

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR - JOSÉ MIGUEL CARRERA

**ESTRATEGIA DE NEGOCIO BASADA EN UN PLAN DE MANTENIMIENTO
A SISTEMA DE FRENADO FERROVIARIO**

Trabajo de Titulación para optar al Título
Profesional de Ingeniero en Ejecución en
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Alumno:
Paulo Andrés Rodríguez Villalón

Profesor guía:
Ing. Eduardo Vidal

2018

RESUMEN

KEYWORDS: MANTENIMIENTO-SISTEMA-FRENADOS FERROVIARIOS

Estrategia de negocio basada en un plan de mantenimiento a sistema de frenado ferroviario.

Este trabajo y estudio se realiza, ya que la empresa que tiene la representación de la marca Knorr Bremse (encargada del sistema de frenado ferroviario) en Chile tiene solo un solo cliente, a pesar de que la mayoría de las empresas de metro y ferrocarriles en el país cuentan con este. También se busca justificar el estudio y la estrategia implementando un análisis y plan de mantenimiento a un equipo del sistema como muestra.

En el primer capítulo de este trabajo se da a conocer un poco sobre la historia de la empresa, la diferencia entre el sistema de frenado de trenes de carga y pasajero, como también la evolución de los equipos en el tiempo y la función de cada uno de estos.

En el segundo capítulo, se presenta el marco teórico con el que se podrá desarrollar y fundamentar cada decisión que se tome, los diferentes parámetros que se seleccionaron y datos (KPI) con los que se trabaja para la elección y jerarquización del equipo más crítico.

En el tercer capítulo se realizará un análisis (FMECA) profundo y detallado de la unidad de control neumática EPBGE, en donde todos los resultados que se obtendrán se verán reflejado en acciones de mantenimiento, en donde esta misma propuesta y análisis realizado se podrá ejecutar en los demás equipos.

En el ultimo y cuarto capitulo se mostrara tanto la evaluación técnica y económica que garantiza la aplicación del plan de mantenimiento en relación a los costos al momento de implementar el cambio de piezas del equipo.

ÍNDICE

RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS	2
OBJETIVOS GENERALES	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES	3
1.1. HISTORIA	4
1.2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	5
1.3. UBICACIÓN	6
1.4. TIPOS DE SISTEMA DE FRENO NEUMÁTICO	7
1.4.1. Mercado de pasajeros	7
1.4.2. Mercado de carga	8
1.5. SISTEMA DE FRENO DE TREN DE PASAJERO (METRO)	8
1.6. SISTEMA DE FRENO DE LOCOMOTORA Y VAGONES	9
1.7. EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS Y EQUIPOS	10
1.8. EQUIPOS ASOCIADOS	12
1.8.1. Secadora de aire	12
1.8.2. Válvula de nivelación (equipos de suspensión de aire)	13
1.8.3. Válvula reductora de presión	13
1.8.4. Válvula de sobrecarga	14
1.8.5. Válvula de presión media	15
1.8.6. Válvula de seguridad	16
1.8.7. Válvula de emergencia	16
1.8.8. Filtros de aire	17
1.8.9. Presostato	18
1.9. SITUACIÓN ACTUAL	18
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTO TEÓRICO Y METODOLOGÍA DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO	20
2.1. REVISIÓN INTERMEDIA	21
2.2. SEGUIMIENTO DE LOS EQUIPOS MANTENIDOS	22
2.3. SELECCIÓN DEL EQUIPO CRITICO	23
2.3.1. Bloque de freno de servicio	23
2.3.2. Bloque de freno de urgencia	24

