima de servicio: 20 bar	Recibe aire a presión de operación por 1 proveniente de 23 de la válvula 4 circuitos	<p>Produce el accionamiento y des accionamiento del freno trasero más rápido, son usadas principalmente en vehículos para aplicar y liberar los frenos de estacionamiento o 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 alta capacidad de aire necesaria para el frenado es entregada directamente y el aire no tiene que correr hasta la válvula del freno y después hasta los frenos. La fuerza del freno es ajustable y cuando la válvula relé lo libera, escapa a la atmósfera.</p> 	21	Liberar rápidamente el aire por 3 cuando llegue la señal del freno de estacionamiento
	Límites de temperatura: -40°C a 80 °C	Entrega aire a presión por 2 a 11 de la válvula 2 vías para las cámaras trístop		22	Transferir el aire proveniente de 23 de la válvula 4 circuitos a las cámaras de freno cuando no hay señal del freno de estacionamiento
	Escape admisible a la presión máxima de operación: $V_n \leq 10$ cm ³ /min	Descarga aire a la atmósfera por 3 al llegar la señal por 4 de 21 del freno de estacionamiento			
8. VÁLVULA DISTRIBUIDORA (P/N 481061020 KNORR - 973 002 402 0 WABCO)	Presión de funcionamiento: máx. 8 bar	Recibe aire a presión por 1 proveniente de 21 de la válvula 4 vías	<p>Controla gradualmente el freno de servicio, de estacionamiento y de emergencia del remolque o del semirremolque. Es la responsable de amplificar la señal neumática de freno en los diferentes ejes con el fin de equiparar la presión de frenado.</p>   <p>Símbolo/Symbol b</p>	23	Equiparar presión de frenado del 3er eje
	Nivel de respuesta de 41: máx. 0,4 bar	Entrega aire por 21 a los 2 actuadores de ABS de 3er eje			
	Nivel de respuesta de 42: máx. 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			
	Límites de temperatura: -40°C a 80 °C	Entrega presión de control por 43			
9. VÁLVULA SENSIBLE A LA CARGA ALB (P/N 475 711 076 0 WABCO)	Rango de regulación: 1:8	Recibe aire presurizado por 1 que viene de 21 de la válvula 4 vías	<p>Es la encargada de controlar la presión de aire en las cámaras de freno traseras en función de la carga del vehículo. El control automático depende de la presión contenida al interior de los fuelles neumáticos que a su vez corresponde a la carga del vehículo.</p>   	24	Garantizar presión de frenado independientemente de la carga del vehículo
	Presión máx.: 13 bar	Entrega aire regulado por 2 a las electroválvulas de ABS de 2do eje		25	Reducir (Según gráfico) la presión neumática en 2 cuando el vehículo se encuentra sin carga
	p41/42/43 máx.: 13 bar	Recibe señal neumática de fuelles de 2do eje lado der por 41		26	Incrementar (Según gráfico) la presión neumática en 2 cuando el vehículo se encuentra a media carga
	p4 máx.: 10 bar	Recibe señal neumática de fuelles de 2do eje lado izq. por 42		27	Incrementar (Según gráfico) la presión neumática en 2 cuando el vehículo se encuentra con carga total
	p41/42 sin presión: 1,3 bar	Recibe señal neumática por 4 de 21 de la válvula de freno de servicio		28	Descargar aire de 2 a la atmósfera cuando el sistema de freno de servicio es liberado.
	p2 sin presión: 3,3 bar (p4= 8 bar)	Descarga aire a la atmósfera por 3			
	p41/42 en carga: 4,3 bar				
	p2 con carga: 7 bar (p4= 8 bar)				

Tabla 4. Continuación

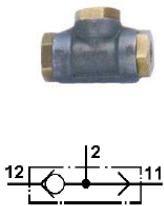



ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	INTERFASES	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	Cód. Fun.	FUNCIONES
10. VÁLVULA 2 VÍAS (P/N I76635 KNORR 434 208 009 0 WABCO)	Presión de operación máx.: 10 bar	Recibe aire por 11 de 23 de la válvula freno de estacionamiento	<p>Es utilizada con la finalidad de conducir para un único circuito aire comprimido, proveniente de dos circuitos diferentes.</p> 	29	Entregar aire a un único circuito con 2 alimentaciones
	Diámetro nominal: 12 mm	Recibe aire por 12 de 2 de la válvula relé		30	Evitar el retorno de aire si uno de los 2 circuitos de entrada se queda sin presión
	Límites de temperatura: -40°C a 80 °C	Entrega aire a 12 de las cámaras de freno trístop			
11. VÁLVULA DE RETENCIÓN (KNORR I178142 - 434 014 000 0 WABCO)	Presión de operación máx.: 20 bar	Línea 23 de la válvula 4 vías	<p>Permite el pasaje de aire en un solo sentido, e impide su contraflujo.</p> 	31	Permitir el paso de aire en el sentido de flujo de la línea
	Diámetro nominal: 8 mm	Línea 24 de la válvula 4 vías		32	Impedir el paso de aire de retorno en la línea
	Límites de temperatura: -40°C a 80 °C	Línea 1 antes de la válvula distribuidora			
12. VÁLVULA DE ESCAPE RÁPIDO (WABCO 973 500 040 0)	Presión máx. de servicio: 20 bar	Recibe aire a presión por 1 de línea de freno de servicio o estacionamiento	<p>Válvula 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	Entregar el aire a presión cuando el freno de servicio es accionado por las 2 salidas impidiendo el escape por el desfogue 3.
	Escape admisible a la presión máxima de operación: Vn <= 10 cm ³ /min	Entrega aire por 2 a las cámaras de freno		34	Descargar aire de 2 a la atmósfera cuando el sistema de freno de estacionamiento es liberado.
	Límites de temperatura: -40°C a 80 °C	Descarga aire por 3 a la atmósfera			
13. CÁMARA DE AIRE SENCILLA (423 105 704 0 WABCO)	Tipo: 20"	Reciben aire a presión de las electroválvulas de ABS	<p>Convierte la presión de aire en una fuerza mecánica que acciona las mordazas de freno del vehículo mediante la palanca ajustadora de juego y están montados en el eje delantero del vehículo.</p> 	35	Convertir la energía neumática en energía mecánica, cuando se usa el freno de servicio
	Presión de funcionamiento: máx. 8 bar	Entregan fuerza mecánica mediante el movimiento del vástago a los ajustadores de juego		36	Retornar el vástago a su posición cuando no hay presión neumática, cuando se libera el freno de servicio
	Oscilación del vástago: máx. 3°				
	Límites de temperatura: -40°C a 80 °C				

Tabla 4. Continuación

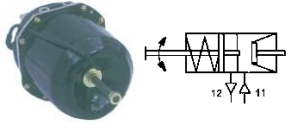

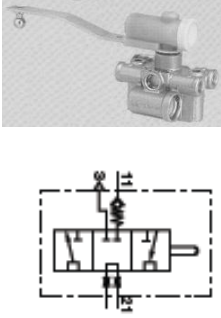
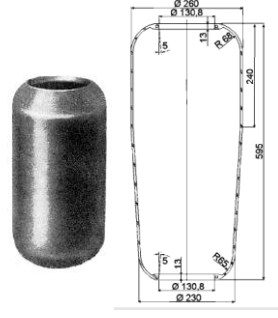
ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	INTERFASES	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	Cód. Fun.	FUNCIONES
14. CÁMARA DE FRENO COMBINADA O TRISTOP (925 321 424 0 WABCO)	Tipo: 24" / 30"	Recibe la presión 3er eje de 21 de la válvula distribuidora y de 2do eje de 2 de la válvula sensible	<p>Están montados en los ejes de las ruedas y accionan los frenos traseros del vehículo (freno de servicio, de estacionamiento y de emergencia). Están compuestos de separadores de aire y actuadores mecánicos en una sola carcasa. Conectado a la válvula del 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 se 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 vías opuestas. El actuador de servicio requiere presión de aire para aplicar los frenos, mientras el actuador de estacionamiento o emergencia, usa la presión de aire para liberar los frenos.</p> 	37	Accionar el vástago cuando no hay presión en 12
	Presión de funcionamiento: máx. 8 bar	Recibe presión de 23 de la válvula de freno de estacionamiento o de 2 de la relé		38	Liberar el vástago cuando hay presión en 12 y no hay presión en 11
	Presión de desacople: 5.1 bar	Entregan fuerza mecánica mediante el movimiento del vástago a los ajustadores de juego		39	Accionar el vástago cuando hay presión en 11
	Límites de temperatura: -40°C a 80 °C				
15. VÁLVULA SOLENOIDE ABS (472 899 008 0 WABCO)	Presión de funcionamiento: máx. 8 bar	Las válvulas solenoides de 1er eje reciben presión de 22 de la válvula freno de servicio	<p>Es una válvula electro-neumática (normalmente abierta) la cual cuando le envían 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 al eje continuamente el cual recoge la información del movimiento rotativo de la rueda por medio de una rueda dentada. Los pulsos eléctricos generados dentro del sensor se transmiten a la ECU, la cual los utiliza para calcular la velocidad de la rueda. Al mismo tiempo, la ECU utiliza un cierto modo de referencia para determinar una velocidad que se aproxima a la velocidad del vehículo, que no está realmente medida. De toda esta información de forma continua la ECU calcula la aceleración de la rueda (+ b) o deceleración de la rueda (-b) y valores de frenado deslizante. Cuando los valores determinados de deslizamiento se superan, el valor de control de solenoide es accionado. Esto hace que la presión en el cilindro de freno pueda ser limitada o reducida, manteniendo así la rueda dentro de su rango óptimo de deslizamiento.</p> 	40	Permitir el paso de aire a las cámaras de freno mientras el módulo de ABS no envíe ninguna señal
	Voltaje: 24 V +/- 10%	Las válvulas solenoides de 2do eje reciben presión de 2 de la válvula ALB		41	Liberar el aire comprimido a la atmósfera cuando la señal del módulo de ABS así lo indique
	Potencia de entrada: 10 W	Las válvulas solenoides de 3er eje reciben presión de 21 de la válvula distribuidora			
	Límites de temperatura: -40°C a 45 °C	La válvula solenoide entrega el aire directamente a las cámaras de freno			

Tabla 4. Continuación

ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	INTERFASES	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	Cód. Fun.	FUNCIONES
16. VÁLVULA NIVELADORA (P/N KNORR Delantera 500005102., 2DO Y 3ER EJE DERECHA 500005101, 2DO Y 3ER EJE IZQUIERDA 500005102	Presión de funcionamiento: máx. 8 bar	Reciben aire de 24 de la 4 vías por entrada 11	<p>En vehículos equipados con suspensión neumática la válvula de nivelación asegura que los fuelles neumáticos del eje mantengan una altura constante del chasis independiente de la carga del vehículo</p> 	42	Permitir el paso de aire a 21 cuando aumenta el peso en el interior del bus
	Rosca: M12 x 1,5	Entrega aire por 2 a 2 fuelles neumáticos		43	Permitir el desfogue de aire por 3 cuando disminuye el peso al interior del bus
	Longitud de nivelamiento: 175 mm	Es comandada por la varilla que va conectada al bastidor		44	Mantener sellado el flujo de aire en cualquier dirección cuando el peso del bus es constante.
	Límites de temperatura: -40°C a 80 °C				
17. FUELLE NEUMÁTICO (P/N A3643277301 DAIMLER)	Apertura inferior y superior: 130,8 mm	Soporte entre el bastidor y la carrocería	<p>Los fuelles de suspensión 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 utilizan como elementos constructivos elásticos entre el eje y el chasis del vehículo</p> 	45	Absorber los impactos del camino, para dar confort a los usuarios
	Altura total: 595 mm	Entrada y salida de aire por la base del fuelle		46	Mantener distancia entre el bastidor y la carrocería

Fuente. El autor

3.3.1. Funciones O500MA. A continuación (Ver tabla 5) se presentan las características técnicas, las interfaces con los elementos del sistema, la descripción y las funciones de los principales elementos del sistema neumático de frenos y suspensión como fundamento para el análisis de los modos y efectos de falla de cada uno de ellos.

Tabla 5. Características técnicas y funciones componentes O500MA





ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	INTERFASES	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	Cód. Fun.	FUNCIONES
1. COMPRESOR DE AIRE (P/N WABCO 912 510 103 0)	Cilindrada 632 Cm3	Recibe aire a 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 refrigerante del motor y lubricado por el suministro de aceite del motor</p> 	1	Comprimir el aire existente en la atmósfera a presión de operación de 10 bar
	Válvulas: tipo láminas			2	Convertir el torque entregado por el motor en movimiento alternativo.
	Máxima rotación: 3000 RPM			3	Permitir mínimo paso de aceite al aire comprimido (menor a 0,5 gr/h)
	Lubricación: Lubricación forzada (aceite motor SAE 15W40)	Transfiere el calor generado a través de la culata al refrigerante del motor		4	Disipar el calor producido al refrigerante del motor.
	Enfriamiento: Sistema refrigeración del motor (Refrigerante 50% etilenglicol - 50% agua des ionizada)	Entrega aire comprimido por medio de la tubería de salida			
	Rotación: cualquier dirección				
2. VALVULA SECADORA (P/N K006560 KNORR)	Presión de apertura : 10 +/- 0,3 bar	Recibe aire a presión de operación de la tubería de salida del 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 10 +/- 0,3 bar
	Franja de conmutación: 1,5 bar	Entrega el aire a presión regulada al filtro secador		6	Liberar el aire comprimido a la atmósfera cuando la presión de este supera 10 +/- 0,3 bar
		Entrega aire presurizado a la atmósfera			
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 el agua y gotas de aceite proveniente del aire comprimido liberándola 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> 	7	Eliminar el contenido de humedad que se encuentra en el aire comprimido
	Partículas desecantes en su interior para retener agua y evitar la corrosión	Entrega aire al regulador de presión		8	Eliminar el contenido de aceite que se encuentra en el aire comprimido
4. VÁLVULA 4 VÍAS (P/N II 31163)	Presión de alimentación: 10 bar	Entrada de aire por 1 de la válvula secadora	<p>Válvula protectora de cuatro circuitos: Su función es garantizar una presión preestablecida en los circuitos intacta, en caso de defecto en uno o más circuitos de los sistemas de freno. Esta válvula protege los siguientes circuitos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Circuito 21: Protege el sistema de freno de servicio trasero (ejes traseros) • 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 	9	Entregar a los 6 circuitos (22, 23, 24, 25 y 26) los 10 +/- 3 bar de presión recibida
	Presión de apertura circuito 21: 9 (- 0,3) bar	Entrega aire por 22 a la válvula de freno de servicio		10	Cerrar el circuito alimentado si se presenta falla en este (presión menor a la de apertura)
	Presión de apertura circuito 22: 9 (- 0,3) bar	Entrega aire por 23 a válvula de freno de estacionamiento		11	Priorizar la presurización en los circuitos 21 y 22
	Presión de apertura circuito 23: 7,5 (- 0,3) bar	Entrega aire por 24 a línea de accesorios (ángel de la guarda)			
	Presión de apertura circuito 24: 7,5 (- 0,3) bar	Entrega aire por 25 a línea de accesorios			
		Entrega aire por 26 a línea de suspensión			

Tabla 5. Continuación




ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	INTERFASES	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	Cód. Fun.	FUNCIONES
5. VÁLVULA FRENO DE SERVICIO (P/N 461 315 246 0 WABCO)	Presión de alimentación: 10 bar	Recibe aire por 11 de 21 de la válvula 4 vías	<p>Es la responsable de modular la presión del sistema del freno de servicio, a través de dos circuitos distintos, con la finalidad de controlar la presión de aire en los cilindros de frenos. Cuando el conductor aplica los freno de servicio usando el pedal del freno, una parte de los dos émbolos se mueve dentro de la válvula del freno, cerrando el escape de la válvula y abriendo conductos dentro de la válvula que permiten que la presión de aire esperando allí, pase y sea entregada a los sistemas del freno trasero y delantero.</p> 	12	Modular la presión del freno de servicio a través del pedal (0 - 10 bar)
	Presión en punto nulo: 0 +0,1 bar	Recibe aire por 12 de 22 de la válvula 4 vías		13	Entregar la presión modulada al sistema de freno delantero
	Presión en punto máx. 10 bar	Entrega señal de aire por 21 a 4 de la válvula ALB y a 4 de la válvula relé de 3er eje		14	Entregar la presión modulada al sistema de freno trasero
		Entrega aire por 22 a cámaras de 1er eje y señal a 4 de la relé de 3er eje			
6. VÁLVULA FRENO DE ESTACIONAMIENTO (P/N 961 723 214 0 WABCO)	Presión de alimentación: 10 bar	Recibe aire por 11 de 23 de la válvula 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> 	15	Entregar la presión de alimentación por 21 cuando es accionada para liberar el freno de estacionamiento
	Presión de entrada máx.: 11 bar	Entrega aire por 21 a 4 de la válvula relé de 2do eje		16	Mantener la palanca en su posición cuando el freno es accionado
	Límites de temperatura: -40°C a 80 °C	Descarga aire por 3 a la atmósfera		17	Puño de la válvula debe retornar automáticamente
	Frenado completo: 0 bar				
7. VÁLVULA RELÉ (P/N 176204DW KNORR - 973 011 014 0 WABCO)	Presión máxima de servicio: 20 bar	Relé de 2do eje recibe aire a presión de operación por 1 proveniente de 23 de la válvula 4 circuitos	<p>Produce el accionamiento y desaccionamiento del freno trasero más rápido, son usadas principalmente en vehículos para aplicar y liberar los frenos de estacionamiento o 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 alta capacidad de aire necesaria para el frenado es entregada directamente y el aire no tiene que correr hasta la válvula del freno y después hasta los frenos. La fuerza del freno es ajustable y cuando la válvula relé lo libera, escapa a la atmósfera.</p> 	18	Liberar rápidamente el aire por 3 cuando llegue la señal del freno de estacionamiento
	Límites de temperatura: -40°C a 80 °C	Relé de 3er eje recibe aire a presión de operación por 1 proveniente de 21 de la válvula 4 circuitos		19	Transferir el aire proveniente de 23 de la válvula 4 circuitos a las cámaras de freno cuando no hay señal del freno de estacionamiento
	Escape admisible a la presión máxima de operación: Vn <= 10 cm3/min	Relé de 2do eje entrega aire a presión por 2 a 12 de las cámaras trístop de 2do eje			
	Límites de temperatura: -40°C a 80 °C	Relé de 3er eje entrega aire a presión por 2 a 11 de las cámaras trístop de 2do eje			
		Descargan aire a la atmósfera por 3 al llegar la señal por 4 de 21 del freno de estacionamiento			

Tabla 5. Continuación


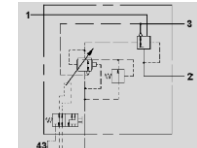
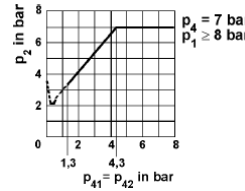