2.3.3.	Compresor VV-120	24
2.3.4.	Unidad de control neumática EPBGE	25
2.4.	HISTOGRAMA, GRÁFICOS Y KPI	26
2.5.	ANÁLISIS DE MODOS DE FALLAS, EFECTOS Y CRITICIDAD (FMECA)	30
2.5.1.	Metodología	30
2.5.2.	Descripción del diagrama	31
2.6.	ANÁLISIS Y JERARQUIZACIÓN	32
 CAPÍTULO 3: DEFINICIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO EN BASE A LOS RESULTADOS QUE ENTREGA EL ANÁLISIS		37
3.1.	GENERALIDADES	38
3.1.1.	Unidad de control neumática EPBGE	38
3.1.2.	Imágenes de los modos de falla	39
3.2.	ANÁLISIS DE LOS MODOS DE FALLA.	43
3.3.	MATRIZ DE RIESGO Y DAÑO APLICADA	46
3.4.	JERARQUIZACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS DE LAS FALLA	47
3.5.	VALORES VINCULADOS A LAS FALLAS	48
3.6.	RESULTADO FINAL	50
 CAPÍTULO 4: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA		51
4.1.	EVALUACIÓN TÉCNICA	52
4.1.1.	Banco de prueba de bloque de freno	52
4.1.2.	Banco de prueba de compresor	54
4.1.3.	Banco de prueba unidad de control neumática	57
4.1.4.	Banco de prueba universal	58
4.2.	RESULTADO TECNICO	60
4.3.	EVALUACIÓN ECONÓMICA	60
4.4.	RELACIÓN EN LOS COSTOS	63
4.5.	RESULTADO ECONÓMICO	65
4.6.	SERVICIO FINAL AL CLIENTE	65
4.7.	DISCUSIÓN FINAL	66
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		68
BIBLIOGRAFÍA		69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.	Organigrama Globak ingeniería ferroviaria S.P.A.	6
Figura 1-2.	Ubicación de la empresa Globak	6
Figura 1-3.	Ubicación de la empresa Knorr Bremse	7
Figura 1-4.	Tren de carga y pasajero	8
Figura 1-5.	Sistema de freno electroneumático	9
Figura 1-6.	Sistema de freno de vagones	10
Figura 1-7.	Historia de la evolución de válvulas de control	11
Figura 1-8.	Secadora de aire	12
Figura 1-9.	Válvula de nivelación	13
Figura 1-10.	Válvula reductora de presión	14
Figura 1-11.	Válvula de sobrecarga	15
Figura 1-12.	Válvula de presión media	15
Figura 1-13.	Válvula de seguridad	16
Figura 1-14.	Válvula de emergencia	17
Figura 1-15.	Filtro de aire	17
Figura 1-16.	Presostato	18
Figura 2-1.	Bloque de freno de servicio, nomenclatura neumática	23
Figura 2-2.	Bloque de freno de urgencia, nomenclatura neumática	24
Figura 2-3.	Compresor, nomenclatura neumática	25
Figura 2-4.	Unidad de control, nomenclatura neumática	26
Figura 2-5.	KPI freno de servicio	28
Figura 2-6.	KPI freno de urgencia	28
Figura 2-7.	KPI compresor	29
Figura 2-8.	KPI unidad de control	29
Figura 2-9.	Diagrama FMECA	31
Figura 2-10.	Matriz de riesgo y daño	35
Figura 3-1.	Unidad de control neumática EPBGE	39
Figura 3-2.	Electroválvula WMV1 desarmada	39
Figura 3-3.	Fuga parte superior válvula KR6-AA	40
Figura 3-4.	Fuga parte superior electroválvula WMV1	40
Figura 3-5.	Fuga parte lateral electroválvula WMV1	41
Figura 3-6.	Válvula limitadora de presión no alimenta válvula KR6-AA	41
Figura 3-7.	Válvula A1 y A2 con fuga	42
Figura 3-8.	Válvula limitadora de presión con fuga	42

Figura 3-9.	Matriz de riesgo y daño aplicada	46
Figura 4-1.	Banco de prueba bloque de freno	53
Figura 4-2.	Banco de prueba bloque de freno	54
Figura 4-3.	Banco de prueba compresor vv-120	56
Figura 4-4.	Banco de prueba compresor vv-120	56
Figura 4-5.	Banco de prueba unidad de control neumática EPBGE	58
Figura 4-6.	Banco de prueba universal	59

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2-1.	Histograma	27
--------------	------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1.	Parámetros de desempeño	22
Tabla 2-2.	Tabla de categoría de frecuencias	33
Tabla 2-3.	Tabla de categoría de consecuencias	33
Tabla 3-1.	Tabla de método FMECA	43
Tabla 3-2.	Tabla de método FMECA	47
Tabla 3-3.	Tabla de valores de falla	49
Tabla 4-1.	Tabla de costos al cliente	61
Tabla 4-2.	Tabla de costos a Globak	62
Tabla 4-3.	Tabla comparativa de inversion	64
Tabla 4-4.	Tabla de servicio de kit de mantenimiento Knorr Bremse	66

INTRODUCCIÓN

Knorr Bremse es una empresa multinacional encargada de suministrar los trenes y camiones con el mejor sistema de freno neumático. En Chile esta tanto en los trenes de carga como de pasajeros, posicionada como el mejor proveedor para las distintas marcas encargadas de la construcción de metro. Sin embargo, para el prestigio y reconocimiento de la marca, tiene un solo cliente en el país que son los españoles de Caf que son líderes en el mercado chileno con la línea 1,3 y 6. En Chile los representantes de Knorr Bremse es una empresa llamada Globak Ingeniería Ferroviaria S.P.A.

El gran y único proyecto que tiene Globak es la revisión intermedia (RI) de los equipos de la línea 1 que están encargados de hacer que el metro frene, pero al momento de terminar este, no habrá mas proyectos de forma inmediata. Por lo mismo en este trabajo se apuntará a que en el momento de terminar el proyecto antes mencionado se tengan nuevos trabajos, nuevos desafíos, pero por sobre todo una proyección que elimine la incertidumbre de saber que va a pasar.

Esto se logrará haciendo una estrategia de negocio para ofrecer a nuevos clientes, pero que está basada en un plan de mantenimiento al sistema de freno, contemplando normas, estándares y herramientas basada en la confiabilidad, como el FMECA, generando un estudio con pilares sustentables que ofrezcan la garantía de un mantenimiento con un costo positivo y la perfecta disponibilidad de los equipos sin presentar fallas que generen un impacto de nivel alto.

OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS

OBJETIVOS GENERALES

Generar una estrategia de un plan de negocio en base a un plan de mantenimiento para aumentar la cantidad de clientes y la mejora del servicio entregado.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir cualitativamente el sistema de frenado Knorr Bremse en los trenes de pasajero y carga en base a información del fabricante.
- Realizar análisis técnico actual de los sistemas de frenado y su mantenimiento en la línea 1 de Metro de Santiago de acuerdo a intervenciones en terreno.
- Aplicar herramienta de mantenimiento basado en la confiabilidad para definir tipo de mantenimiento y estrategia de negocio.
- Evaluar técnica y económicamente el plan de mantenimiento sugerido.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. HISTORIA

Como pionera en tecnología Knorr Bremse lleva más de 110 años en el desarrollo, la producción, la venta y el servicio de sistemas de frenos modernos, en el área ferroviaria, la empresa equipa vehículos para el transporte de cercanía, como metros y tranvía y también todo lo que son trenes de mercancía, locomotoras y trenes de alta velocidad. También se incluye en la producción sistema de aires acondicionado, limpia parabrisas y puerta de acceso a los trenes. El prestigio que tiene Knorr Bremse básicamente es por la contribución enorme que hace a la seguridad que dan los equipos, sobre todo al transporte de personas.

Hace 10 años es donde Knorr Bremse empieza a aparecer fuertemente por Chile, con la compra que hizo el Metro de Santiago con los trenes de Alstom, que eran de última tecnología, es así como se volvió una necesidad tener asistencia técnica, como consecuencia empezaron los primeros contactos, después de eso entro en el mercado la marca española CAF, que también traía consigo los equipos Knorr Bremse, el mercado aumento y no bastaba solo con la asistencia técnica, sino que también se necesitaba mantenimiento y venta de repuestos.

El 2014 Knorr Bremse Brasil dio la representación de la marca a Luis Zamalloa Ore, con el fin de poder tener un taller en donde se realizará el mantenimiento de los equipos de los distintos trenes, también la venta de kits de repuestos y pensando en un futuro con la creación de las nuevas líneas de metro, poder tener nuevos clientes.

Así es como hoy en día Globak ingeniería ferroviaria S.P.A. tiene la venta de repuestos a Alstom, Metro de Santiago y CAF, también el proyecto de RI (revisión intermedia) a los 34 trenes que tiene CAF en la línea 1.

Sin embargo, hoy en día a pesar de tener dicho contrato, se está trabajando para poder obtener nuevos clientes, ingresar al sistema de trenes de carga y porque no las nuevas líneas 3 y 6 que también son de los españoles Caf, sin antes establecer una estrategia con pilares sustentables para ofrecer a los diferentes clientes, que es lo que buscara implementar este trabajo.

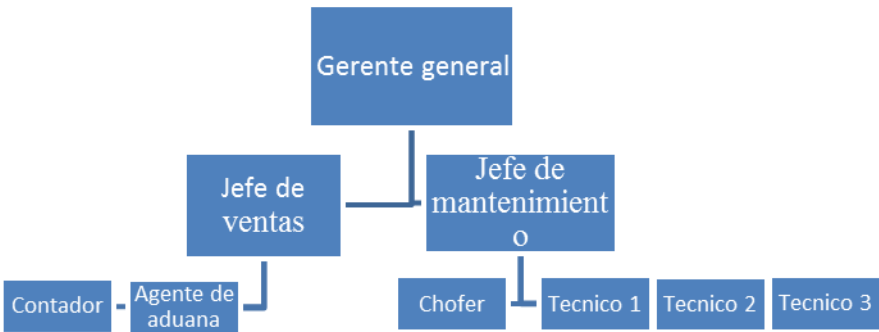
1.2. **DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA**

Globak ingeniería ferroviaria S.P.A. es una empresa que se creó alrededor de 4 años en el momento en que obtuvo la representación de Knorr Bremse en Chile, esta empresa se dedica hoy en día a la venta de repuestos para las diferentes empresas de ferrocarriles y metro, como, Metro de Santiago, Alstom, Caf, grupo efe, Fepasa y Ferrostal. Por otro lado, también se dedica al servicio del mantenimiento de equipos del sistema de frenado neumático, con el proyecto que se adjudicó llamado “revisión intermedia”, que consta del mantenimiento a los equipos neumáticos más complejos del sistema de frenado de la línea 1 de Caf. Son diferentes los equipos que se pueden trabajar, independiente el cliente y la línea, lamentablemente hoy se tiene solo un cliente, CAF.