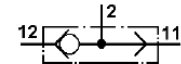

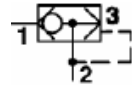
ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	INTERFASES	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	Cód. Fun.	FUNCIONES
8. VÁLVULA SENSIBLE A LA CARGA ALB (P/N 475 711 076 0 WABCO)	Rango de regulación: 1:8	Recibe aire presurizado por 1 que viene de 21 de la válvula 4 vías	<p>Es la encargada de controlar la presión de aire en las cámaras de freno traseras en función de la carga del vehículo. El control automático depende de la presión contenida al interior de los fuelles neumáticos que a su vez corresponde a la carga del vehículo.</p>   	20	Garantizar presión de frenado independientemente de la carga del vehículo
	Presión máx.: 13 bar	Entrega aire regulado por 2 a las electroválvulas de ABS de 2do eje		21	Reducir (Según gráfico) la presión neumática en 2 cuando el vehículo se encuentra sin carga
	p41/42/43 máx.: 13 bar	Recibe señal neumática de fuelles de 2do eje lado der por 41		22	Incrementar (Según gráfico) la presión neumática en 2 cuando el vehículo se encuentra a media carga
	p4 máx.: 10 bar	Recibe señal neumática de fuelles de 2do eje lado izq. por 42		23	Incrementar (Según gráfico) la presión neumática en 2 cuando el vehículo se encuentra con carga total
	p41/42 sin presión: 1,3 bar	Recibe señal neumática por 4 de 21 de la válvula de freno de servicio		24	Descargar aire de 2 a la atmósfera cuando el sistema de freno de servicio es liberado.
	p2 sin presión: 3,3 bar (p4= 10 bar)	Descarga aire a la atmósfera por 3			
	p41/42 en carga: 4,3 bar				
	p2 con carga: 7 bar (p4= 10 bar)				
9. VÁLVULA 2 VÍAS (434 208 037 0 WABCO)	Presión de operación máx.: 12 bar	Recibe aire por 11 de 21 de la válvula freno de servicio	<p>Es utilizada con la finalidad de conducir para un único circuito aire comprimido, proveniente de dos circuitos diferentes.</p>  	25	Entregar aire a un único circuito con 2 alimentaciones
	Diámetro nominal: 12 mm	Recibe aire por 12 de 22 de la válvula freno de servicio		26	Evitar el retorno de aire si uno de los 2 circuitos de entrada se queda sin presión
	Límites de temperatura: -40°C a 80 °C	Entrega aire por 2 a 4 de la válvula relé de 3er eje			
10. VÁLVULA DE ESCAPE RÁPIDO (WABCO 973 500 040 0)	Presión máx. de servicio: 20 bar	Recibe aire a presión por 1 de línea de freno de servicio o estacionamiento	<p>Válvula de escape rápido: su función es liberar rápidamente el aire comprimido proveniente de las cámaras de freno de servicio trasero, tras el frenado.</p>  	27	Entregar el aire a presión cuando el freno de servicio es accionado por las 2 salidas impidiendo el escape por el desfogue 3.
	Escape admisible a la presión máxima de operación: Vn <= 10 cm ³ /min	Entrega aire por 2 a las cámaras de freno		28	Descargar aire de 2 a la atmósfera cuando el sistema de freno de estacionamiento es liberado.
	Límites de temperatura: -40°C a 80 °C	Descarga aire por 3 a la atmósfera			

Tabla 5. Continuación



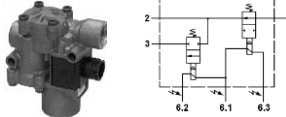
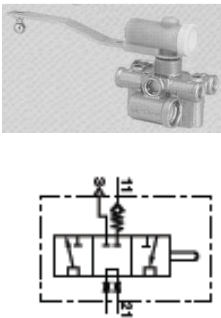
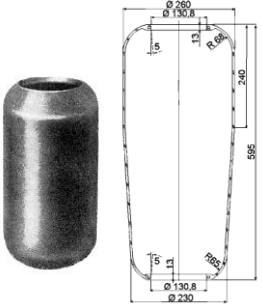
ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	INTERFASES	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	Cód. Fun.	FUNCIONES
11. CÁMARA DE AIRE SENCILLA (423 105 704 0 WABCO)	Tipo: 20"	Reciben aire a presión de las electroválvulas de ABS	<p>Convierte la presión de aire en una fuerza mecánica que acciona las mordazas de freno del vehículo mediante la palanca ajustadora de juego y están montados en el eje delantero del vehículo.</p> 	29	Convertir la energía neumática en energía mecánica, cuando se usa el freno de servicio
	Presión de funcionamiento: máx. 10 bar	Entregan fuerza mecánica mediante el movimiento del vástago a los ajustadores de juego		30	Retornar el vástago a su posición cuando no hay presión neumática, cuando se libera el freno de servicio
	Oscilación del vástago: máx. 3°				
	Límites de temperatura: -40°C a 80 °C				
12. CÁMARA DE FRENO COMBINADA O TRISTOP (925 321 424 0 WABCO)	Tipo: 24" / 30"	Recibe la presión 3er eje de 21 de la válvula distribuidora y de 2do eje de 2 de la válvula sensible	<p>Están montados en los ejes de las ruedas y accionan los frenos traseros del vehículo (freno de servicio, de estacionamiento y de emergencia). Están compuestos de separadores de aire y actuadores mecánicos en una sola carcasa. Conectado a la válvula del 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 se 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 vías opuestas. El actuador de servicio requiere presión de aire para aplicar los frenos, mientras el actuador de estacionamiento o emergencia, usa la presión de aire para liberar los frenos.</p> 	31	Accionar el vástago cuando no hay presión en 12
	Presión de funcionamiento: máx. 10 bar	Recibe presión de 23 de la válvula de freno de estacionamiento o de 2 de la relé		32	Liberar el vástago cuando hay presión en 12 y no hay presión en 11
	Presión de desacoplo: 5.1 bar	Entregan fuerza mecánica mediante el movimiento del vástago a los ajustadores de juego		33	Accionar el vástago cuando hay presión en 11
	Límites de temperatura: -40°C a 80 °C				
13. VÁLVULA MODULADORA ABS (472 195 016 0 WABCO)	Presión de funcionamiento: máx. 13 bar	Las válvulas solenoides de 1er eje reciben presión de 22 de la válvula freno de servicio	<p>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 al eje continuamente el cual recoge la información del movimiento rotativo de la rueda por medio de una rueda dentada. Los pulsos eléctricos generados dentro del sensor se transmiten a la ECU, la cual los utiliza para calcular la velocidad de la rueda. Al mismo tiempo, la ECU utiliza un cierto modo de referencia para determinar una velocidad que se aproxima a la velocidad del vehículo, que no está realmente medida. De toda esta información de forma continua la ECU calcula la aceleración de la rueda (+ b) o deceleración de la rueda (-b) y valores de frenado deslizante. Cuando los valores determinados de deslizamiento se superan, el valor de control de solenoide es accionado. Esto hace que la presión en el cilindro de freno pueda ser limitada o reducida, manteniendo así la rueda dentro de su rango óptimo de deslizamiento.</p> 	34	Permitir el paso de aire a las cámaras de freno mientras el módulo de ABS no envíe ninguna señal
	Voltaje: 24 V +/- 10%	Las válvulas solenoides de 2do eje reciben presión de 2 de la válvula ALB		35	Liberar el aire comprimido a la atmósfera cuando la señal del módulo de ABS así lo indique
	Corriente nominal 1650 mA	Las válvulas solenoides de 3er eje reciben presión de 2 de la válvula relé de 3er eje		36	Bloquear el paso de aire a las cámaras de freno cuando el módulo de ABS envíe señal
	Límites de temperatura: -40°C a 45 °C	Recibe señal eléctrica del módulo de ABS por 6.1, 6.2 y 6.3			

Tabla 5. Continuación

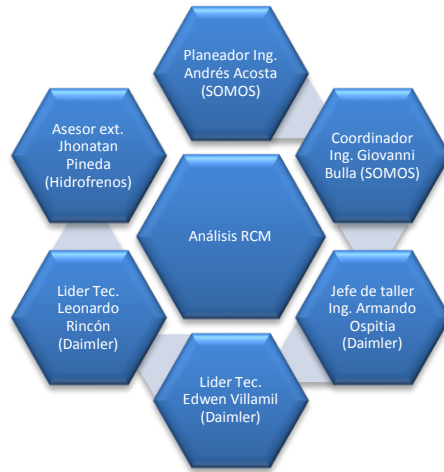
ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	INTERFASES	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	Cód. Fun.	FUNCIONES
14. VÁLVULA NIVELADORA (P/N KNORR Delantera 500005102., 2DO Y 3ER EJE DERECHA 500005101, 2DO Y 3ER EJE IZQUIERDA 500005102	Presión de funcionamiento: máx. 8 bar	Reciben aire de 26 de la 4 vías por entrada 11	<p>En vehículos equipados con suspensión neumática la válvula de nivelación asegura que los fuelles neumáticos del eje mantengan una altura constante del chasis independiente de la carga del vehículo</p> 	37	Permitir el paso de aire a 21 cuando aumenta el peso en el interior del bus
	Rosca: M12 x 1,5	Entrega aire por 2 a 2 fuelles neumáticos		38	Permitir el desfogue de aire por 3 cuando disminuye el peso al interior del bus
	Longitud de nivelamiento: 175 mm	Es comandada por la varilla que va conectada al bastidor		39	Mantener sellado el flujo de aire en cualquier dirección cuando el peso del bus es constante.
	Límites de temperatura: -40°C a 80 °C				
15. FUELLE NEUMÁTICO (P/N A3643277301 DAIMLER)	Apertura inferior y superior: 130,8 mm	Soporte entre el bastidor y la carrocería	<p>Los fuelles de suspensión 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 utilizan como elementos constructivos elásticos entre el eje y el chasis del vehículo</p> 	40	Absorber los impactos del camino, para dar confort a los usuarios
	Altura total: 595 mm	Entrada y salida de aire por la base del fuelle		41	Mantener distancia entre el bastidor y la carrocería

Fuente. El autor

3.4. ANÁLISIS FMEA Y DEFINICIÓN DE TAREAS

Continuando con la metodología del RCM luego de definidas las características técnicas de los componentes del sistema se presenta el análisis de los modos y efectos de falla de los mismos, para el cual se integró un equipo interdisciplinario (Ver figura 14.) con todos los actores del mantenimiento de la flota, los cuales participaron en la determinación de tareas para eliminar o mitigar las consecuencias de las fallas potenciales.

Figura 14. Equipo de trabajo RCM



Fuente. El autor

Para la definición de funciones, el análisis de los modos y efectos de falla y la definición de tareas se estructuró bajo la metodología del FMEA y se estableció la criticidad del mismo en función las consecuencias para las cuatro principales perspectivas: ambiental, humano, económico 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 tabla 6.

Tabla 6. Matriz de riesgos

CONSECUENCIA	CONSECUENCIAS				PROBABILIDAD					
	AMBIENTALES	HUMANAS	COSTOS	IMAGEN	IMPOSIBLE > 10 Años	IMPROBABLE < 10 Años	REMOTO < 5 Años	OCASIONAL < 2 Años	MODERADO < 6 Meses	FRECUENTE ± 1 Mes
Catastrófico	Efectos irreversibles	Mas de un muerto	>100	Internacional	A1	B1	C1	D1	E1	F1
Critico	Efectos irreversibles en menos de 2 años	Incapacidad permanente	ENTRE 100M - 10M	Nacional	A2	B2	C2	D2	E2	F2
Marginal	Efectos reversibles en menos de 6 meses	Incapacidad temporal	ENTRE 10 M- 1M	Regional	A3	B3	C3	D3	E3	F3
Insignificante	Efectos pueden ser controlados	Lesiones	ENTRE 1M- .05M	Local	A4	B4	C4	D4	E4	F4
Ninguno	No afecta el medio ambiente	Ninguna	<0.05M	Ninguno	A5	B5	C5	D5	E5	F5

OPCIONAL IMPORTANTE CRITICO

Fuente. ORTIZ, Daniel. Análisis de riesgos: Visualización en matriz. En: Especialización en Gerencia de mantenimiento (17: 9-10, Diciembre: Bogotá). Memorias. Bogotá: UIS, 2011 p. 4.

3.4.1. Análisis FMEA y definición de tareas para buses UPA400. En la tabla 7 se presenta el desarrollo de los modos y efectos de falla para todas las funciones de los componentes del sistema, en conjunto con las tareas y frecuencias para eliminar o mitigar las consecuencias de falla.

Tabla 7. Análisis FMEA y definición de tareas para buses UPA400

ELEMENTO	1	1	1	1	1	1
Cód... Func.	1					
Función	Comprimir el aire existente en la atmósfera a presión de operación de 8 bar					
Cód.. FF	1.1					
Descripción Falla Funcional	Comprime el aire a una presión inferior a 8 bar					
Cód.. MF	1.1.1	1.1.2	1.2.1	1.2.2	1.2.3	
Modo de falla (Causa de la falla)	Válvula de admisión se queda parcialmente abierta por exceso de carbonilla	Anillo de compresión presenta juego con la camisa (apertura entre puntas >0.35 mm)	Engranaje suelto, por ruptura del engranaje y/o desgaste del buje	Empaquetadura de culata quemada por incremento de temperatura a causa de exceso de acumulación de carbonilla	Manómetro de presión neumática del habitáculo del operador indica presión igual o inferior a 6 bar, testigo de presión de aire y testigo de nivel de refrigerante encendido. Cuando llega a presión inferior a 6 bar el bus bloquea inmediatamente las cámaras de frenos (trípode), inmovilizándolo, el aire comprimido pasa al sistema de refrigeración ocasionando pérdida de refrigerante por el desfogue del tanque de expansión, ocasiona pérdida aproximada de \$2.000.000	Manómetro de presión neumática del habitáculo del operador indica presión igual o inferior a 6 bar, testigo de presión de aire y testigo de nivel de refrigerante encendido. Cuando llega a presión inferior a 6 bar el bus bloquea inmediatamente las cámaras de frenos (trípode), inmovilizándolo, el aire comprimido pasa al sistema de refrigeración ocasionando pérdida de refrigerante por el desfogue del tanque de expansión, ocasiona pérdida aproximada de \$1.500.000
Descripción Efectos (Qué sucede cuando falla)	Manómetro de presión neumática del habitáculo del operador indica presión menor a 8 bar pero superior a 6 bar evidenciándose lenta recuperación de la presión, se nota 1 descarga ráfida con el uso de los frenos. Permite rodar el vehículo con precaución un trayecto corto, implicando cambio de bus en la próxima cabecera. Pérdida aproximada \$500.000.	Genera excesivo paso de aceite ocasionando acumulación de carbonilla en el culatín y en la tubería de salida, promoviendo el incremento de temperatura de operación. En los casos más críticos el manómetro de presión neumática del habitáculo del operador indica presión menor a 8 bar pero superior a 6 bar evidenciándose lenta recuperación de la presión, se nota 1 descarga ráfida con el uso de los frenos y permite la conducción con precaución. Pérdida aproximada \$1.000.000	Manómetro de presión neumática del habitáculo del operador indica presión igual o inferior a 6 bar y testigo de presión de aire encendido. Cuando llega a presión inferior a 6 bar el bus bloquea inmediatamente las cámaras de frenos (trípode), inmovilizándolo, el motor apaga al conductor no apaga el motor (las partes del engranaje entran a la distribución del motor averiándola, obligando a los usuarios a realizar transbordó generando insatisfacción, ocasiona pérdida aproximada de \$10.000.000	Manómetro de presión neumática del habitáculo del operador indica presión igual o inferior a 6 bar y testigo de presión de aire encendido. Cuando llega a presión inferior a 6 bar el bus bloquea inmediatamente las cámaras de frenos (trípode), inmovilizándolo, el aire comprimido pasa al sistema de refrigeración ocasionando pérdida de refrigerante por el desfogue del tanque de expansión, ocasiona pérdida aproximada de \$1.500.000	Manómetro de presión neumática del habitáculo del operador indica presión igual o inferior a 6 bar, testigo de presión de aire y testigo de nivel de refrigerante encendido. Cuando llega a presión inferior a 6 bar el bus bloquea inmediatamente las cámaras de frenos (trípode), inmovilizándolo, el aire comprimido pasa al sistema de refrigeración ocasionando pérdida de refrigerante por el desfogue del tanque de expansión, ocasiona pérdida aproximada de \$2.000.000	
FALLA OCULTA	NO	NO	NO	NO	NO	NO
R. Ambiental	C4	C4	D4	D4	D4	D4
R. Humano	C4	C4	E4	E4	E4	E4
R. Económ	E4	E4	D2	E3	E3	E3
R. Imagen	F4	E4	D4	D4	D4	D4
Vr. Criticidad	6	6	9	9	9	9
Criticidad	IMPORTANTE	IMPORTANTE	CRITICO	CRITICO	CRITICO	CRITICO
Valor del riesgo económico	500.000	1.000.000	10.000.000	1.500.000	2.000.000	
TIPO DE DECISIÓN	O1- MONITOREO DE CONDICIÓN	O1- MONITOREO DE CONDICIÓN	O2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO	O1- MONITOREO DE CONDICIÓN	O1- MONITOREO DE CONDICIÓN	O1- MONITOREO DE CONDICIÓN
DESCRIPCIÓN TAREA	Se debe tomar el tiempo de carga del sistema neumático (Debe ser menor a 8 minutos). En caso de ser mayor el tiempo, se debe realizar prueba de paso de aceite a la salida (si se encuentra carbonilla se debe desmontar culatín para descarbonización, verificar la posición de los anillos y realizar medición por medio de galgas de la distancia entre puntas de los anillos)	Se debe tomar el tiempo de carga del sistema neumático (Debe ser menor a 8 minutos). En caso de ser mayor el tiempo, se debe realizar prueba de paso de aceite a la salida (si se encuentra carbonilla se debe desmontar culatín para descarbonización, verificar la posición de los anillos y realizar medición por medio de galgas de la distancia entre puntas de los anillos)	Se debe desmontar el compresor cada 500.000 km para realizar descarbonización de culatín, se debe cambiar el rodamiento y el buje del cigüeñal, lubricar y armar	Se debe tomar el tiempo de carga del sistema neumático (Debe ser menor a 8 minutos). En caso de ser mayor el tiempo, se debe realizar prueba de paso de aceite a la salida (si se encuentra carbonilla se debe desmontar culatín para descarbonización, verificar la posición de los anillos y realizar medición por medio de galgas de la distancia entre puntas de los anillos)	Se debe tomar el tiempo de carga del sistema neumático (Debe ser menor a 8 minutos). En caso de ser mayor el tiempo, se debe realizar prueba de paso de aceite a la salida (si se encuentra carbonilla se debe desmontar culatín para descarbonización, verificar la posición de los anillos y realizar medición por medio de galgas de la distancia entre puntas de los anillos)	
FREC.	15.000 Km	15.000 Km	500.000 KM	15.000 Km	15.000 Km	
RECURSOS	Técnico mecánico, reloj, galgas, papel blanco y soporte	Técnico mecánico, reloj, galgas, papel blanco y soporte,	Técnico mecánico, kit de empaquetaduras, laminitas, rodamiento, buje y casquetes	Técnico mecánico, reloj, galgas, papel blanco y soporte,	Técnico mecánico, reloj, galgas, papel blanco y soporte,	
Cod.. Tarea	T1	T2	T3	T2	T2	