La empresa tiene un sistema de trabajo que se divide en dos, la parte burocrática y de venta de repuestos y la parte técnica y de mantenimiento, sin embargo, se unen en el momento del trabajo final puesto que todo sigue un modelo con los siguientes pasos:

1. El cliente solicita la reparación de un equipo, el cual envía informe con la falla y el equipo se recibe en el taller.
2. Se tiene un plazo de 5 días para analizar el equipo con su falla para entregar el informe con la solución que recomienda la empresa.
3. Si dentro de la solución es reemplazar una pieza, el cliente tiene que aprobar la compra de este.
4. Después de aprobar la compra se encarga a Brasil el repuesto con una demora de 15 días.
5. Se repara el equipo y se envía al cliente junto a un informe explicando la razón del problema, la solución y test de prueba que certifica el óptimo funcionamiento del equipo.

A lo largo de Chile la mayoría de los trenes de pasajero y carga tienen el sistema de frenado neumático Knorr Bremse, pero hoy en día Globak cuenta con un solo cliente en el área de mantenimiento que es Caf. Los trabajadores que forman parte de la empresa son los siguientes:

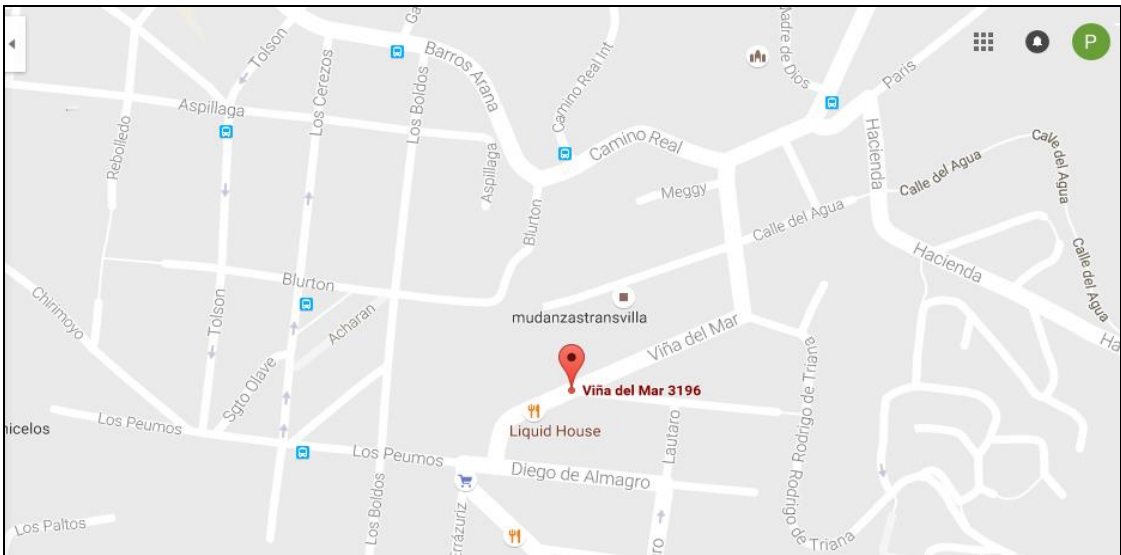


Fuente: Elaboración propia en base a www.globak.cl

Figura 1-1. Organigrama Globak ingeniería ferroviaria S.P.A.

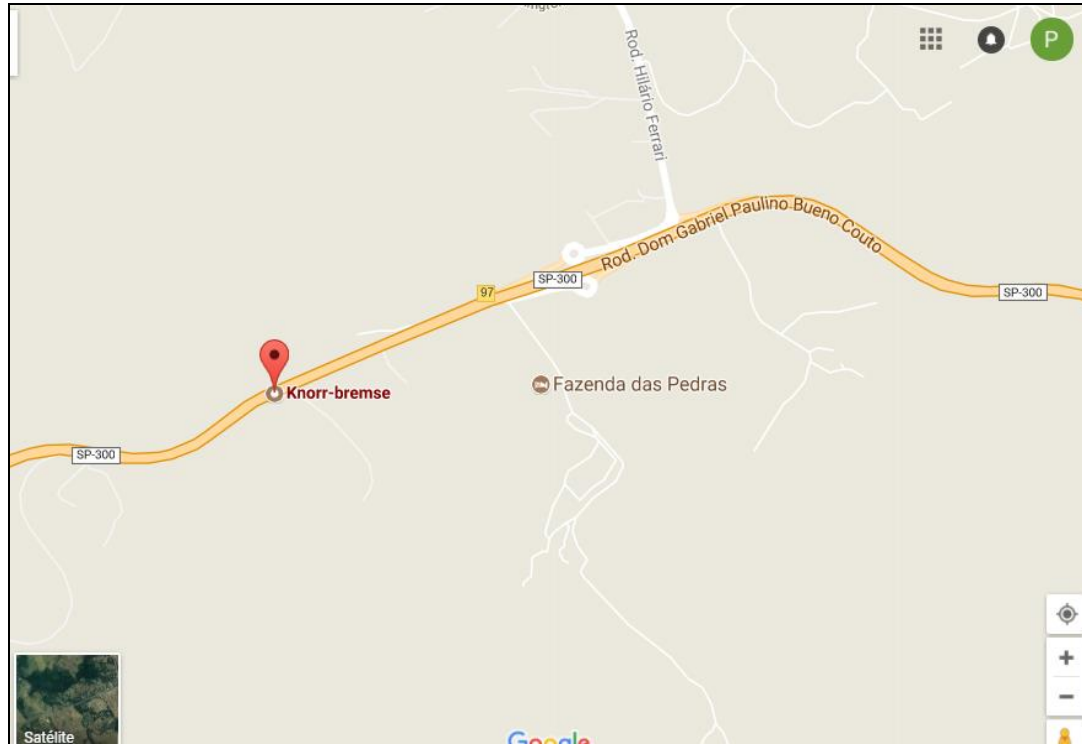
1.3. UBICACIÓN

Globak ingeniería ferroviaria S.P.A. en Valparaíso, comuna Viña del mar, 3196, mientras que Knorr Bremse Brasil se encuentra en Rod. Dom Paulino Bueno Couto, Itupeva Brasil, mientras que



Fuente: www.googlemaps.cl

Figura 1-2. Ubicación de la empresa Globak



Fuente: www.googlemaps.cl

Figura 1-3. Ubicación de la empresa Knorr Bremse

1.4. **TIPOS DE SISTEMA DE FRENO NEUMÁTICO**

Hoy en día existen dos tipos de mercado que cuentan con el sistema de frenado neumático y que a continuación se explicara su situación actual, como han ido evolucionando y la problemática de ingresar a ofrecer el servicio, tanto de venta de Kit, pero por sobre todo de mantenimiento.

1.4.1. **Mercado de pasajeros**

En la actualidad el tren de pasajeros cuenta con 5 líneas funcionando en Santiago de Chile, 1 línea en Valparaíso y 3 en el sur del país, son trenes modernos que se compraron a los franceses de Alstom y españoles de Caf, con equipos relativamente nuevos, sin contar las dos ultimas líneas 3 y 6 que son de última tecnología, sin embargo ingresar con el servicio de mantenimiento es difícil, ya que la mayoría de estas al ser nuevas no han entrado en mantenimientos mayores en donde se necesite un conocimiento más profundo.

1.4.2. Mercado de carga

A diferencia de los trenes de pasajero, los trenes de carga por parte del estado y las empresas privadas no han tenido ninguna inversión, es decir, no ha habido una evolución desde ya hace muchos años, por lo mismo conlleva a que el mantenimiento de estos o nunca se hizo o ya son equipos con los que no se puedan trabajar, por ende vender kit de repuestos es mucho más complicado, la solución a estos problemas es ofrecer un servicio que convenza al cliente de hacer una inversión de renovación de los equipos o el sistema en sí.