Tabla 7. Continuación

ELEMENTO		1		2		2		2		1		1			
Cód.. Func.	Función	Cód.. FF	Descripción Falla Funcional	Cód.. MF	Modo de falla (Causa de la falla)	Cód.. FF	Descripción Falla Funcional	Cód.. MF	Modo de falla (Causa de la falla)	Cód.. FF	Descripción Falla Funcional	Cód.. MF	Modo de falla (Causa de la falla)		
6	Regular el aire proveniente del compresor a máximo 8,1 bar	5.1	Presión de salida al sistema neumático mayor a 8,1 bar	5.1.1	Válvula regulada a más de 8,1 bar	5.1	Dañó prematuro del filtro secador. Se puede ver la presión en el habitáculo del operador. Pérdida aproximada \$100,000	5.1.1	Manómetro de presión neumática del habitáculo del operador indica presión igual o inferior a 6 bar, testigo de bloqueo inmediatamente las cámaras de frenos (tristop), el bus comprimido pasa al sistema de refrigeración ocasionando pérdida de refrigerante por el desfogue del tanque de expansión, ocasiona pérdida aproximada de \$1,500,000	4	Disipar el calor producido al refrigerante del motor.	4.1	Empaqueadura de culata quemada por alta temperatura		
6.1	Regular el aire proveniente del compresor a máximo 8,1 bar	5.1	Presión de salida al sistema neumático mayor a 8,1 bar	5.1.1	Válvula regulada a más de 8,1 bar	5.1	Dañó prematuro del filtro secador. Se puede ver la presión en el habitáculo del operador. Pérdida aproximada \$100,000	5.1.1	Manómetro de presión neumática del habitáculo del operador indica presión igual o inferior a 6 bar, testigo de bloqueo inmediatamente las cámaras de frenos (tristop), el bus comprimido pasa al sistema de refrigeración ocasionando pérdida de refrigerante por el desfogue del tanque de expansión, ocasiona pérdida aproximada de \$2,000,000	4.1	Disipar el calor producido al refrigerante del motor.	4.1	Empaqueadura de culata quemada por alta temperatura		
6.1.2	Muelle de diafragma de apertura a la atmósfera mal regulado a menos de 8,1 bar	6.1.1	Diafragma de apertura queda directo por exceso de carbonilla en el diafragma de apertura a la atmósfera	6.1.1	Aire comprimido es enviado a la atmósfera y no carga el sistema neumático. Manómetro de presión neumática del habitáculo del operador indica presión igual o inferior a 6 bar (testigo de presión de aire encendido), el bus bloquea inmediatamente las cámaras de frenos (tristop), inmovilizándolo. Pérdida aproximada \$1,000,000	6.1.1	Aire comprimido es enviado a la atmósfera y no carga el sistema neumático. Manómetro de presión neumática del habitáculo del operador indica presión igual o inferior a 6 bar (testigo de presión de aire encendido), el bus bloquea inmediatamente las cámaras de frenos (tristop), inmovilizándolo. Pérdida aproximada \$1,000,000	6.1.1	Aire comprimido es enviado a la atmósfera y no carga el sistema neumático. Manómetro de presión neumática del habitáculo del operador indica presión igual o inferior a 6 bar (testigo de presión de aire encendido), el bus bloquea inmediatamente las cámaras de frenos (tristop), inmovilizándolo. Pérdida aproximada \$1,000,000	6.1.1	Aire comprimido es enviado a la atmósfera y no carga el sistema neumático. Manómetro de presión neumática del habitáculo del operador indica presión igual o inferior a 6 bar (testigo de presión de aire encendido), el bus bloquea inmediatamente las cámaras de frenos (tristop), inmovilizándolo. Pérdida aproximada \$1,000,000	6.1.1	Aire comprimido es enviado a la atmósfera y no carga el sistema neumático. Manómetro de presión neumática del habitáculo del operador indica presión igual o inferior a 6 bar (testigo de presión de aire encendido), el bus bloquea inmediatamente las cámaras de frenos (tristop), inmovilizándolo. Pérdida aproximada \$1,000,000	6.1.1	Aire comprimido es enviado a la atmósfera y no carga el sistema neumático. Manómetro de presión neumática del habitáculo del operador indica presión igual o inferior a 6 bar (testigo de presión de aire encendido), el bus bloquea inmediatamente las cámaras de frenos (tristop), inmovilizándolo. Pérdida aproximada \$1,000,000
NO		NO		NO		NO		NO		NO		NO			
D5		E5		D5		D5		D5		D5		D5			
D5		D4		D5		D5		D5		D5		D5			
D5		E4		D5		D5		D5		D5		D5			
D5		E4		D5		D5		D5		D5		D5			
4		7		4		4		4		4		4			
OPCIONAL		IMPORTANTE		OPCIONAL		OPCIONAL		OPCIONAL		OPCIONAL		OPCIONAL			
100,000		1,000,000		100,000		100,000		100,000		100,000		100,000			
N1-MONITOREO DE CONDICION	Se debe verificar la presión de descarga de la válvula reguladora en el manómetro del habitáculo del operador	O1-MONITOREO DE CONDICION	Se debe verificar presencia de aceite en el filtro secador	N1-MONITOREO DE CONDICION	Se debe verificar la presión de descarga de la válvula reguladora en el manómetro del habitáculo del operador	O1-MONITOREO DE CONDICION	Se debe tomar el tiempo de carga del sistema neumático (Debe ser menor a 8 minutos). En caso de ser mayor el tiempo, se debe realizar prueba de paso de aceite a la salida (si se encontrase carbonilla se debe desmontar culatín para descarbonización, verificar la posición de los anillos y realizar medición por medio de galgas de la distancia entre puntas de los anillos	O1-MONITOREO DE CONDICION	Se debe tomar el tiempo de carga del sistema neumático (Debe ser menor a 8 minutos). En caso de ser mayor el tiempo, se debe realizar prueba de paso de aceite a la salida (si se encontrase carbonilla se debe desmontar culatín para descarbonización, verificar la posición de los anillos y realizar medición por medio de galgas de la distancia entre puntas de los anillos	O1-MONITOREO DE CONDICION	Se debe tomar el tiempo de carga del sistema neumático (Debe ser menor a 8 minutos). En caso de ser mayor el tiempo, se debe realizar prueba de paso de aceite a la salida (si se encontrase carbonilla se debe desmontar culatín para descarbonización, verificar la posición de los anillos y realizar medición por medio de galgas de la distancia entre puntas de los anillos	O1-MONITOREO DE CONDICION	Se debe tomar el tiempo de carga del sistema neumático (Debe ser menor a 8 minutos). En caso de ser mayor el tiempo, se debe realizar prueba de paso de aceite a la salida (si se encontrase carbonilla se debe desmontar culatín para descarbonización, verificar la posición de los anillos y realizar medición por medio de galgas de la distancia entre puntas de los anillos		
15,000 km		15,000 Km		15,000 km		15,000 km		15,000 km		15,000 km		15,000 km			
Técnico mecánico, llave bristol		Técnico mecánico, llave para filtros		Técnico mecánico, llave bristol		Técnico mecánico, llave bristol		Técnico mecánico, llave bristol		Técnico mecánico, llave bristol		Técnico mecánico, llave bristol			
T7		T8		T7		T7		T7		T7		T7			
FREC.		FREC.		FREC.		FREC.		FREC.		FREC.		FREC.			
RECURSOS		RECURSOS		RECURSOS		RECURSOS		RECURSOS		RECURSOS		RECURSOS			
Cód.. Tarea		Cód.. Tarea		Cód.. Tarea		Cód.. Tarea		Cód.. Tarea		Cód.. Tarea		Cód.. Tarea			
T2		T2		T2		T2		T2		T2		T2			

Tabla 7. Continuación

ELEMENTO	2	3	3	4	4	4	4	
Cód.. Func.	7	8	9	10	11	11	12	
Función	Cargar el sistema neumático con aire comprimido cuando la presión neumática del mismo disminuya por debajo de 7,7 bar	Eliminar el contenido de humedad que se encuentra en el aire comprimido	Eliminar el contenido de aceite que se encuentra en el aire comprimido	Entregar a los 3 circuitos (22, 23 y 24) 8 bar	Cerrar el circuito alimentado si se presenta falla en este (presión <4,5 bar)	Alimentar los circuitos restantes a 8 bar cuando se presente falla en uno de los circuitos (presión <4,5 bar)		
Cód.. FF	7.1	8.1	9.1	10.1	11.1	12.1		
Descripción Falla Funcional	No cargar el sistema neumático con aire comprimido aun cuando la presión disminuya por debajo de 7 bar	No elimina el contenido de humedad del aire comprimido	No elimina el contenido de aceite del aire comprimido	No entrega 8 bar en los circuitos 22, 23 y 24	No cierra el circuito alimentado, descargando los demás circuitos	Alimenta los circuitos restantes con baja presión por pérdida de aire en el circuito con falla		
Cód.. MF	7.1.1	8.1.1	9.1.1	10.1.1	11.1.1	12.1.1		
Modo de Falla (Causa de la falla)	Presión de cierre regulada a menos de 7,7 bar	Material higroscópico del cartucho agotado	Material coalescente del cartucho agotado	Contaminación por aceite	Contaminación por aceite	Contaminación por aceite		
Descripción Efectos (Qué sucede cuando falla)	Manómetro de presión neumática del habitáculo del operador indica presión inferior a 8 bar y superior a 6 bar. Tiempo de carga superior a 8 minutos. Pérdida aproximada \$100,000	Paso de agua al sistema neumático ocasionando corrosión de las válvulas. Pérdida aproximada \$3'000,000	Paso de aceite al sistema neumático ocasionando contaminación en las válvulas. Pérdida aproximada \$2'000,000	Válvula de cierre de los circuitos se queda cerrada pegada. Pérdida aproximada \$1'000,000	Válvula de cierre de los circuitos se queda abierta pegada. Los demás circuitos presentan pérdida progresiva de presión neumática. Pérdida aproximada \$6'000,000	Válvula de cierre de los circuitos se queda abierta pegada. Los demás circuitos presentan pérdida progresiva de presión neumática. Pérdida aproximada \$6'000,000	Válvula de cierre de los circuitos se queda abierta pegada. Los demás circuitos presentan pérdida progresiva de presión neumática. Pérdida aproximada \$6'000,000	
FALLA OCULTA	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	
R. Ambiental	D5	D5	D5	D5	C4	C4	C4	
R. Humano	D5	D5	D5	D3	C2	C2	C2	
R. Económ	D5	D3	D3	D4	C3	C3	C3	
R. Imagen	D5	D5	D5	D4	C2	C2	C2	
Vr. Criticidad	4	5	5	7	9	9	9	
Criticidad	OPCIONAL	OPCIONAL	OPCIONAL	IMPORTANTE	CRITICO	CRITICO	CRITICO	
Valor del riesgo económico	100.000	3.000.000	2.000.000	1.000.000	6.000.000	6.000.000	6.000.000	
TIPO DE DECISIÓN	O2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO	O3 - CAMBIO CÍCLICO	O3 - CAMBIO CÍCLICO	O2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO	H2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO	H2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO	H2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO	
DESCRIPCIÓN TAREA	Se debe verificar la presión de carga de la válvula reguladora en banco, cada vez que requiera ser montada	Se debe cambiar el cartucho	Se debe cambiar el cartucho	Se debe cambiar el cartucho	Cambio de juego de reparación en la válvula 4 vías (KNORR 120210 - WABCO 934 702 004 2) y calibración en banco	Cambio de juego de reparación en la válvula 4 vías (KNORR 120210 - WABCO 934 702 004 2) y calibración en banco	Cambio de juego de reparación en la válvula 4 vías (KNORR 120210 - WABCO 934 702 004 2) y calibración en banco	
FREC.	Cada cambio	90.000 Km	90.000 Km	180.000 Km	180.000 Km	180.000 Km	180.000 Km	
RECURSOS	Técnico mecánico, banco neumático	Técnico mecánico y cartucho secador	Técnico mecánico y cartucho secador	Técnico mecánico, juego de reparación (120210 ó 934 702 004 2) y banco neumático	Técnico mecánico, juego de reparación (120210 ó 934 702 004 2) y banco neumático	Técnico mecánico, juego de reparación (120210 ó 934 702 004 2) y banco neumático	Técnico mecánico, juego de reparación (120210 ó 934 702 004 2) y banco neumático	
Cód. Tarea	T7	T9	T9	T10	T10	T10	T10	

Tabla 7. Continuación

ELEMENTO	4	4	4	5	5	5	5
Cód.. Func.	13	14	15	16	17	17.1	17.1.1
Función	Alimentar los circuitos independientemente con 8 bar cuando la presión en cualquiera de ellos disminuya por debajo de 6,8 bar.	Priorizar la presurización en los circuitos 21 y 22	Modular la presión del freno de servicio a través del pedal (0 - 8 bar)	Entregar la presión modulada al sistema de freno delantero	Entregar la presión modulada al sistema de freno trasero	Entregar la presión modulada al sistema de freno delantero	Entregar la presión modulada al sistema de freno delantero
Cód.. FF	13.1	14.1	15.1	16.1	17.1	17.1.1	17.1.1
Descripción Falla Funcional	No entrega 8 bar en los circuitos 22, 23 y 24	No cargar primero el aire en los circuitos de freno 21 y 22	Entrega menor presión que la modulada	No entrega presión modulada al sistema de freno delantero	No entrega presión modulada al sistema de freno trasero	Entrega menor presión que la modulada	Entrega menor presión que la modulada
Cód.. MF	13.1.1	14.1.1	15.1.1	16.1.1	17.1.1	17.1.1	17.1.1
Modo de Falla (Causa de la falla)	Contaminación por aceite	Impurezas en los cheques internos de la válvula	Obstrucciones del émbolo central quedan parcialmente cerradas	Obstrucción a la salida del émbolo del circuito 1	Obstrucción a la salida del émbolo del circuito 1	Obstrucciones del émbolo central quedan parcialmente cerradas	Obstrucciones del émbolo central quedan parcialmente cerradas
Descripción Efectos (Qué sucede cuando falla)	Válvula de cierre de los circuitos se queda cerrada pegada. Pérdida aproximada \$1'000,000	Carga primero el circuito de accesorios y luego el circuito de frenos, si el consumo de aire de los accesorios es elevado se verá disminuida la presión de aire en los circuitos de frenos. Pérdida aproximada de \$5'000,000	La presión modulada escapa por el desfogue inferior de la válvula (fuga audible para el conductor). La presión de los circuitos de freno delanteros y traseros se ve disminuida y por tanto la eficacia del frenado. Pérdida aproximada mayor a 10'000,000	La presión modulada no ingresa al circuito del sistema de freno delantero, no obstante el circuito de freno trasero recibe la presión neumática. Por tal motivo se ve disminuida la eficacia del frenado. Pérdida económica aproximada mayor a \$10'000,000	La presión modulada no ingresa al circuito del sistema de freno delantero, no obstante el circuito de freno trasero recibe la presión neumática. Por tal motivo se ve disminuida la eficacia del frenado. Pérdida económica aproximada mayor a \$10'000,000	La presión modulada no ingresa al circuito del sistema de freno delantero, no obstante el circuito de freno trasero recibe la presión neumática. Por tal motivo se ve disminuida la eficacia del frenado. Pérdida económica aproximada mayor a \$10'000,000	La presión modulada no ingresa al circuito del sistema de freno delantero, no obstante el circuito de freno trasero recibe la presión neumática. Por tal motivo se ve disminuida la eficacia del frenado. Pérdida económica aproximada mayor a \$10'000,000
FALLA OCULTA	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
R. Ambiental	D5	B5	C5	B5	B5	B5	B5
R. Humano	D3	B2	B2	B2	B2	B2	B2
R. Económ	D4	B2	B2	B2	B2	B2	B2
R. Imagen	D4	B3	B2	B2	B2	B2	B2
Vr. Criticidad	7	7	7	7	7	7	7
Criticidad	IMPORTANTE	IMPORTANTE	IMPORTANTE	IMPORTANTE	IMPORTANTE	IMPORTANTE	IMPORTANTE
Valor del riesgo económico	1.000.000	5.000.000	10.000.000	10.000.000	10.000.000	10.000.000	10.000.000
TIPO DE DECISIÓN	O2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO	O2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO	S2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO	S2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO	S2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO	S2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO	S2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO
DESCRIPCIÓN TAREA	Cambio de juego de reparación en la válvula 4 WABCO 934 702 004 2) y calibración en banco	Se debe calibrar en banco neumático antes de cada cambio según presiones de apertura y cierre (6,8 / 4,5 bar) en el orden 21 y 22 y luego 23 y 24,	Cambio de juego de reparación válvula freno de servicio (KNORR 183121 - WABCO 461 315 910 2) y calibración en banco	Cambio de juego de reparación válvula freno de servicio (KNORR 183121 - WABCO 461 315 910 2) y calibración en banco	Cambio de juego de reparación válvula freno de servicio (KNORR 183121 - WABCO 461 315 910 2) y calibración en banco	Cambio de juego de reparación válvula freno de servicio (KNORR 183121 - WABCO 461 315 910 2) y calibración en banco	Cambio de juego de reparación válvula freno de servicio (KNORR 183121 - WABCO 461 315 910 2) y calibración en banco
FREC.	180,000 Km	Cada cambio	180,000 Km	180,000 Km	180,000 Km	180,000 Km	180,000 Km
RECURSOS	Técnico mecánico, juego de reparación (20210 ó 934 702 004 2) y banco neumático	Técnico mecánico, banco neumático	Técnico mecánico, juego de reparación (183121 ó 461 315 910 2) y banco neumático	Técnico mecánico, juego de reparación (183121 ó 461 315 910 2) y banco neumático	Técnico mecánico, juego de reparación (183121 ó 461 315 910 2) y banco neumático	Técnico mecánico, juego de reparación (183121 ó 461 315 910 2) y banco neumático	Técnico mecánico, juego de reparación (183121 ó 461 315 910 2) y banco neumático
Cód. Tarea	T10	T11	T12	T12	T12	T12	T12