Fuente: www.metro.cl

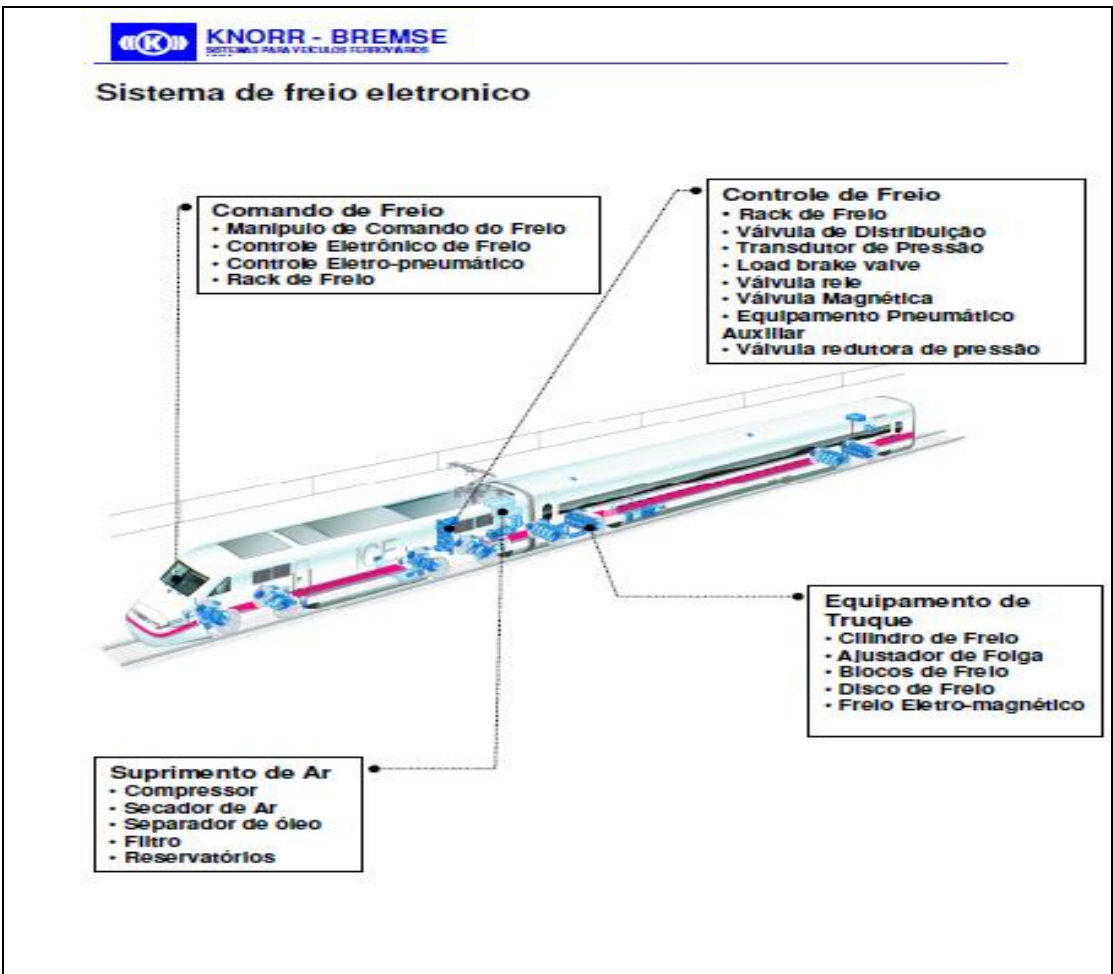
Figura 1-4. Tren de carga y pasajero

1.5. SISTEMA DE FRENO DE TREN DE PASAJERO (METRO)

El sistema de frenado de metro es básicamente por pulsos eléctricos y revoluciones del motor, que hacen que el tren dependiendo la necesidad y forma de manejo vaya controlando la velocidad, pero cuando este baja los 10 km/h es donde se aplica el sistema de freno electroneumático Knorr Bremse, en donde se aplican los frenos de servicio que se controla mediante el comando de la cabina y los frenos de urgencia, que son cuando se desea detener el tren por completo y/o ocurre algún percance en la vía en donde este tendrá que detenerse lo más rápido posible. El sistema

de frenado consta de diferentes equipos, pero Globak realiza el mantenimiento a los siguientes:

- Bloques de freno de servicio II68321-44MM
- Bloque de freno de urgencia II68321-44MM
- Compresor VV-120
- Unidad de control neumática EPBGE



Fuente:file:Capacitacion%20Knorr%20Brasil/Capacitacion%20trenes%20de%20carga.pdf

Figura 1-5. Sistema de freno electroneumático

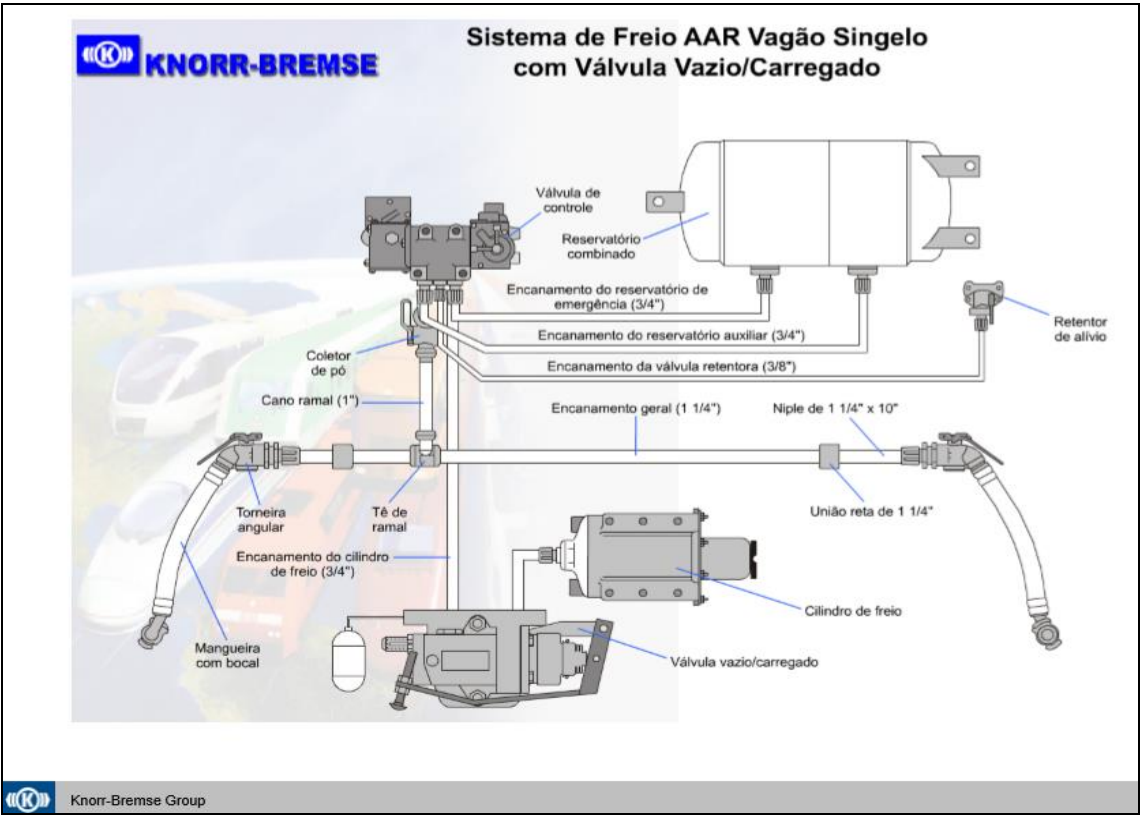
1.6. SISTEMA DE FRENO DE LOCOMOTORA Y VAGONES