Tabla 7. Continuación

ELEMENTO		8	9	9	9	9	8	8	
Cód.. Func.		23		24		25		26	
Función		Equiparar presión de frenado del 3er eje		Garantizar presión de frenado independientemente de la carga del vehículo		Reducir (Según gráfico) la presión neumática en 2 cuando el vehículo se encuentra sin carga		Incrementar (Según gráfico) la presión neumática en 2 cuando el vehículo se encuentra a media carga	
Cód.. FF		23.1		24.1		25.1		26.1	
Descripción Falla Funcional		No hay diferencial de presión entre el 1er y 3er eje		Eficacia de frenado disminuida		Frenado no uniforme en los 3 ejes		Frenado no uniforme en los 3 ejes	
Cód.. MF		23.1.1		24.1.1		25.1.1		26.1.1	
Modo de Falla (Causa de la falla)		Descalibración de la válvula por manipulación		El émbolo de pre control que se activa con la señal 4 no desciende completamente por contaminación por aceite		El émbolo de mando no regula el vástago tubular correctamente por descalibración del tornillo de ajuste		El émbolo de mando no regula el vástago tubular correctamente por descalibración del tornillo de ajuste	
Descripción Efectos (Qué sucede cuando falla)		La eficacia del frenado disminuye como consecuencia de la diferencia de cargas en el momento de frenado del bus. Pérdida aproximada \$5'000,000		La eficacia del frenado disminuye como consecuencia de la disminución de frenado en el 2do eje. Pérdida aproximada \$5'000,000		La presión de frenado en el 2do eje es la misma que entrega 21 de la válvula 4 vias evitando el frenado uniforme de los 3 ejes. Pérdida económica aproximada \$1'000,000.		La presión de frenado en el 2do eje es la misma que entrega 21 de la válvula 4 vias evitando el frenado uniforme de los 3 ejes. Pérdida económica aproximada \$1'000,000.	
FALLA OCULTA		SI		SI		NO		NO	
R. Ambiental		D5		D5		D5		D5	
R. Humano		D2		D2		D4		D4	
R. Económ		D3		D3		C4		C4	
R. Imagen		D2		D2		C4		C4	
Vr. Criticidad		9		9		5		5	
Criticidad		CRITICO		CRITICO		OPCIONAL		OPCIONAL	
Valor del riesgo económico		5.000.000		5.000.000		1.000.000		1.000.000	
TIPO DE DECISIÓN		H2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO		H2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO		N2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO		N2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO	
DESCRIPCIÓN TAREA		Cada vez que se requiera desmontar o realizar cualquier trabajo en la válvula distribuidora esta debe ser calibrada nuevamente en banco neumático.		Cambio de juego de reparación de válvula distribuidora (KNORR 190286 - WABCO 973 002 004 2) y calibración en banco neumático		Se debe verificar la presión en 2 para las diferentes cargas en 41 y 42 en banco, cada vez que requiera ser montada		Se debe verificar la presión en 2 para las diferentes cargas en 41 y 42 en banco, cada vez que requiera ser montada	
REC.		Cada cambio		500,000 km		Cada cambio		Cada cambio	
RECURSOS		Técnico mecánico, banco neumático		Técnico mecánico, juego de reparación (KNORR 190286 - WABCO 973 002 004 2) y banco neumático		Técnico mecánico, banco neumático		Técnico mecánico, banco neumático	
Cód. Tarea		T17		T18		T19		T20	

Tabla 7. Continuación

ELEMENTO	9	10	10	11	11	11
Cód.. Func.	28	29	30	31	31	32
Función	Descargar aire de 2 a la atmósfera cuando el sistema de freno de servicio es liberado.	Entregar aire a un único circuito con 2 alimentaciones	Evitar el retorno de aire si uno de los 2 circuitos de entrada se queda sin presión	Permitir el paso de aire en el sentido de flujo de la línea	Permitir el paso de aire en el sentido de flujo de la línea	Impedir el paso de aire de retorno en la línea
Cód.. FF	28.1	29.1	30.1	31.1	31.1	32.1
Descripción Falla Funcional	Descarga el aire de 2 a la atmósfera aun cuando el sistema de freno de servicio no es liberado	Escape de aire	Permitir el retorno de aire cuando uno de los 2 circuitos de entrada se queda sin presión	Obstaculiza el paso de aire	Obstaculiza el paso de aire	Permitir el retorno de aire por la línea
Cód.. MF	28.1.1	29.1.1	30.1.1	31.1.1	31.1.1	32.1.1
Modo de Falla (Causa de la falla)	Contaminación por aceite	Contaminación por aceite	Contaminación por aceite	Contaminación por aceite	Contaminación por aceite	Contaminación por aceite
Descripción Efectos (Qué sucede cuando falla)	Descarga la presión del sistema neumático, activándose los muelles de las cámaras trípstop y frenando el bus. Se escucha la descarga de aire. Pérdida económica aproximada \$2,000,000	Descarga la presión del sistema neumático, activándose los muelles de las cámaras trípstop y frenando el bus. Se escucha la descarga de aire. Pérdida económica aproximada \$500,000,	Descarga la presión del sistema neumático, activándose los muelles de las cámaras trípstop y frenando el bus. Se escucha la descarga de aire. Pérdida económica aproximada \$500,000,	Corta el suministro de aire a todos los componentes de la línea, generalmente activa los muelles de las cámaras trípstop y frena el bus. Pérdida económica aproximada \$500,000	Corta el suministro de aire a todos los componentes de la línea, generalmente activa los muelles de las cámaras trípstop y frena el bus. Pérdida económica aproximada \$500,000	Consumo el suministro de aire a todos los componentes de la línea, generalmente activa los muelles de las cámaras trípstop y frena el bus. Pérdida económica aproximada \$500,000
FALLA OCULTA	NO	NO	SI	NO	NO	SI
R. Ambiental	B5	B5	B5	B5	B5	B5
R. Humano	B4	B4	B4	B4	B4	B4
R. Económ	B3	B4	B4	B4	B4	B4
R. Imagen	B4	B4	B4	B4	B4	B4
Vr. Criticidad	5	4	4	4	4	4
Criticidad	OPCIONAL	OPCIONAL	OPCIONAL	OPCIONAL	OPCIONAL	OPCIONAL
Valor del riesgo económico	2,000,000	500,000	500,000	500,000	500,000	500,000
TIPO DE DECISIÓN	O2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO	O2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO	H2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO	O2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO	O2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO	H2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO
DESCRIPCIÓN TAREA	Cambio de juego de reparación de válvula ALB (WABCO 475 711 002 2) y calibración en banco neumático	Cambiar tapón, embolo y anillo de válvula 2 vías (WABCO 884 502 405 2)	Cambiar tapón, embolo y anillo de válvula 2 vías (WABCO 884 502 405 2) y banco neumático	Cambiar conjunto de reparación de válvula de retención (KNORR I115167- WABCO 434 014 009 2)	Cambiar conjunto de reparación de válvula de retención (KNORR I115167- WABCO 434 014 009 2)	Cambiar conjunto de reparación de válvula de retención (KNORR I115167- WABCO 434 014 009 2)
FREC.	500,000 Km	500,000 Km	500,000 Km	500,000 Km	500,000 Km	500,000 Km
RECURSOS	Técnico mecánico, juego de reparación (WABCO 475 711 002 22) y banco neumático	Técnico mecánico, juego de reparación (WABCO 884 502 405 2) y banco neumático	Técnico mecánico, juego de reparación (WABCO 884 502 405 2) y banco neumático	Técnico mecánico, juego de reparación KNORR I115167- WABCO 434 014 009 2) y banco neumático	Técnico mecánico, juego de reparación KNORR I115167- WABCO 434 014 009 2) y banco neumático	Técnico mecánico, juego de reparación (KNORR I115167- WABCO 434 014 009 2) y banco neumático
Cód. Tarea	T19	T21	T21	T22	T22	T22

Tabla 7. Continuación

15		15	15	14	14	ELEMENTO
	41	40	39	38	38	Cód.. Func.
Liberar el aire comprimido a la atmósfera cuando la señal del módulo de ABS así lo indique	Permitir el paso de aire a las cámaras de freno mientras el módulo de ABS no envíe ninguna señal	Accionar el vástago cuando hay presión en 11	Liberar el vástago cuando hay presión en 12 y no hay presión en 11			Función
41.1	40.1	39.1	38.1			Cód.. FF
No funciona el ABS de una de las ruedas	La válvula solenoide presenta escape aire	La cámara de freno se queda pegada	La cámara de freno se queda pegada			Descripción Falla Funcional
41.1.2	40.1.1	39.1.1	38.1.1			Cód.. MF
No llega señal eléctrica a la bobina	Núcleo de la bobina se queda pegado	Diafragma dañado o con ruptura	Diafragma dañado o con ruptura			Modo de Falla (Causa de la falla)
El sensor de ABS se encuentra dañado o hay un corto en el cableado. El sistema ABS de esa rueda queda inoperante. Se enciende testigo de falla de ABS. Pérdida aproximada de \$400,000	El núcleo de la bobina se queda pegado por contaminación en posición cerrada. El sistema ABS de esa rueda queda inoperante. Se enciende testigo de falla de ABS. Pérdida aproximada de \$400,000	El núcleo de la bobina se queda pegado por contaminación y permite la descarga de aire de esa cámara cuando es accionado del freno de servicio. Se pierde aproximadamente un 16% de efectividad en el frenado. Se enciende testigo de falla de ABS. Pérdida aproximada de \$400,000	El diafragma permite el paso de aire al exterior de la cámara imposibilitando el retorno del vástago, frenando la rueda. El bus se bloquea. Pérdida aproximada \$2,000,000	El diafragma permite el paso de aire al exterior de la cámara imposibilitando el retorno del vástago, frenando la rueda. El bus se bloquea. Pérdida aproximada \$2,000,000		Descripción Efectos (Qué sucede cuando falla)
NO	NO	NO	NO	NO		FALLA OCULTA
B4	B4	B4	B4	B4		R. Ambiental
B4	B4	B4	B4	B4		R. Humano
B5	B5	B5	B3	B3		R. Economía
B5	B5	B5	B4	B4		R. Imagen
4	4	4	5	5		Vr. Criticidad
OPCIONAL	OPCIONAL	OPCIONAL	OPCIONAL	OPCIONAL		Criticidad
400.000	400.000	400.000	2.000.000	2.000.000		Valor del riesgo económico
O1- MONITOREO DE CONDICIÓN	O1- MONITOREO DE CONDICIÓN	O1- MONITOREO DE CONDICIÓN	O2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO	O2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO		TIPO DE DECISIÓN
Verificación de códigos de falla de ABS antes de iniciar la marcha	Verificación de códigos de falla de ABS antes de iniciar la marcha	Verificación de códigos de falla de ABS antes de iniciar la marcha	Verificación de códigos de falla de freno combinada (WABCO 925 321 005 2)	Verificación de códigos de falla de freno combinada (WABCO 925 321 005 2)		DESCRIPCIÓN TAREA
Diario	Diario	Diario	500,000 Km	500,000 Km		FREC.
Operador	Operador	Operador	Técnico mecánico, juego de reparación(WABCO 925 321 005 2) y prensa para cámaras	Técnico mecánico, juego de reparación(WABCO 925 321 005 2) y prensa para cámaras		RECURSOS
T26	T26	T26	T25	T25		Cód. Tarea

Tabla 7. Continuación

ELEMENTO		16	16	16	16	16
Cód. Func.		42	43	44	45	46
Función		Permitir el paso de aire a 21 cuando aumenta el peso en el interior del bus	Permitir el escape de aire por 3 cuando disminuye el peso al interior del bus	Mantener sellado el flujo de aire en cualquier dirección cuando el peso del bus es constante.	Absorber los impactos del camino, para dar confort a los usuarios	Mantener distancia entre el bastidor y la carrocería
Cód. FF		42.1	43.1	44.1	45.1	46.2
Descripción Falla Funcional		Suspensión del bus caída hacia un costado	Suspensión del bus caída hacia un costado	Suspensión del bus caída hacia un costado	Suspensión del bus caída hacia un costado	Suspensión del bus caída hacia un costado
Cód. MF		42.1.1	42.1.1	42.1.1	45.1.1	46.1.1
Modo de Falla (Causa de la falla)		Varilla válvula niveladora dislocada, por daño en fuelles, amortiguadores o soportes.	Varilla válvula niveladora dislocada, por daño en fuelles, amortiguadores o soportes.	Varilla válvula niveladora dislocada, por daño en fuelles, amortiguadores o soportes.	Fuelle neumático pinchado	Fuelle neumático pinchado
Descripción Efectos (Qué sucede cuando falla)		Se despresurizan los fuelles neumáticos comandados por la válvula niveladora, quedando el bus inclinado hacia un costado, puede continuar en servicio hasta la siguiente cabecera. Pérdida aproximada de \$200,000	Se despresurizan los fuelles neumáticos comandados por la válvula niveladora, quedando el bus inclinado hacia un costado, puede continuar en servicio hasta la siguiente cabecera. Pérdida aproximada de \$200,000	Se despresurizan los fuelles neumáticos comandados por la válvula niveladora, quedando el bus inclinado hacia un costado, puede continuar en servicio hasta la siguiente cabecera. Pérdida aproximada de \$200,000	Se despresuriza el fuelle neumático pinchado y fuelle compañero quedando el bus inclinado de costado. Puede continuar en servicio hasta la siguiente cabecera. Pérdida aproximada de \$300,000	Se despresuriza el fuelle neumático pinchado y fuelle compañero quedando el bus inclinado de costado. Puede continuar en servicio hasta la siguiente cabecera. Pérdida aproximada de \$300,000
FALLA OCULTA		NO	NO	NO	NO	NO
R. Ambiental		F5	F5	F5	F5	F5
R. Humano		F4	F4	F4	F4	F4
R. Económ		F5	F5	F5	F5	F5
R. Imagen		F3	F3	F3	F2	F2
Vr. Criticidad		9	9	9	9	9
Criticidad		CRITICO	CRITICO	CRITICO	CRITICO	CRITICO
Valor del riesgo económico		200.000	200.000	200.000	300.000	300.000
TIPO DE DECISIÓN		O1- MONITOREO DE CONDICIÓN	O1- MONITOREO DE CONDICIÓN	O1- MONITOREO DE CONDICIÓN	O1- MONITOREO DE CONDICIÓN	O1- MONITOREO DE CONDICIÓN
DESCRIPCIÓN TAREA		Verificación de estado de fuelles neumáticos, amortiguadores, soportes de amortiguadores, funcionamiento y reglaje de	Verificación de estado de fuelles neumáticos, amortiguadores, soportes de amortiguadores, funcionamiento y reglaje de	Verificación de estado de fuelles neumáticos, amortiguadores, soportes de amortiguadores, funcionamiento y reglaje de	Verificación de estado de fuelles neumáticos, amortiguadores, soportes de amortiguadores, funcionamiento y reglaje de	Verificación de estado de fuelles neumáticos, amortiguadores, soportes de amortiguadores, funcionamiento y reglaje de
FREC.		15.000 km	15.000 km	15.000 km	15.000 km	15.000 km
RECURSOS		Técnico mecánico	Técnico mecánico	Técnico mecánico	Técnico mecánico	Técnico mecánico
Cód. Tarea		T27	T27	T27	T27	T27

Fuente. El autor

3.4.2. Análisis FMEA y definición de tareas para buses O500MA. En la tabla 8 se presenta el desarrollo de los modos y efectos de falla para todas las funciones de los componentes del sistema, en conjunto con las tareas y frecuencias para eliminar o mitigar las consecuencias de falla.

Tabla 8. Análisis FMEA y definición de tareas para buses O500MA

ELEMENTO	1	1	1	1	1	1
Cód., Func.	Comprimir el aire existente en la atmósfera a presión de operación de 8 bar					
Función	Comprimir el aire a una presión inferior a 10 bar					
Cód., FF	1.1					
Descripción Falla Funcional	Comprime el aire a una presión inferior a 10 bar					
Cód., MF	1.1.1					
Modo de falla (Causa de la falla)	Válvula de admisión se queda parcialmente abierta por exceso de carbonilla					
Descripción Efectos (Qué sucede cuando falla)	Manómetro de presión neumática de habitáculo del operador indica presión menor a 10 bar pero superior a 6 bar evidenciándose lenta recuperación de la presión, se nota descarga rápida con el uso de los frenos. Permite rodar el vehículo con precaución un trayecto corto, implicando cambio de bus en la próxima cabecera. Perida aproximada \$1.300.000.					
FALLA OCULTA	NO					
R. Ambiental	C4					
R. Humano	C4					
R. Económ	E3					
R. Imagen	F4					
Vr. Criticidad	7					
Criticidad	IMPORTANTE					
Valor riesgo económico	1.300.000					
TIPO DE DECISIÓN	O1- MONITOREO DE CONDICIÓN					
DESCRIPCIÓN TAREA	Se debe tomar el tiempo de carga del sistema neumático (Debe ser menor a 5 minutos). En caso de ser mayor el tiempo, se debe realizar prueba de paso de aceite a la salida (si se encuentra carbonilla se debe desmontar culatín para descarbonización y verificar la posición de los anillos y realizar medición por medio de galgas de la distancia entre puntas de los anillos)					
REC.	15.000 Km					
RECURSOS	Técnico mecánico, reloj, papel blanco y soporte, kit empaquetadura y famillias					
Cód. Tarea	T1					
1.2	No comprime aire					
1.2.1	Engranaje y suelto, por ruptura del engranaje y/o desgaste del buje					
1.2.2	Empaquetadura de culata quemada por incremento de temperatura a causa de exceso de acumulación de carbonilla					
1.2.3	Manómetro de presión neumática del habitáculo del operador indica presión igual o inferior a 6 bar, testigo de presión de aire y testigo de nivel de refrigerante encendido. Cuando llega a presión inferior a 6 bar el bus bloquea inmediatamente las cámaras de frenos (tristop). Inmovilizándolo, si el conductor no apaga el motor las partes del engranaje entrará a la distribución del motor averiándose, obligando a los usuarios a realizar transbordero generando insatisfacción, ocasiona perdida aproximada de \$1.500.000					
NO	NO					
D4	D4					
E4	E4					
E3	E3					
D4	D4					
9	9					
CRITICO	CRITICO					
3.000.000	1.500.000					
O1- MONITOREO DE CONDICIÓN	O1- MONITOREO DE CONDICIÓN					
Se debe tomar el tiempo de carga del sistema neumático (Debe ser menor a 5 minutos). En caso de ser mayor el tiempo, se debe realizar prueba de paso de aceite a la salida (si se encuentra carbonilla se debe desmontar culatín para descarbonización y verificar la posición de los anillos y realizar medición por medio de galgas de la distancia entre puntas de los anillos)	Se debe realizar cambio completo de compresor cada 500.000					
O3- CAMBIO CÍCLICO	O3- CAMBIO CÍCLICO					
500.000 Km	500.000 Km					
Técnico mecánico, reloj, galgas, papel blanco y soporte, kit empaquetadura y famillias	Técnico mecánico, compresor nuevo (MAREC 312 510 103 0)					
T1	T1					
T2	T2					
T1	T1					
O1- MONITOREO DE CONDICIÓN	O1- MONITOREO DE CONDICIÓN					
Se debe tomar el tiempo de carga del sistema neumático (Debe ser menor a 5 minutos). En caso de ser mayor el tiempo, se debe realizar prueba de paso de aceite a la salida (si se encuentra carbonilla se debe desmontar culatín para descarbonización y verificar la posición de los anillos y realizar medición por medio de galgas de la distancia entre puntas de los anillos)	Se debe tomar el tiempo de carga del sistema neumático (Debe ser menor a 5 minutos). En caso de ser mayor el tiempo, se debe realizar prueba de paso de aceite a la salida (si se encuentra carbonilla se debe desmontar culatín para descarbonización y verificar la posición de los anillos y realizar medición por medio de galgas de la distancia entre puntas de los anillos)					
O1- MONITOREO DE CONDICIÓN	O1- MONITOREO DE CONDICIÓN					
Se debe tomar el tiempo de carga del sistema neumático (Debe ser menor a 5 minutos). En caso de ser mayor el tiempo, se debe realizar prueba de paso de aceite a la salida (si se encuentra carbonilla se debe desmontar culatín para descarbonización y verificar la posición de los anillos y realizar medición por medio de galgas de la distancia entre puntas de los anillos)	Se debe tomar el tiempo de carga del sistema neumático (Debe ser menor a 5 minutos). En caso de ser mayor el tiempo, se debe realizar prueba de paso de aceite a la salida (si se encuentra carbonilla se debe desmontar culatín para descarbonización y verificar la posición de los anillos y realizar medición por medio de galgas de la distancia entre puntas de los anillos)					
15.000 Km	15.000 Km					
Técnico mecánico, reloj, galgas, papel blanco y soporte, kit empaquetadura y famillias	Técnico mecánico, reloj, galgas, papel blanco y soporte, kit empaquetadura y famillias					
T1	T1					

Tabla 8. Continuación

5	4	4	4	4	3	3	2	2	2	ELEMENTO
12	11	10	9	8	7	6	5	5	5	Cód., Func. Función
12.1	11.1	10.1	9.1	8.1	7.1	6.1	5.1	5.1	5.1	Cód., FF
12.1.1	11.1.1	10.1.1	9.1.1	8.1.1	7.1.1	6.1.1	6.1.2	6.1.1	5.1.1	Descripción Falla Funcional
12.1.1	11.1.1	10.1.1	9.1.1	8.1.1	7.1.1	6.1.1	6.1.2	6.1.1	5.1.1	Cód., MF
Modular la presión del freno de servicio a través del pedal (0-12.1)	Priorizar la presurización en los circuitos 21 y 22 (11.1)	Cerrar el circuito alimentado si se presenta falla en este (10.1)	Entregar a los 6 circuitos (22, 23, 24, 25, 26) los 10.4/3 (9.1)	Eliminar el contenido de aceite que se (8.1)	Eliminar el contenido de humedad que se (7.1)	Liberar el aire comprimido a la atmósfera cuando la presión de este supera 10.4/0.3 bar (6.1)	Regular el aire proveniente del (5.1)	Regular el aire proveniente del (5.1)	Regular el aire proveniente del (5.1)	
Entrega menor presión que la modulada (12.1)	No cargar primero el aire en los circuitos de freno 21 y 22 (11.1)	No cierra el circuito alimentado, descargando los demás circuitos (10.1)	No entrega 10.4/0.3 bar en los circuitos 22, 23, 24, 25 y 26 (9.1)	No elimina el contenido de aceite del aire comprimido (8.1)	No elimina el contenido de humedad del aire comprimido (7.1)	Descargar el aire comprimido proveniente del compresor a la atmósfera a presión inferior a 9.7 bar (6.1)	Presión de salida al sistema neumático mayor a 10.3 bar (5.1)	Presión de salida al sistema neumático mayor a 10.3 bar (5.1)	Presión de salida al sistema neumático mayor a 10.3 bar (5.1)	
Obstrucciones del símbolo central quedan parcialmente cerradas (12.1)	Impurezas en los cheques internos de la válvula (11.1)	Contaminación por aceite (10.1)	Fuga de aire por el cuerpo (9.1)	Material coalescente del cartucho agotado (8.1)	Material higroscópico del cartucho agotado (7.1)	Muelle de diafragma de apertura a menos de 9.7 bar (6.1)	Diafragma de apertura queda directo por exceso de carbonilla en el diafragma de apertura a la atmósfera (6.1)	Válvula regulada a más de 10.3 bar (5.1)	Válvula regulada a más de 10.3 bar (5.1)	
La presión modulada escapa por el desfogue inferior de la válvula (fuga audible para el conductor). La presión de los circuitos de freno delanteros y traseros se ve disminuida y por tanto la eficacia del frenado. Pérdida aproximada mayor a 10'000,000 (12.1)	Carga primero el circuito de accesorios y luego el circuito de frenos, si el consumo de aire de los accesorios es elevado se verá disminuida la presión de aire en los circuitos de frenos. Pérdida aproximada de \$5'000,000 (11.1)	Válvula de cierre de los circuitos se queda abierta pegada. Los demás circuitos presentan pérdida progresiva de presión neumática. Pérdida aproximada \$6'000,000 (10.1)	Junta de cierre con daño por ataque de aceite. Descarga los circuitos alimentados, bloqueando el vehículo. Pérdida aproximada \$2'000,000 (9.1)	Paso de aceite al sistema neumático ocasionando contaminación en las válvulas. Pérdida aproximada \$5'000,000 (8.1)	Paso de agua al sistema neumático ocasionando corrosión de las válvulas. Pérdida aproximada \$5'000,000 (7.1)	Aire comprimido es enviado a la atmósfera y no carga el sistema neumático. Manómetro de presión en el habitáculo del operador. Pérdida aproximada \$100,000 (6.1)	Aire comprimido es enviado a la atmósfera y no carga el sistema neumático. Manómetro de presión en el habitáculo del operador indica presión igual o inferior a 6 bar (testigo de presión de aire encendido), el bus bloquea inmediatamente los cámaras de frenos (tristop), inmovilizando. Pérdida aproximada \$1'500,000 (6.1)	Daño prematuro del filtro secador. Se puede ver la presión en el habitáculo del operador. Pérdida aproximada \$100,000 (5.1)	Daño prematuro del filtro secador. Se puede ver la presión en el habitáculo del operador. Pérdida aproximada \$100,000 (5.1)	
NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	FALLA OCULTA
C5	B5	C4	D5	D5	D5	E5	D5	D5	D5	R. Ambiental
B2	B2	C2	D3	D5	D5	D4	D5	D5	D5	R. Humano
B2	B2	C3	D3	D3	D3	E3	D5	D5	D5	R. Económ
B2	B3	C2	D4	D5	D5	E4	D5	D5	D5	R. Imagen
7	7	9	7	5	5	8	4	4	4	Vr. Criticidad
IMPORTANTE	IMPORTANTE	CRITICO	IMPORTANTE	OPCIONAL	OPCIONAL	IMPORTANTE	OPCIONAL	OPCIONAL	OPCIONAL	Criticidad económica
10.000.000	2.000.000	6.000.000	2.000.000	5.000.000	5.000.000	1.500.000	100.000	100.000	100.000	Valor riesgo económico
S2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO	O2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO	H2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO	O2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO	O3 - CAMBIO CÍCLICO	O3 - CAMBIO CÍCLICO	O1 - MONITOREO DE CONDICIÓN	N1 - MONITOREO DE CONDICIÓN	N1 - MONITOREO DE CONDICIÓN	N1 - MONITOREO DE CONDICIÓN	TIPO DE DECISIÓN
Cambio de juego de reparación válvula freno de servicio (WABCO 461, 315, 913 2) y calibración en banco (12.1)	Cambio de juego de reparación en la válvula 4 (WABCO 461, 315, 913 2) y calibración en banco (11.1)	Cambio de juego de reparación en la válvula 4 (WABCO 461, 315, 913 2) y calibración en banco (10.1)	Cambio de juego de reparación en la válvula 4 (WABCO 461, 315, 913 2) y calibración en banco (9.1)	Se debe cambiar el cartucho (8.1)	Se debe cambiar el cartucho (7.1)	Se debe verificar la presencia de aceite en el filtro secador (6.1)	Se debe verificar la presión de descarga de la válvula reguladora en el manómetro del habitáculo del operador (5.1)	Se debe verificar la presión de descarga de la válvula reguladora en el manómetro del habitáculo del operador (5.1)	Se debe verificar la presión de descarga de la válvula reguladora en el manómetro del habitáculo del operador (5.1)	DESCRIPCIÓN TAREA
180.000 Km	180.000 Km	180.000 Km	180.000 Km	90.000 Km	90.000 Km	15.000 Km	15.000 Km	15.000 Km	15.000 Km	FREC.
Técnico mecánico, juego de reparación (WABCO 461 315 913 2) y banco neumático (12.1)	Técnico mecánico, juego de reparación (120210 ó 934 702 004 2) y banco neumático (11.1)	Técnico mecánico, juego de reparación (120210 ó 934 702 004 2) y banco neumático (10.1)	Técnico mecánico, juego de reparación (120210 ó 934 702 004 2) y banco neumático (9.1)	Técnico mecánico y cartucho secador (8.1)	Técnico mecánico y cartucho secador (7.1)	Técnico mecánico, llave para filtros (6.1)	Técnico mecánico, llave para filtros (5.1)	Técnico mecánico, llave para filtros (5.1)	Técnico mecánico, llave Bristol (5.1)	RECURSOS
T7	T6	T6	T6	T5	T5	T4	T3	T3	T3	Cód. Tarea

Tabla 8. Continuación

8	7	7	6	6	6	6	5	5	ELEMENTO Cód., Func. Función Cód., FF Funcional Cód., MF
Garantizar presión de frenado independiente de la	Transferir el aire proveniente de 23 de la válvula 4 circuitos a las cámaras	Liberar rápidamente el aire por 3 cuando libere	Puño de la válvula debe retornar	Mantener la palanca en su posición	Entregar la presión de alimentación por 21 cuando	Entregar la presión modulada al sistema de freno trasero	Entregar la presión modulada al sistema de freno delantero	Entregar la presión modulada al sistema de freno delantero	13 13.1
20.1	19.1	18.1	17.1	16.1	15.1	14.1	13.1	13.1	
Eficacia de frenado disminuida	No transfiere el aire de 23 de la válvula 4 circuitos a las cámaras de freno, sin estar accionado el freno de 19.1.1	Demora más de 2 segundos en liberar el aire de la línea cuando	Puño de la válvula no retorna automáticamente	La palanca no se queda fija cuando el freno es accionado	No entrega presión de alimentación por 21 cuando es accionada para liberar el	Entrega menor presión que la modulada	No entrega presión modulada al sistema de freno delantero	13.1.1	
20.1.1	19.1.1	18.1.1	17.1.1	16.1.1	15.1.1	14.1.1	13.1.1	13.1.1	
El émbolo de pre control que se activa con la señal 4 no desciende completamente por contaminación por aceite	Émbolo se queda en posición de descarga	Obstrucción a la entrada de aire 4	Muelle de torsión roto	Bloqueador con desgaste	Fuga por los anillos obturadores	Obstrucciones del émbolo central quedan parcialmente cerradas	Obstrucción a la salida del émbolo del circuito 1		
La eficacia del frenado disminuye como consecuencia de la disminución de frenado en el 2do eje. Pérdida aproximada \$5'000,000	Las cámaras de freno trípode quedan accionadas por falta de presión neumática y el bus se bloquea. Pérdida aproximada \$500,000	Impurezas sólidas a la entrada de la señal 4, retrasa la acción del émbolo que libera el aire. El bus demora más de 2 segundos en liberar la presión de las cámaras trípode. Pérdida económica aproximada \$150,000	Al liberar la válvula esta no se desplaza automáticamente y el conductor debe asistirle manualmente para liberarla. Pérdida económica aproximada \$200,000	La válvula no corta la alimentación de los circuitos 21, a causa de desgaste en el bloqueador. El desgaste es progresivo y permite al operador reportar la falla antes de que esta llegue a situación crítica. Pérdida económica aproximada \$500,000	La presión neumática entregada a los circuitos 21 es insuficiente para liberar la presión ejercida por los muelles de los trípode y no permite liberar el freno de estacionamiento. La fuga de aire es audible para el conductor. Pérdida económica aproximada \$500,000	La presión modulada escapa por el desfuge inferior de la válvula (fuga audible para el conductor). La presión de los circuitos de freno delanteros y traseros se ve disminuida y por tanto la eficacia del frenado se ve disminuida y por pérdida económica aproximada mayor a \$10'000,000	La presión modulada no ingresa al circuito del sistema de freno delantero, no obstante el circuito de freno trasero recibe la presión neumática. Por tal motivo se ve disminuida la eficacia del frenado. Pérdida económica aproximada mayor a \$10'000,000		
SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	FALLA OCULTA
D5	C5	C5	C5	C5	C4	B5	B5	B5	R. Ambiental
D2	C5	C5	C5	C4	C5	B2	B2	B2	R. Humano
D3	C4	C5	C5	C4	C4	B2	B2	B2	R. Económ
D2	C4	C5	C5	C5	C4	B2	B2	B2	R. Imagen
9	4	4	4	4	4	7	7	7	Vr. Criticidad
CRITICO	OPCIONAL	OPCIONAL	OPCIONAL	OPCIONAL	OPCIONAL	OPCIONAL	OPCIONAL	OPCIONAL	CRITICIDAD
5.000.000	500.000	150.000	200.000	500.000	500.000	10.000.000	10.000.000	10.000.000	Valor riesgo económico
H2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO	O2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO	O1- MONITOREO DE CONDICIÓN	O1- MONITOREO DE CONDICIÓN	O1- MONITOREO DE CONDICIÓN	O1- MONITOREO DE CONDICIÓN	S2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO	S2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO	S2- REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO	TIPO DE DECISIÓN
Cambio de juego de reparación de válvula ALB (WABCO 475 711 002 2) y calibración en banco neumático	Cambio de juego de reparación de la válvula relé (KNORR 183277 - WABCO 973 011 003 2) y calibración en banco neumático	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 los 2 segundos	Antes de iniciar la marcha el operador debe liberar y accionar la palanca de freno de estacionamiento para asegurar correcto anclaje y retorno	Antes de iniciar la marcha el operador debe verificar que no se escuchan fugas de aire por la válvula freno de estacionamiento	Antes de iniciar la marcha el operador debe verificar que no se escuchan fugas de aire por la válvula freno de estacionamiento	Cambio de juego de reparación válvula freno de servicio (WABCO 461 315 913 2) y calibración en banco	Cambio de juego de reparación válvula freno de servicio (WABCO 461 315 913 2) y calibración en banco	Cambio de juego de reparación válvula freno de servicio (WABCO 461 315 913 2) y calibración en banco	DESCRIPCIÓN TAREA
500,000 Km	500,000 Km	Diario	Diario	Diario	Diario	180,000 Km	180,000 Km	180,000 Km	PREC.
Técnico mecánico, juego de reparación (KNORR 183277 - WABCO 973 011 003 2) y banco neumático	Técnico mecánico, juego de reparación (KNORR 183277 - WABCO 973 011 003 2) y banco neumático	Operador	Operador	Operador	Operador	Técnico mecánico, juego de reparación (WABCO 461 315 913 2) y banco neumático	Técnico mecánico, juego de reparación (WABCO 461 315 913 2) y banco neumático	Técnico mecánico, juego de reparación (WABCO 461 315 913 2) y banco neumático	RECURSOS
T11	T10	T9	T8	T8	T8	T7	T7	T7	Cód. Tarea

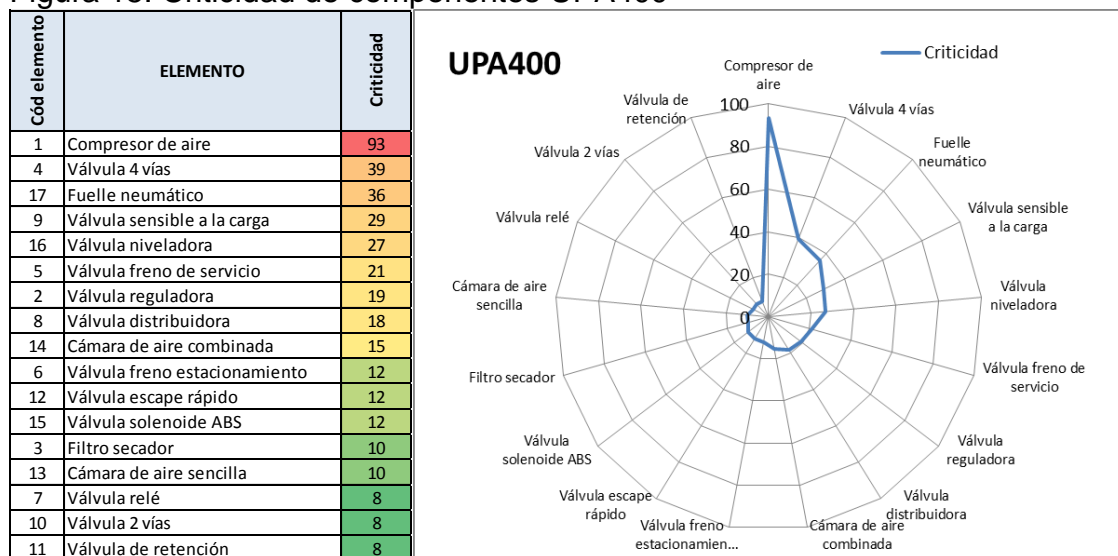
Tabla 8. Continuación

15		15		15		15		14		14		ELEMENTO
41		40		40.1		39.1		38.1		37.1		Cód. Func.
Mantener distancia entre el bastidor y la carrocería		Absorber los impactos del camino, para dar confort a los usuarios		Suspensión del bus caída hacia un costado		Suspensión del bus caída hacia un costado		Permitir el desfogge de aire por 3 cuando disminuye el peso al interior del bus		Permitir el paso de aire a 21 cuando aumenta el peso en el interior del bus		Función
41.1		41.1		40.1		39.1		38.1		37.1		Cód. FF
Suspensión del bus caída hacia un costado		Suspensión del bus caída hacia un costado		Suspensión del bus caída hacia un costado		Suspensión del bus caída hacia un costado		Suspensión del bus caída hacia un costado		Suspensión del bus caída hacia un costado		Descripción Falla Funcional
41.1.2		41.1.1		40.1.2		40.1.1		39.1.1		37.1.1		Cód. MF
Varilla válvula niveladora dislocada, por daño en fuelles, amortiguadores o soportes.		Fuelle neumático pinchado		Varilla válvula niveladora dislocada, por daño en fuelles, amortiguadores o soportes.		Fuelle neumático pinchado		Varilla válvula niveladora dislocada, por daño en fuelles, amortiguadores o soportes.		Varilla válvula niveladora dislocada, por daño en fuelles, amortiguadores o soportes.		Modo de Falla (Causa de la falla)
Se despresurizan los fuelles neumáticos comandados por la válvula niveladora, quedando el bus inclinado hacia un costado, puede continuar en servicio hasta la siguiente cabecera. Pérdida de \$200,000		Se despresuriza el fuelle neumático pinchado y fuelle compañero quedando el bus inclinado de costado. Puede continuar en servicio hasta la siguiente cabecera. Pérdida aproximada de \$300,000		Se despresurizan los fuelles neumáticos comandados por la válvula niveladora, quedando el bus inclinado hacia un costado, puede continuar en servicio hasta la siguiente cabecera. Pérdida aproximada de \$200,000		Se despresuriza el fuelle neumático pinchado y fuelle compañero quedando el bus inclinado de costado. Puede continuar en servicio hasta la siguiente cabecera. Pérdida aproximada de \$300,000		Se despresurizan los fuelles neumáticos comandados por la válvula niveladora, quedando el bus inclinado hacia un costado, puede continuar en servicio hasta la siguiente cabecera. Pérdida aproximada de \$200,000		Se despresurizan los fuelles neumáticos comandados por la válvula niveladora, quedando el bus inclinado hacia un costado, puede continuar en servicio hasta la siguiente cabecera. Pérdida aproximada de \$200,000		Descripción Efectos (Qué sucede cuando falla)
NO		NO		NO		NO		NO		NO		FALLA OCULTA
F5		F5		F5		F5		F5		F5		R. Ambiental
F4		F4		F4		F4		F4		F4		R. Humano
F5		F5		F5		F5		F5		F5		R. Económ
F3		F2		F3		F2		F3		F3		R. Imagen
9		9		9		9		9		9		Vr. Criticidad
CRITICO		CRITICO		CRITICO		CRITICO		CRITICO		CRITICO		Criticidad
200.000		300.000		200.000		300.000		200.000		200.000		Valor riesgo económico
O1- MONITOREO DE CONDICIÓN		O1- MONITOREO DE CONDICIÓN		O1- MONITOREO DE CONDICIÓN		O1- MONITOREO DE CONDICIÓN		O1- MONITOREO DE CONDICIÓN		O1- MONITOREO DE CONDICIÓN		TIPO DE DECISIÓN
Verificación de estado de fuelles neumáticos, amortiguadores, soportes de amortiguadores, funcionamiento y reglaje de válvulas niveladoras		Verificación de estado de fuelles neumáticos, amortiguadores, soportes de amortiguadores, funcionamiento y reglaje de válvulas niveladoras		Verificación de estado de fuelles neumáticos, amortiguadores, soportes de amortiguadores, funcionamiento y reglaje de válvulas niveladoras		Verificación de estado de fuelles neumáticos, amortiguadores, soportes de amortiguadores, funcionamiento y reglaje de válvulas niveladoras		Verificación de estado de fuelles neumáticos, amortiguadores, soportes de amortiguadores, funcionamiento y reglaje de válvulas niveladoras		Verificación de estado de fuelles neumáticos, amortiguadores, soportes de amortiguadores, funcionamiento y reglaje de válvulas niveladoras		DESCRIPCIÓN TAREA
15,000 km		15,000 km		15,000 km		15,000 km		15,000 km		15,000 km		PREC.
Técnico mecánico		Técnico mecánico		Técnico mecánico		Técnico mecánico		Técnico mecánico		Técnico mecánico		RECURSOS
T18		T18		T18		T18		T18		T18		Cód. Tarea