En Chile la mayoría de las empresas grandes que son de producción ocupan los trenes de carga, más las empresas que explotan minerales, ya que es la forma más viable de poder transportar las grandes cargas a lo largo del país. El sistema Knorr Bremse de trenes de carga con el de pasajero se diferencia en las unidades de mando de control, ya

que el metro ocupa una unidad de control electro neumática, mientras que la locomotora ocupara para ella una unidad electrónica y los vagones ocupa una válvula llamada DB-60.

El mercado en los trenes de carga se puede pensar que es poco, pero a lo largo de Chile son bastante los que están en movimiento, sobre todo en el norte de nuestro país, que une y distribuye material tanto con Perú como con Bolivia.

Depende mucho del tipo de proyecto con el que se necesite trabajar los trenes de carga, puesto que se ha podido ver que tienen ya mucho tiempo, son equipos muy antiguos y que no tienen un mantenimiento como corresponde, en general las empresas no están dispuestas a invertir mucho dinero y uno de los grandes problemas que se encuentran son que las locomotoras frenan después de lo indicado.



Fuente: Capacitacion%20Knorr%20Brasil/Capacitacion%20trenes%20de%20carga.pdf

Figura 1-6. Sistema de freno de vagones

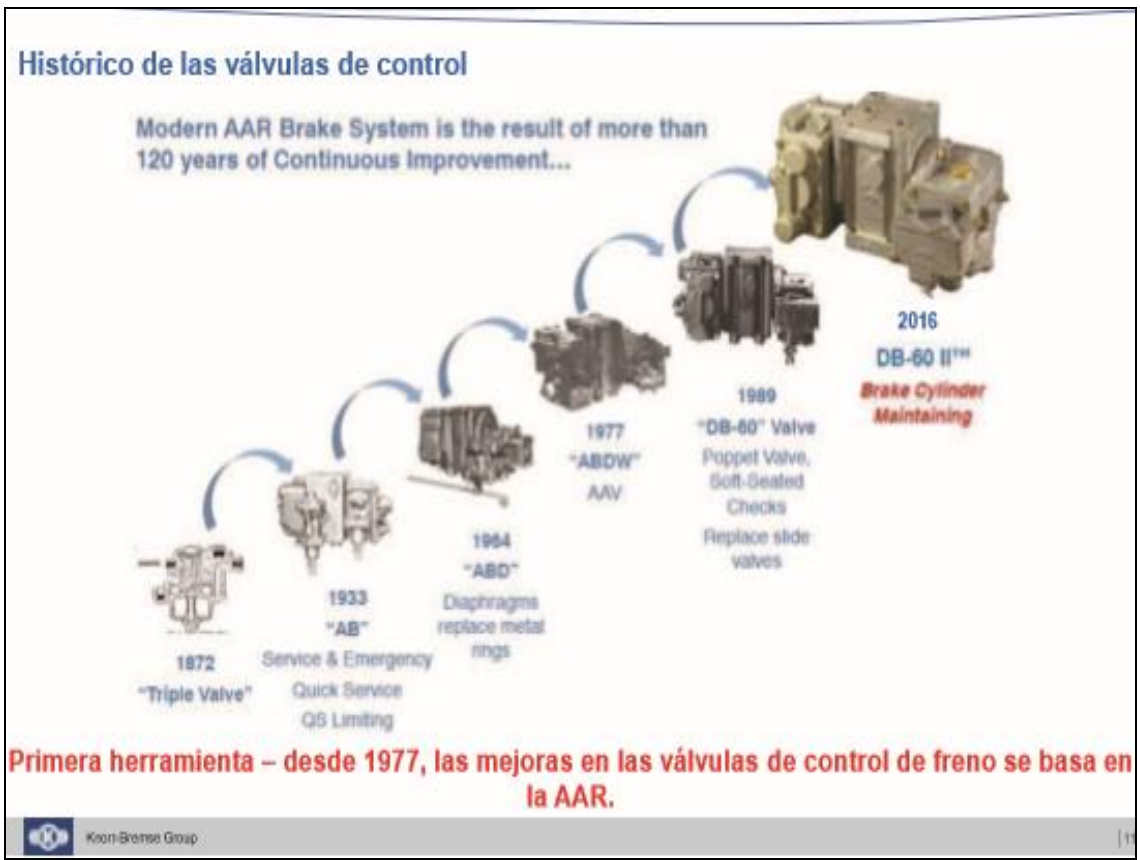
1.7. EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS Y EQUIPOS