Fuente. El autor

3.4.3. Clasificación de elementos del sistema por criticidad. Para la valoración de criticidad de los componentes del sistema, se parte de la puntuación otorgada en la matriz de evaluación de riesgos, donde se concedió una calificación de riesgo en función de las consecuencias y la probabilidad de ocurrencia, para cada una de las fallas funcionales de los componentes en los diferentes entornos de riesgo (Ambiental, humano, impacto económico e imagen). Dado lo anterior se estableció la tabla de criticidad de componentes del sistema para las dos tipologías de buses (Figuras 15 y 16).

Figura 15. Criticidad de componentes UPA400

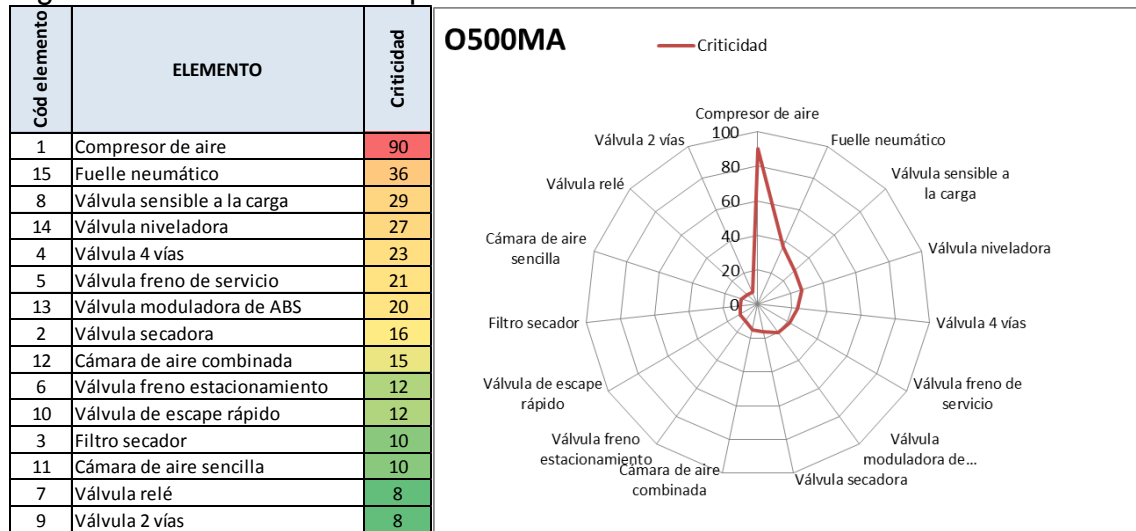


Fuente. El autor

En los buses UPA400 se evidencia que el principal componente del sistema neumático es el compresor de aire, el cual presenta la mayor cantidad de modos de falla, y es el que tiene efectos de falla más significativos, por tal razón se debe realizar un esfuerzo mayor en las tareas propuestas para este componente. Se evidencia un segundo grupo de elementos críticos dentro del sistema, estos son: válvula de 4 vías, fuelle neumático, válvula sensible a la carga, válvula niveladora, válvula freno de servicio, válvula reguladora, válvula distribuidora y cámara de freno combinada. Finalmente se evidencia un tercer grupo de elementos importantes: válvula de freno de estacionamiento, válvula de escape rápido,

válvula solenoide ABS, filtro secador, cámara de freno sencilla, válvula relé, válvula 2 vías y válvula de retención.

Figura 16. Criticidad de componentes O500MA



Fuente. El autor

De manera análoga el principal componente del sistema neumático en los buses O500MA es el compresor de aire. Se evidencia un segundo de elementos críticos: fuelles neumáticos, válvula sensible a la carga, válvula niveladora, válvula 4 vías, válvula freno de servicio, válvula moduladora de ABS, válvula secadora y cámara de freno combinada. En último lugar se evidencia un tercer conjunto de elementos importantes: válvula freno de estacionamiento, válvula de escape rápido, filtro secador, cámara de aire sencilla, válvula relé y válvula 2 vías.


3.4.4. Consolidación del plan de mantenimiento. Luego de haber evaluado todos los modos y efectos de falla de los elementos constitutivos del sistema, se procedió a consolidar el plan de mantenimiento con las tareas propuestas por el equipo de trabajo, siguiendo el diagrama lógico de decisiones de RCM (Figura 7.), de acuerdo a lo anterior en las tablas 9 y 10 se presentan las tareas a realizar, las frecuencias y los recursos necesarios.

Tabla 9. Plan de mantenimiento para el sistema neumático de frenos y suspensión para buses Mercedes Benz UPA400.

PLAN DE MANTENIMIENTO PARA SISTEMA NEUMÁTICO DE FRENOS Y SUSPENSIÓN PARA BUSES MERCEDES BENZ UPA400			
 Sistemas Operativos Móviles S.A.		Elaboró: Ing. Andrés Acosta Revisó: Ing. Giovanni Bulla Fecha Revisión: 22-05-2012	
Cód. Tarea	DESCRIPCIÓN TAREA	FREC.	RECURSOS
T1	Tomar el tiempo de carga del sistema neumático (Debe ser menor a 8 minutos). En caso de ser mayor el tiempo, se debe realizar prueba de paso de aceite a la salida (dependiendo del flujo de aceite se debe desmontar culatín para descarbonización y cambio de laminillas)	15,000 Km	Técnico mecánico, reloj, papel blanco y soporte
T2	Tomar el tiempo de carga del sistema neumático (Debe ser menor a 8 minutos). En caso de ser mayor el tiempo, se debe realizar prueba de paso de aceite a la salida (si se encontrase carbonilla se debe desmontar culatín para descarbonización, verificar la posición de los anillos y realizar medición por medio de galgas de la distancia entre puntas de los anillos	15,000 Km	Técnico mecánico, reloj, galgas, papel blanco y soporte,
T7	Verificar la presión de descarga de la válvula reguladora en el manómetro del habitáculo del operador	15,000 km	Técnico mecánico, llave brístol
T8	Verificar presencia de aceite en el filtro secador	15,000 Km	Técnico mecánico, llave para filtros
T27	Verificar de estado de fuelles neumáticos, amortiguadores, soportes de amortiguadores, funcionamiento y reglaje de válvulas niveladoras,	15,000 km	Técnico mecánico
T4	Realizar cambio de casquetes de biela cada 90,000 km. Si se encontrase carbonilla en el culatín se debe Descarbonizar y cambiar laminillas.	90,000 km	Técnico mecánico, Casquetes kit de empaquetaduras y laminillas
T5	Realizar medición por medio de galgas de la distancia entre puntas de los anillos, en caso de ser mayor a 0,35 mm se deben cambiar	90,000 KM	Técnico mecánico, reloj, galgas, papel blanco y soporte, kit empaquetadura y laminillas
T6	Desmontar culatín para descarbonización y cambio de laminillas). Visualmente se debe validar el estado de la camisa (bruñido) .	90.000 Km	Técnico mecánico, reloj, galgas, papel blanco y soporte, kit empaquetadura y laminillas
T9	Cambiar el cartucho filtro secador	90.000 Km	Técnico mecánico y cartucho secador
T10	Cambiar juego de reparación en la válvula 4 vías(KNORR I20210 - WABCO 934 702 004 2) y calibración en banco	180,000 Km	Técnico mecánico, juego de reparación (I20210 ó 934 702 004 2) y banco neumático
T12	Cambiar juego de reparación válvula freno de servicio (KNORR I83121 - WABCO 461 315 910 2) y calibración en banco	180,000 Km	Técnico mecánico, juego de reparación (I83121 ó 461 315 910 2) y banco neumático
T3	Desmontar el compresor cada 500,000 km para realizar descarbonización de culatín, se debe cambiar el rodamiento y el buje del cigüeñal, lubricar y armar	500,000 KM	Técnico mecánico, kit de empaquetaduras, laminillas, rodamiento, buje y casquetes
T16	Cambiar juego de reparación de la válvula relé (KNORR I83277 - WABCO 973 011 003 2) y calibración en banco neumático	500,000 Km	Técnico mecánico, juego de reparación (KNORR I83277 - WABCO 973 011 003 2) y banco neumático
T18	Cambiar juego de reparación de válvula distribuidora(KNORR I90286 - WABCO 973 002 004 2) y calibración en banco neumático	500,000 Km	Técnico mecánico, juego de reparación (KNORR I90286 - WABCO 973 002 004 2) y banco neumático
T19	Cambiar juego de reparación de válvula ALB (WABCO 475 711 002 2) y calibración en banco neumático	500,000 Km	Técnico mecánico, juego de reparación (WABCO 475 711 002 2) y banco neumático
T21	Cambiar tapón, embolo y anillo de válvula 2 vías (WABCO 884 502 405 2)	500,000 Km	Técnico mecánico, juego de reparación (WABCO 884 502 405 2) y banco neumático
T22	Cambiar conjunto de reparación de válvula de retención (KNORR I115167- WABCO 434 014 009 2)	500,000 Km	Técnico mecánico, juego de reparación KNORR I115167- WABCO 434 014 009 2) y banco neumático
T23	Cambiar conjunto de reparación de válvula de descarga rápida (WABCO 973 500 003 2)	500,000 Km	Técnico mecánico, juego de reparación (WABCO 973 500 003 2) y prensa para cámaras
T24	Cambiar conjunto de reparación de cámara de freno sencilla (WABCO 423 102 002 2)	500,000 Km	Técnico mecánico, juego de reparación(WABCO 423 102 002 2) y prensa para cámaras
T25	Cambiar conjunto de reparación de cámara de freno combinada (WABCO 925 321 005 2)	500,000 Km	Técnico mecánico, juego de reparación(WABCO 925 321 005 2) y prensa para cámaras
T11	Calibrar válvula 4 vías en banco neumático antes de cada cambio según presiones de apertura y cierre (6,8 / 4,5 bar) en el orden 21 y 22 y luego 23 y 24,	Cada cambio	Técnico mecánico, banco neumático
T17	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
T20	Verificar en Válvula sensible a la carga la presión en 2 para las diferentes cargas en 41 y 42 en banco, cada vez que requiera ser montada	Cada cambio	Técnico mecánico, banco neumático
T13	Antes de iniciar la marcha el operador debe verificar que no se escuchen fugas de aire por la válvula freno de estacionamiento	Diario	Operador
T14	Antes de iniciar la marcha el operador debe liberar y accionar la palanca de freno de estacionamiento para asegurar correcto anclaje y retorno	Diario	Operador
T15	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 los 2 segundos	Diario	Operador
T26	Verificar códigos de falla de ABS antes de iniciar la marcha	Diario	Operador

Fuente. El autor

Tabla 10. Plan de mantenimiento para el sistema neumático de frenos y suspensión para buses Mercedes Benz O500MA.

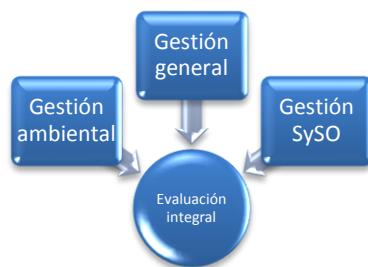
PLAN DE MANTENIMIENTO SISTEMA NEUMÁTICO DE FRENOS Y SUSPENSIÓN PARA BUSES MERCEDES BENZ O500MA			
 Sistemas Operativos Móviles S.A.		Elaboró: Ing. Andrés Acosta Revisó: Ing. Giovanni Bulla Fecha Revisión: 22-05-2012	
Cód. Tarea	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA	RECURSOS
T8	Antes de iniciar la marcha el operador debe verificar que no se escuchen fugas de aire por la válvula freno de estacionamiento	Diario	Operador
T9	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 los 2 segundos	Diario	Operador
T16	Verificar de códigos de falla de ABS antes de iniciar la marcha	Diario	Operador
T1	Tomar el tiempo de carga del sistema neumático (Debe ser menor a 5 minutos). En caso de ser mayor el tiempo, se debe realizar prueba de paso de aceite a la salida (si se encontrase carbonilla se debe desmontar culatín para descarbonización y verificar la posición de los anillos y realizar medición por medio de galgas de la distancia entre puntas de los anillos)	15,000 Km	Técnico mecánico, reloj, papel blanco y soporte
T3	Verificar la presión de descarga de la válvula reguladora en el manómetro del habitáculo del operador	15,000 km	Técnico mecánico, llave bristol
T4	Verificar presencia de aceite en el filtro secador	15,000 Km	Técnico mecánico, llave para filtros
T17	Verificar de estado de fuelles neumáticos, amortiguadores, soportes de amortiguadores, funcionamiento y reglaje de válvulas niveladoras	15,000 km	Técnico mecánico
T5	Cambiar el cartucho del filtro secador	90,000 Km	Técnico mecánico y cartucho secador
T6	Cambiar juego de reparación en la válvula 4 vías(K004725) y calibración en banco	180,000 Km	Técnico mecánico, juego de reparación (I20210 ó 934 702 004 2) y banco neumático
T7	Cambiar juego de reparación válvula freno de servicio (WABCO 461 315 913 2) y calibración en banco	180,000 Km	Técnico mecánico, juego de reparación (WABCO 461 315 913 2y banco neumático
T10	Cambiar juego de reparación de la válvula relé (KNORR I83277 - WABCO 973 011 003 2) y calibración en banco neumático	500,000 Km	Técnico mecánico, juego de reparación (KNORR I83277 - WABCO 973 011 003 2) y banco neumático
T11	Cambiar juego de reparación de válvula ALB (WABCO 475 711 002 2) y calibración en banco neumático	500,000 Km	Técnico mecánico, juego de reparación (WABCO 475 711 002 22) y banco neumático
T13	Cambiar tapón, embolo y anillo de válvula 2 vías (WABCO 424 208 037 0)	500,000 Km	Técnico mecánico, juego de reparación (WABCO 424 208 037 0) y banco neumático
T14	Cambiar conjunto de reparación de válvula de descarga rápida (WABCO 973 500 003 2)	500,000 Km	Técnico mecánico, juego de reparación (WABCO 973 500 003 2) y prensa para cámaras
T15	Cambiar conjunto de reparación de cámara de freno sencilla (WABCO 423 102 002 2)	500,000 Km	Técnico mecánico, juego de reparación(WABCO 423 102 002 2) y prensa para cámaras
T2	Realizar cambio completo de compresor cada 500,000	500,000 Km	Técnico mecánico, compresor nuevo (WABCO 912 510 103 0)
T12	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 requiera ser montada	Cada cambio	Técnico mecánico, banco neumático

Fuente. El autor

3.5. PLAN DE EVALUACIÓN DE PROVEEDOR

Para la evaluación de proveedor para la prestación de servicio de mantenimiento del sistema neumático se propone una evaluación integral dividida en tres categorías: gestión general (Tabla 11), gestión ambiental (Tabla 12), gestión en seguridad y salud ocupacional (SySO) (Tabla 13). La calificación final de cada una de ellas se promedia aritméticamente y se obtiene el puntaje final del proveedor, el cual según lineamientos internos de la organización deberá ser superior a 80 puntos.

Figura 17. Modelo de gestión integral de proveedores



Fuente. El autor

Cada una de ellas esta soportada en los lineamientos de las normas ISO 9001 de Sistemas de Gestión de la Calidad, ISO14001 de Sistemas de Gestión Ambiental y OHSAS 18001de Sistemas de Gestión en Seguridad y Salud Ocupacional respectivamente.

Para la evaluación de la gestión general se tomaron los requisitos internos de la organización los cuales están alineados con los requisitos del cliente, en la gestión ambiental y de SySO se tomó como parámetros los requisitos de norma: política ambiental y de SySO, identificación de aspectos ambientales, identificación de peligros y valoración de riesgos, identificación de requisitos legales, prioridades, objetivos, metas, programas, control operacional, preparación y respuesta ante emergencias y seguimiento y medición.

Tabla 11. Evaluación gestión general de proveedores

SOMOS® Sistemas Operativos Móviles S.A.		FORMATO DE EVALUACION DE ASOCIADOS				
ASOCIADO :		Fecha:				
ITEM	TEMA	PESO TEMA	VR	CALIFICACION	NIVEL DE EXIGENCIA	CRITERIO
16	REPORTES GERENCIALES	6	4,2		REQUISITO	REPORTA FACTURACION MENSUAL Y ACUMULADO AÑO. PRESENTA DATOS Y GRAFICAS MENSUALES CON DESAGREGADO EN ACTIVIDADES Y CUMPLIMIENTO DE MANTENIMIENTOS.
			6		VALOR AGREGADO	RESPONDE A LOS COMPROMISOS ADQUIRIDOS, A LAS SOLICITUDES DE SOMOSK Y PRESENTA ANALISIS MENSUAL DE INDICADORES DE LO EFECTUADO TOTAL Y POR ACTIVIDAD (# DE VECES;# DE BUSES, COSTOS, CAUSALIDAD, ESTADISTICAS, ETC.)
	METAS	10	2		REQUISITO	CONTRIBUYE AL LOGRO DEL INDICADOR DE REGULARIDAD DEL PROCESO DE PRODUCCION DE SOMOSK, COMO MIDE LA AFECTACION DE SUS PRODUCTOS EN ESTE INDICADOR?
			8		VALOR AGREGADO	CONTRIBUYE AL LOGRO DEL INDICADOR DE REGULARIDAD DEL PROCESO DE PRODUCCION DE SOMOSK, COMO MIDE LA AFECTACION DE SUS PRODUCTOS EN ESTE INDICADOR? Y PRESENTA ACCIONES CORRECTIVAS O PREVENTIVAS PARA MINIMIZAR LOS EVENTOS
			+10		MEJORA ESTANDARES	CONTRIBUYE AL LOGRO DEL INDICADOR DE REGULARIDAD DEL PROCESO DE PRODUCCION DE SOMOSK, COMO MIDE LA AFECTACION DE SUS PRODUCTOS EN ESTE INDICADOR? Y PRESENTA ACCIONES DE MEJORA PARA MINIMIZAR LOS EVENTOS
6	CONFIABILIDAD EN LOS TRABAJOS	6	2,4		REQUISITO	MIDE LA CONFIABILIDAD DE LOS TRABAJOS REALIZADOS TANTO EN CORRECTIVO COMO EN PREVENTIVO. DEMUESTRE DE QUE MANERA MIDE LA CONFIABILIDAD
			4,8		VALOR AGREGADO	MIDE LA CONFIABILIDAD DE LOS TRABAJOS REALIZADOS TANTO EN CORRECTIVO COMO EN PREVENTIVO. Y PRESENTA ACCIONES PREVENTIVAS Y CORRECTIVAS ASI COMO PLANES DE ACCION PARA AUMENTAR LA CONFIABILIDAD. DEMUESTRE DE QUE MANERA MIDE LA CONFIABILIDAD
			+6		MEJORA ESTANDARES	MIDE LA CONFIABILIDAD DE LOS TRABAJOS REALIZADOS TANTO EN CORRECTIVO COMO EN PREVENTIVO. Y PRESENTA ACCIONES DE MEJORA Y/O UN PLANES DE ACCION PARA AUMENTAR LA CONFIABILIDAD. DEMUESTRE DE QUE MANERA MIDE LA CONFIABILIDAD
	CONFIABILIDAD EN LOS REPUESTOS	6	1,2		REQUISITO	MANEJA REGISTRO DE VIDA UTIL DE LOS PRODUCTOS VENDIDOS Y REMANUFACTURADOS A SOMOSK
			4,8		VALOR AGREGADO	MANEJA REGISTRO DE VIDA UTIL DE LOS PRODUCTOS VENDIDOS Y REMANUFACTURADOS A SOMOSK Y GENERA PLANES DE ACCION PARA GARANTIZAR MAYOR CONFIABILIDAD.
+6		MEJORA ESTANDARES	MANEJA REGISTRO DE VIDA UTIL DE LOS PRODUCTOS VENDIDOS Y REMANUFACTURADOS A SOMOSK, GENERA PLANES DE ACCION PARA GARANTIZAR MAYOR CONFIABILIDAD Y ACCIONES DE MEJORA PARA ELIMINAR AFECTACIONES FUTURAS.			
12	PERSONAL CAPACITADO	12	4,8		REQUISITO	EL 80% DE SU PERSONAL TIENE CERTIFICADOS DE CAPACITACION EN TEMAS RELACIONADOS CON SU ACTIVIDAD
			9,6		VALOR AGREGADO	REALIZA PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO SEMESTRAL ACORDE CON TEMAS RELACIONADOS CON SU ACTIVIDAD
			+12		MEJORA ESTANDARES	REALIZA PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO SEMESTRAL ACORDE A LAS ACCIONES PREVENTIVAS Y DE MEJORA QUE HA PRESENTADO. INCLUYE A SOMOSK EN SUS PROGRAMAS DE CAPACITACION
28	GESTION DE CALIDAD	6	3		REQUISITO	POSEE PROCESOS ESTANDARIZADOS, LISTAS DE CHEQUEO Y TEMPARIOS
			4,8		VALOR AGREGADO	POSEE PROCESOS ESTANDARIZADOS, LISTAS DE CHEQUEO Y TEMPARIOS, SUSTENDADOS EN NORMAS Y ESTANDARES INTERNACIONALES.
			+6		MEJORA ESTANDARES	POSEE CERTIFICADO OTORGADO POR ENTIDAD AUTORIZADA EN UN SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD EN PROCESOS.
	TRAZABILIDAD EN LOS PROCESOS	10	0		FUERA ESTANDAR	NO POSEE
			2		REQUISITO	ALMACENA LA HOJA DE VIDA DE LOS VEHICULOS Y EVIDENCIA FACIL ACCESO
			8		VALOR AGREGADO	ALMACENA LA HOJA DE VIDA DE LOS VEHICULOS Y EVIDENCIA FACIL ACCESO , EN UN SOFTWARE QUE PERMITE PRESENTAR A SOMOSK, LO REPORTES REQUERIDOS.
	CONTROL METROLOGICO DE EQUIPOS DE MEDICION	12	2,4		REQUISITO	POSEE PLAN METROLOGICO Y OFRECE METODOS DE SEGUIMIENTO A LA UTILIZACION DE EQUIPOS CALIBRADOS DE MANTENIMIENTO
			9,6		VALOR AGREGADO	POSEE PLAN METROLOGICO Y OFRECE METODOS DE SEGUIMIENTO A LA UTILIZACION DE EQUIPOS CALIBRADOS DE MANTENIMIENTO POSEE CERTIFICADOS DE CALIBRACION DE LOS PATRONES USADOS EN LA CALIBRACION DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS.
			+12		MEJORA ESTANDARES	POSEE PLAN METROLOGICO Y OFRECE METODOS DE SEGUIMIENTO A LA UTILIZACION DE EQUIPOS CALIBRADOS DE MANTENIMIENTO POSEE CERTIFICADOS DE CALIBRACION DE LOS PATRONES USADOS EN LA CALIBRACION DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS. ENTREGA PUNTUALMENTE LOS CERTIFICADOS A SOMOSK
32	SOFTWARE (CAPTURA DE INFORMACION)	10	4		REQUISITO	ENTREGA INFORMACION EN ARCHIVO ELECTRONICO SEGUN REQUERIMIENTOS DE SOMOSK
			+10		MEJORA ESTANDARES	ADEMAS POSEE SOPORTE INFORMATICO QUE PERMITE, MEJORAR LOS ESTANDARES DE MANEJO DE INFORMACION Y ANALISIS DE LA INFORMACION A SOMOSK DE: ACTIVIDADES, COSTOS, ETC.
	HERRAMIENTAS Y EQUIPAMIENTO	10	2		REQUISITO	POSEE HERRAMIENTA BASICA POR TECNICO ACORDE CON SU ACTIVIDAD
			8		VALOR AGREGADO	POSEE HERRAMIENTA ESPECIALIZADA Y DE DIAGNOSTICO ACORDE CON SU ACTIVIDAD Y EVIDENCIA A TRAVES DE REGISTROS EL USO DE DICHAS HERRAMIENTAS.
			+10		MEJORA ESTANDARES	POSEE HERRAMIENTA ESPECIALIZADA Y DE DIAGNOSTICO ACORDE CON SU ACTIVIDAD Y EVIDENCIA A TRAVES DE REGISTROS EL USO DE DICHAS HERRAMIENTAS. CUENTA CON UN PLAN DE ACTUALIZACION Y MEJORA SEGUN LOS REQUERIMIENTOS DEL MEDIO CON EVIDENCIA DE VERIFICACION.
	GESTION DE REPUESTOS	12	4,8		REQUISITO	POSEE STOCK BASICO DE REPUESTOS QUE GARANTIZA LA DISPONIBILIDAD DE LA FLOTA
			12		MEJORA ESTANDARES	EVIDENCIA PROGRAMA DE JUSTO A TIEMPO PARA GARANTIZAR SUMINISTRO DE REPUESTOS . LLEVA UN REGISTRO DE LOS REPUESTOS QUE NO HAN ESTADO DISPONIBLES Y PRESENTAN ACCIONES PARA MITIGAR ESTOS EVENTOS. REALIZA AL MENOS 3 REUNIONES CON SOMOSK EN EL SEMESTRE DE REVISION DE GESTION DE REPUESTOS CON PRECIOS COMPETITIVOS DE MERCADO Y NECESIDADES DE SOMOSK, CON ESTRATEGIAS LIGADAS AL PREVENTIVO DE BAJO COSTO
TOTAL		100	CALIFICACION		0,0	
EVALUO:						
ASOCIADO:						

Fuente. El autor

Tabla 12. Evaluación gestión ambiental de proveedores

SOMOS® Sistemas Operativos Móviles S.A.		FORMATO DE EVALUACION DE ASOCIADOS				
ASOCIADO :			FECHA:			
ITEM	TEMA	PESO TEMA	VR	CALIFICACION	NIVEL DE EXIGENCIA	CRITERIO
15	GESTION AMBIENTAL POLITICA AMBIENTAL	15	3		REQUISITO	EN SU GESTIÓN CUENTA CON UNA POLITICA AMBIENTAL
			12		VALOR AGREGADO	EN SU GESTIÓN CUENTA CON UNA POLITICA AMBIENTAL APROPIADA A LOS REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE
			+ 15		MEJORA ESTANDARES	EN SU GESTIÓN CUENTA CON UNA POLITICA AMBIENTAL APROPIADA A LOS REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE Y ES SOPORTADA BAJO ESTANDARES INTERNACIONALES.
15	GESTION AMBIENTAL IDENTIFICACION DE ASPECTOS AMBIENTALES	15	3		REQUISITO	EN SU GESTIÓN CUENTA CON LA IDENTIFICACION DE ASPECTOS AMBIENTALES Y LOS IMPACTOS AMBIENTALES SIGNIFICATIVOS QUE SURGEN DE LAS ACTIVIDADES , PRODUCTOS Y SERVICIOS PASADOS, EXISTENTES O PLANIFICADOS DE LA ORGANIZACIÓN
			12		VALOR AGREGADO	EN SU GESTIÓN CUENTA CON LA IDENTIFICACION DE ASPECTOS AMBIENTALES Y LOS IMPACTOS AMBIENTALES SIGNIFICATIVOS QUE SURGEN DE LAS ACTIVIDADES , PRODUCTOS Y SERVICIOS PASADOS, EXISTENTES O PLANIFICADOS DE LA ORGANIZACIÓN APROPIADOS A LOS REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE
			+ 15		MEJORA ESTANDARES	EN SU GESTIÓN CUENTA CON LA IDENTIFICACION DE ASPECTOS AMBIENTALES Y LOS IMPACTOS AMBIENTALES SIGNIFICATIVOS QUE SURGEN DE LAS ACTIVIDADES , PRODUCTOS Y SERVICIOS PASADOS, EXISTENTES O PLANIFICADOS DE LA ORGANIZACIÓN APROPIADOS A LOS REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE Y ES SOPORTADA BAJO ESTANDARES INTERNACIONALES
15	GESTION AMBIENTAL IDENTIFICACION DE REQUISITOS LEGALES	15	3		REQUISITO	EN SU GESTIÓN CUENTA CON LA IDENTIFICACION DE REQUISITOS LEGALES APPLICABLES
			12		VALOR AGREGADO	EN SU GESTIÓN CUENTA CON LA IDENTIFICACION DE REQUISITOS LEGALES Y OTROS REQUISITOS ESTABLECIDOS POR SU ORGANIZACIÓN
			+ 15		MEJORA ESTANDARES	EN SU GESTIÓN CUENTA CON LA IDENTIFICACION DE REQUISITOS LEGALES, OTROS REQUISITOS ESTABLECIDOS POR SU ORGANIZACIÓN Y REQUISITOS DE ESTANDARES INTERNACIONALES
15	GESTION AMBIENTAL PRIORIDADES, OBJETIVOS Y METAS AMBIENTALES	15	3		REQUISITO	EN SU GESTIÓN CUENTA CON OBJETIVOS Y METAS AMBIENTALES
			12		VALOR AGREGADO	EN SU GESTIÓN CUENTA CON OBJETIVOS Y METAS AMBIENTALES, IDENTIFICANDO LAS PRIORIDADES APROPIADAS A LOS REQUISITOS DEL CLIENTE
			+ 15		MEJORA ESTANDARES	EN SU GESTIÓN CUENTA CON OBJETIVOS Y METAS AMBIENTALES, IDENTIFICANDO LAS PRIORIDADES APROPIADAS A LOS REQUISITOS DEL CLIENTE Y ES SOPORTADA BAJO ESTANDARES INTERNACIONALES
10	GESTION AMBIENTAL PROGRAMAS Y ESTRUCTURA	10	2		REQUISITO	EN SU GESTIÓN CUENTA CON UNA ESTRUCTURA APROPIADA Y UNO O VARIOS PROGRAMAS PARA IMPLEMENTAR LA POLITICA AMBIENTAL Y ALCANZAR LOS OBJETIVOS Y METAS
			8		VALOR AGREGADO	EN SU GESTIÓN CUENTA CON UNA ESTRUCTURA APROPIADA Y UNO O VARIOS PROGRAMAS PARA IMPLEMENTAR LA POLITICA AMBIENTAL Y ALCANZAR LOS OBJETIVOS Y METAS APROPIADOS A LOS REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE
			+ 10		MEJORA ESTANDARES	EN SU GESTIÓN CUENTA CON UNA ESTRUCTURA APROPIADA Y UNO O VARIOS PROGRAMAS PARA IMPLEMENTAR LA POLITICA AMBIENTAL Y ALCANZAR LOS OBJETIVOS Y METAS APROPIADOS A LOS REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE Y ES SOPORTADA BAJO ESTANDARES INTERNACIONALES.
15	GESTION AMBIENTAL RESPUESTA ANTE EMERGENCIAS	15	3		REQUISITO	EN SU GESTIÓN CUENTA CON UNO O VARIOS PROCEDIMIENTOS PARA IDENTIFICAR SITUACIONES POTENCIALES DE EMERGENCIA Y ACCIDENTES POTENCIALES QUE PUEDAN TENER IMPACTOS EN EL MEDIO AMBIENTE Y COMO RESPONDER ANTE ELLOS
			12		VALOR AGREGADO	EN SU GESTIÓN CUENTA CON UNO O VARIOS PROCEDIMIENTOS PARA IDENTIFICAR SITUACIONES POTENCIALES DE EMERGENCIA Y ACCIDENTES POTENCIALES QUE PUEDAN TENER IMPACTOS EN EL MEDIO AMBIENTE Y COMO RESPONDER ANTE ELLOS APROPIADOS A SU RELACION CON EL CLIENTE
			+ 15		MEJORA ESTANDARES	EN SU GESTIÓN CUENTA CON UNO O VARIOS PROCEDIMIENTOS PARA IDENTIFICAR SITUACIONES POTENCIALES DE EMERGENCIA Y ACCIDENTES POTENCIALES QUE PUEDAN TENER IMPACTOS EN EL MEDIO AMBIENTE Y COMO RESPONDER ANTE ELLOS APROPIADOS A SU RELACION CON EL CLIENTE Y ES SOPORTADA BAJO ESTANDARES INTERNACIONALES
15	GESTION AMBIENTAL SEGUIMIENTO Y MEDICION	15	3		REQUISITO	EN SU GESTIÓN CUENTA CON UNO O VARIOS PROCEDIMIENTOS PARA MONITOREAR DE FORMA REGULAR LAS CARACTERISTICAS FUNDAMENTALES DE SUS OPERACIONES QUE PUEDAN TENER UN IMPACTO SIGNIFICATIVO EN EL MEDIO AMBIENTE
			12		VALOR AGREGADO	EN SU GESTIÓN CUENTA CON UNO O VARIOS PROCEDIMIENTOS PARA MONITOREAR DE FORMA REGULAR LAS CARACTERISTICAS FUNDAMENTALES DE SUS OPERACIONES QUE PUEDAN TENER UN IMPACTO SIGNIFICATIVO EN EL MEDIO AMBIENTE APROPIADOS A LOS REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE
			+ 15		MEJORA ESTANDARES	EN SU GESTIÓN CUENTA CON UNO O VARIOS PROCEDIMIENTOS PARA MONITOREAR DE FORMA REGULAR LAS CARACTERISTICAS FUNDAMENTALES DE SUS OPERACIONES QUE PUEDAN TENER UN IMPACTO SIGNIFICATIVO EN EL MEDIO AMBIENTE APROPIADOS A LOS REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE Y ES SOPORTADA BAJO ESTANDARES INTERNACIONALES
TOTAL		100	CALIFICACION		0	
EVALUO:						
ASOCIADO:						

Fuente. El autor

Tabla 13. Evaluación gestión en de SySO de proveedores

SOMOS [®] Sistemas Operativos Móviles S.A		FORMATO DE EVALUACION DE ASOCIADOS				
ASOCIADO :			FECHA:			
ITEM	TEMA	PESO TEMA	VR	CALIFICACION	NIVEL DE EXIGENCIA	CRITERIO
20	GESTION SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL INFORMACION Y GESTION DE ACCIDENTES	20	4		REQUISITO	PRESENTO EN LA PRIMERA SEMANA DEL MES EL REPORTE DE HORAS HOMBRE EL CUAL INCLUYE: LOS INCIDENTES Y/O ACCIDENTES DEL MES ANTERIOR CON LA CAUSALIDAD Y SU ANALISIS DE CAUSALIDAD, ASI COMO LA META DEL ILI Y SU VALIR MES AMES . (ADJUNTAN REPORTES Y CONSOLIDADO DEL PERIODO EVALUADO RELACIONANDO LAS ACCIONES TOMADAS EN CADA CASO.)
			16		VALOR AGREGADO	NO PRESENTO ACCIDENTES O PRESENTO EL ITEM ANTERIOR Y LAS ACCIONES PREVENTIVAS PARA MINIMIZAR LOS INCIDENTES Y/O ACCIDENTES DE TRABAJO
			+ 20		MEJORA ESTANDARES	PRESENTA UNA ACCION DE MEJORA CON OBJETIVOS, ACTIVIDADES Y TIEMPOS DEFINIDOS PARA MINIMIZAR LOS INCIDENTES Y/O ACCIDENTES DE TRABAJO.
20	GESTION SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL IDENTIFICACION DE PELIGROS Y VALORACION DE RIESGOS	20	4		REQUISITO	EN SU GESTIÓN CUENTA CON LA IDENTIFICACION DE PELIGROS Y VALORACION DE RIESGOS QUE SURGEN DE LAS ACTIVIDADES , PRODUCTOS Y SERVICIOS PASADOS, EXISTENTES O PLANIFICADOS DE LA ORGANIZACIÓN
			16		VALOR AGREGADO	EN SU GESTIÓN CUENTA CON LA IDENTIFICACION DE PELIGROS Y VALORACION DE RIESGOS QUE SURGEN DE LAS ACTIVIDADES , PRODUCTOS Y SERVICIOS PASADOS, EXISTENTES O PLANIFICADOS DE LA ORGANIZACIÓN APROPIADOS A LOS REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE
			+ 20		MEJORA ESTANDARES	EN SU GESTIÓN CUENTA CON LA IDENTIFICACION DE PELIGROS Y VALORACION DE RIESGOS QUE SURGEN DE LAS ACTIVIDADES , PRODUCTOS Y SERVICIOS PASADOS, EXISTENTES O PLANIFICADOS DE LA ORGANIZACIÓN APROPIADOS A LOS REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE Y ES SOPORTADA BAJO ESTANDARES INTERNACIONALES
20	GESTION SEGURIDAD Y SALUD IDENTIFICACION DE REQUISITOS LEGALES	20	4		REQUISITO	EN SU GESTIÓN CUENTA CON LA IDENTIFICACION DE REQUISITOS LEGALES APLICABLES
			16		VALOR AGREGADO	EN SU GESTIÓN CUENTA CON LA IDENTIFICACION DE REQUISITOS LEGALES Y OTROS REQUISITOS ESTABLECIDOS POR SU ORGANIZACIÓN
			+ 20		MEJORA ESTANDARES	EN SU GESTIÓN CUENTA CON LA IDENTIFICACION DE REQUISITOS LEGALES, OTROS REQUISITOS ESTABLECIDOS POR SU ORGANIZACIÓN Y REQUISITOS DE ESTANDARES INTERNACIONALES
20	GESTION SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL CONTROL OPERACIONAL	20	4		REQUISITO	EN SU GESTION CUENTA CON CONTROLES OPERACIONALES (MERCANCIAS, EQUIPOS Y SERVICIOS COMPRADOS, CONTRATISTAS Y VISITANTES, SITUACIONES DE AUSCENCIA Y CRITERIOS DE OPERACION) APLICABLES A SU ORGANIZACIÓN Y ACTIVIDADES EN AQUELLAS OPERACIONES ASOCIADAS CON LOS PELIGROS IDENTIFICADOS.
			16		VALOR AGREGADO	EN SU GESTION CUENTA CON CONTROLES OPERACIONALES (MERCANCIAS, EQUIPOS Y SERVICIOS COMPRADOS, CONTRATISTAS Y VISITANTES, SITUACIONES DE AUSCENCIA Y CRITERIOS DE OPERACION) APLICABLES A SU ORGANIZACIÓN Y ACTIVIDADES EN AQUELLAS OPERACIONES ASOCIADAS CON LOS PELIGROS IDENTIFICADOS APROPIADOS A LOS REQUISITOS DEL CLIENTE.
			+ 20		MEJORA ESTANDARES	EN SU GESTION CUENTA CON CONTROLES OPERACIONALES (MERCANCIAS, EQUIPOS Y SERVICIOS COMPRADOS, CONTRATISTAS Y VISITANTES, SITUACIONES DE AUSCENCIA Y CRITERIOS DE OPERACION) APLICABLES A SU ORGANIZACIÓN Y ACTIVIDADES EN AQUELLAS OPERACIONES ASOCIADAS CON LOS PELIGROS IDENTIFICADOS APROPIADOS A LOS REQUISITOS DEL CLIENTE Y SOPORTADO BAJO ESTANDARES INTERNACIONALES.
20	GESTION SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL PREPARACION Y RESPUESTA ANTE EMERGENCIAS	20	4		REQUISITO	EN SU GESTIÓN CUENTA CON UNO O VARIOS PROCEDIMIENTOS PARA IDENTIFICAR Y RESPONDER EN SITUACIONES POTENCIALES DE EMERGENCIA Y ACCIDENTES POTENCIALES CON EL FIN DE PREVENIR O MITIGAR LAS CONSECUENCIAS DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL ADVERSAS ASOCIADAS
			16		VALOR AGREGADO	EN SU GESTIÓN CUENTA CON UNO O VARIOS PROCEDIMIENTOS PARA IDENTIFICAR Y RESPONDER EN SITUACIONES POTENCIALES DE EMERGENCIA Y ACCIDENTES POTENCIALES CON EL FIN DE PREVENIR O MITIGAR LAS CONSECUENCIAS DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL ADVERSAS ASOCIADAS DE ACUERDO A SU RELACION CON EL CLIENTE
			+ 20		MEJORA ESTANDARES	EN SU GESTIÓN CUENTA CON UNO O VARIOS PROCEDIMIENTOS PARA IDENTIFICAR Y RESPONDER EN SITUACIONES POTENCIALES DE EMERGENCIA Y ACCIDENTES POTENCIALES CON EL FIN DE PREVENIR O MITIGAR LAS CONSECUENCIAS DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL ADVERSAS ASOCIADAS DE ACUERDO A SU RELACION CON EL CLIENTE Y ES SOPORTADA BAJO ESTANDARES INTERNACIONALES
TOTAL		100	CALIFICACION		0	
EVALUO:						
ASOCIADO:						

Fuente. El autor

4. CONCLUSIONES

- La estrategia de implementación de RCM propuesta está basada en un enfoque por fuerza de tareas, bajo la cual con un equipo pequeño de RCM se realizó un análisis intensivo al sistema que ocasiona más pérdidas económicas a la compañía y representa un potencial de riesgo alto. La principal ventaja de esta implementación es la rapidez de desarrollo de la metodología lo cual potencializa la capacidad de empezar a percibir el mejoramiento con una inversión pequeña.
- La principal desventaja del modelo de implantación propuesto es que no asegura la participación y el compromiso de todas las personas de la organización, con lo cual se limita al enfoque y no se fomentan las mejores prácticas de toda la organización.
- Uno de los puntos más fuertes del proceso de RCM es la documentación formal del conocimiento tácito de las personas, que forman parte del proceso, ya que para el correcto desarrollo de la metodología se hace necesaria la gestión del conocimiento de todos los integrantes del equipo de trabajo. En el libro de trabajo y en el presente documento pueden encontrarse los componentes del sistema, los diagramas de interacción de los mismos, sus especificaciones técnicas y los modos y efectos de falla.
- En el análisis de criticidad de los componentes del sistema neumático de frenos y suspensión se encontró que el elemento más relevante para las dos tipologías de flota es el compresor de aire, el cual presenta la mayor cantidad de fallas funcionales y los efectos de estas fallas son los que más riesgos genera ambientalmente, para las personas, operacionalmente y para la imagen de la compañía.

- Como resultado del desarrollo de la metodología se presentan en las tablas 9 y 10 el consolidado final de las tareas necesarias para eliminar o mitigar las consecuencias de falla para los dos tipos de flota. Para estas labores se establecieron frecuencias y recursos necesarios.

- Como derivación final del presente estudio se consolidó un modelo de evaluación de proveedores (Tablas 11, 12 y 13) para la selección del mismo. Este modelo permite evaluar no sólo las capacidades técnicas de los mismos (Calidad), si no que entrega un análisis integral de las capacidades en gestión ambiental y de seguridad y salud ocupacional. Lo cual está directamente relacionado con el objetivo principal del RCM.

BIBLIOGRAFÍA

BENDIX COMERCIAL VEHICLES SYSTEMS LLC. Manual de frenos de aire. Ed. Bendix: 2008. 68 p

CAETANO, Gilson. Conjunto de freno – booster. Sao Paulo: Ed Knorr-Bremse: 2010. 13 p

CAETANO, Gilson. Compresores. São Paulo: Ed Knorr-Bremse: 2009. 30 p

CAETANO, Gilson. Unidad de tratamiento de aire A.P.U.. São Paulo: Ed Knorr-Bremse: 2009. 18 p

CAETANO, Gilson. Válvula de dos vías, válvula de retención y válvula de descarga rápida . Sao Paulo: Ed Knorr-Bremse: 2010. 12 p

CAETANO, Gilson. Válvula de protección de 4 circuitos. Sao Paulo: Ed Knorr-Bremse: 2009. 25 p

CAETANO, Gilson. Válvula freno de mano. Sao Paulo: Ed Knorr-Bremse: 2010. 13 p

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Sistemas de gestión ambiental. NTC-ISO14001. Bogotá D.C.: ICONTEC: 2004. 14 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Sistemas de gestión de la calidad. NTC-ISO9001. Bogotá D.C.: ICONTEC: 2008. 35 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION.
Sistemas de gestión en seguridad y salud ocupacional. NTC-OHSAS 18001.
Bogotá D.C.: ICONTEC: 2007. 24 p.

KNORR-BREMSE. Brake and air suspension products for trailers. Munich: Ed
Knorr-Bremse: 2011. 278 p

KNORR-BREMSE. Manual de reparação e testes. São Paulo: Ed Knorr-Bremse:
2009.55 p

MOUBRAY, John, Mantenimiento centrado en la confiabilidad. Asheville, North
Carolina: Ed. Aladon, 2004. 433 p

ORTIZ, Daniel. El método: Diagrama de flujo del RCM. En: Especialización en
Gerencia de Mantenimiento (17: 9-10, Diciembre: Bogotá). Memorias. Bogotá:
UIS, 2011 p. 4.

SAE JA1011. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM)
processes. Society of automotive Engineers Inc. 1999

TRANSMILENIO S.A. Estadísticas Generales [En línea]. Bogotá D.C. [Citado 21
May. 2012] Disponible en internet: < [http://www.transmilenio.gov.co/WebSite/
Contenido.aspx?ID=TransmilenioSA_TransmilenioEnCifras_EstadisticasGenerales](http://www.transmilenio.gov.co/WebSite/Contenido.aspx?ID=TransmilenioSA_TransmilenioEnCifras_EstadisticasGenerales)
>

TRANSMILENIO S.A. Operación [En línea]. Bogotá D.C.[Citado 22 Feb. 2012]
Disponible en internet: <[http://www.transmilenio.gov.co/WebSite/Contenido
.aspx?ID=TransmilenioSA_QuienesSomos_SistemaDeTransporte_Operacion](http://www.transmilenio.gov.co/WebSite/Contenido.aspx?ID=TransmilenioSA_QuienesSomos_SistemaDeTransporte_Operacion)>

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS. Características [En línea]. Bogotá D.C.[Citado 22 Feb. 2012] Disponible en internet: <<http://www.udistrital.edu.co/universidad/colombia/bogota/caracteristicas>>

WABCO, Air suspension systems. Hannover: Ed, Wabco, 2004. 16 p

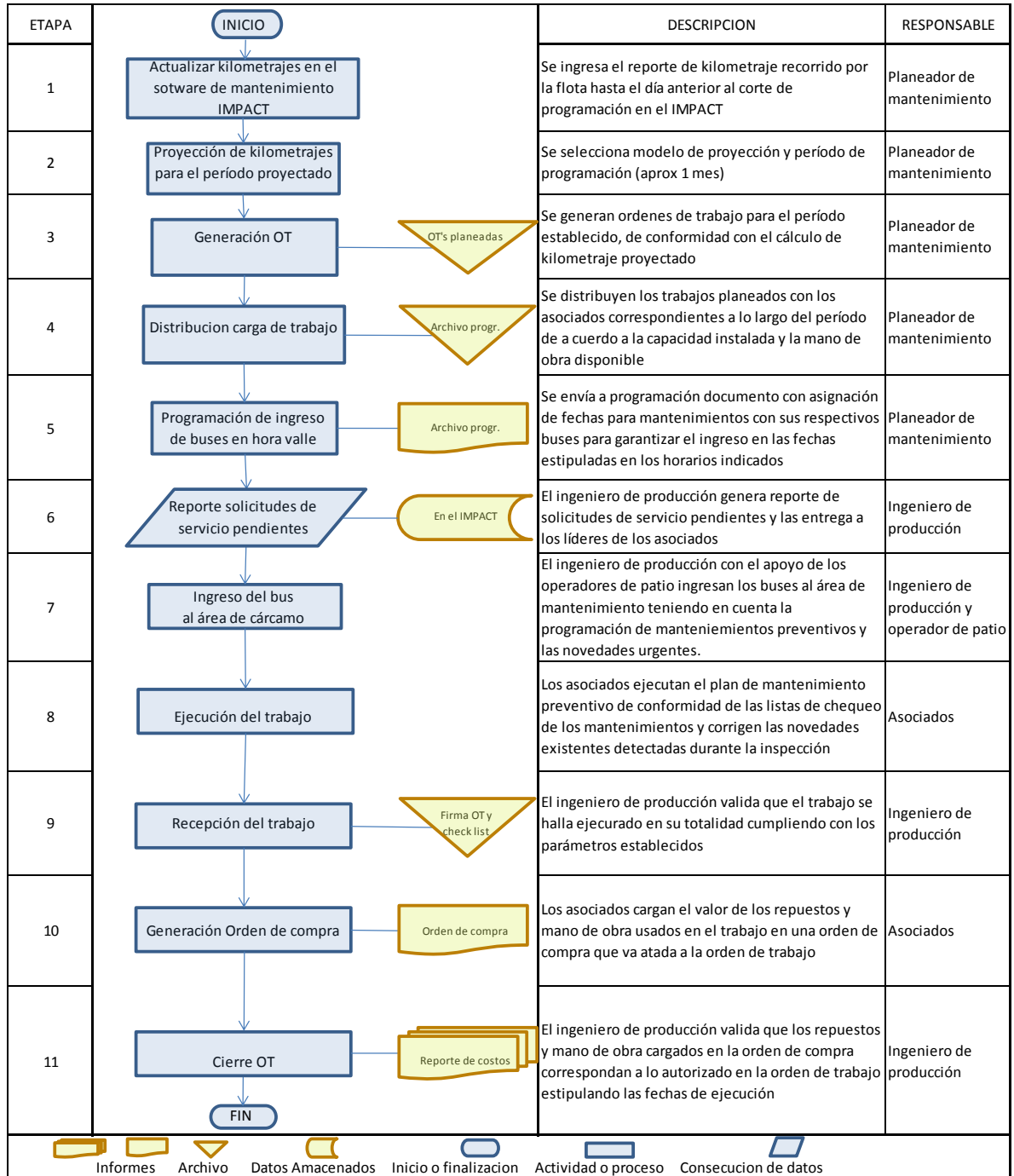
WABCO, Anti-lock braking system (ABS) and anti-slip regulation (ASR). 2 ed. Hannover: Ed. Wabco. 2011. 36 p

WABCO, Colchones neumáticos para vehículos industriales. 9 ed. Hannover: Ed. Wabco. 2011. 74 p

WABCO UNIVERSITY, Sistemas de freno de aire. Campinas: Ed. Wabco. 2011. 208 p

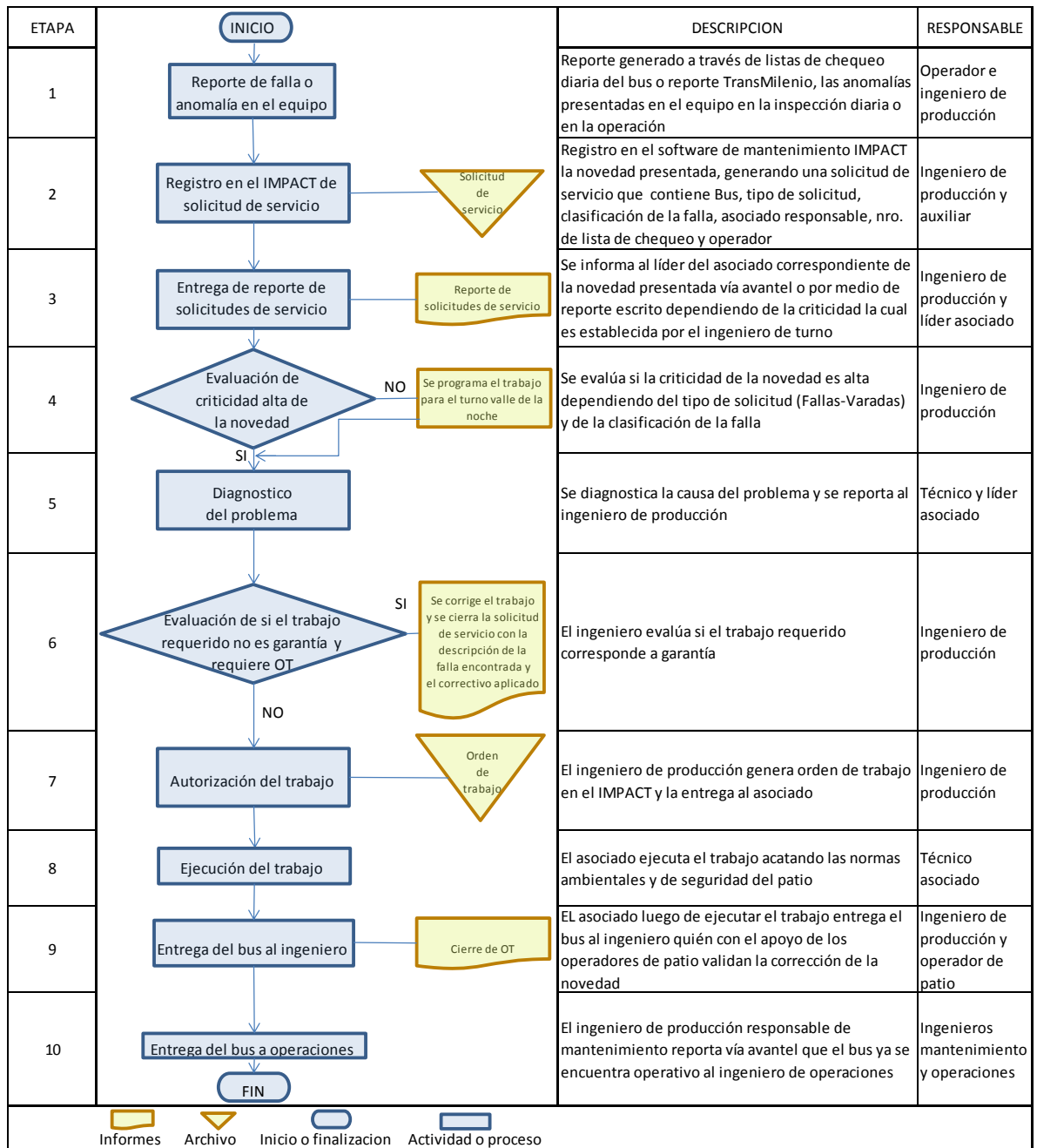
ANEXOS

ANEXO A. Diagrama de flujo de mantenimiento preventivo



Fuente. El autor

ANEXO B. Diagrama de flujo de mantenimiento correctivo



Fuente. El autor