Dependiendo cada proyecto es como se ira formando y creando el sistema Knorr Bremse en el tren, seleccionando los diferentes equipos en relación con sus

características y especificaciones técnicas, por eso se explica los diferentes componentes entre trenes de carga y de pasajeros. Así también la evolución que han tenido los diferentes equipos y sistemas, adecuándose a las necesidades y peticiones del cliente. En este caso tenemos la evolución de la válvula de control de freno desde 1872 hasta la actualidad.

Hoy en día en Chile cuenta con última tecnología tanto en la línea 3 como la línea 6, trenes de los españoles CAF que cuentan con un manejo automatizado y en que su mayor parte de los equipos son creación alemana desechable, por ende, Knorr Bremse ha tenido que adecuarse y actualizar sus equipos, puntualmente en la unidad de comando del sistema de freno y software.

Como van evolucionando los equipos es como también evoluciona el tipo, ejecución y herramientas con las que se realizan el mantenimiento, cada vez es mas complejo, especializado y técnico, ya que son equipos más complejos, pero con una fiabilidad alta.



Fuente: Capacitacion%20Knorr%20Brasil/Capacitacion%20trenes%20de%20carga.pdf

Figura 1-7. Historia de la evolución de válvulas de control

1.8. EQUIPOS ASOCIADOS

Entre los equipos asociados que se tienen en el sistema de frenado de la mayoría de los trenes de pasajero Knorr Bremse, pero que la regulación y mantenimiento queda por los españoles de CAF son:

1.8.1. Secadora de aire

El aire comprimido proveniente del compresor entra en el secado a través de (P1) y va directo a la válvula de doble pistón, que conecta entonces el aire con una de las dos torres de secado.

La válvula de doble de pistón alterna el flujo de aire entre las dos torres según un intervalo de tiempo predefinido. Después de pasar por el elemento secante, la mayor parte del aire deja el secado a través de la válvula de retención y válvula de rebose por la salida.

Una pequeña cantidad de aire seco fluye a través del orificio de regeneración para la segunda torre de secado. El aire pasa por la torre en dirección contraria al flujo normal y es utilizado para regenerar el elemento secante. El aire pasa a través de la válvula de doble pistón y deja el secador de aire por el silenciador.

El temporizador electrónico, montado en una carcasa estanca junto con la válvula magnética determina la duración de uso de cada torre de secado. Cada 2 minutos el circuito temporizador o excita o desexcita la válvula magnética presurizando o aflojando la válvula de doble pistón.



Fuente: Manual del mantenimiento línea 4

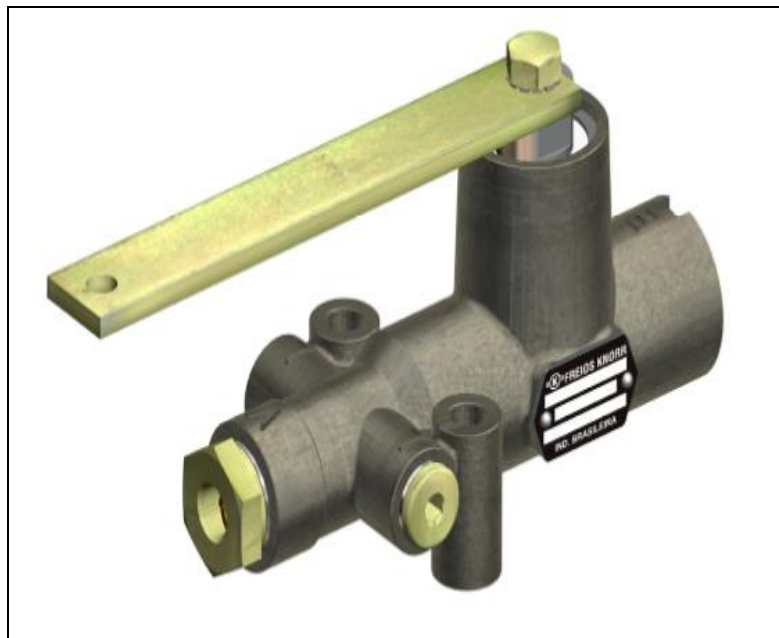
Figura 1-8. Secadora de aire

1.8.2. Válvula de nivelación (equipos de suspensión de aire)

El aire, proveniente del depósito principal, alimenta la válvula, desplazando el plato de la válvula hacia abajo, presurizando la cámara V. La palanca deberá ser conectado a un tirante regulable que transmitirá a la válvula las variaciones de la distancia entre la caja del vehículo y el bogíe. Después de nivelado el coche y presurizados las suspensiones de aire a

la presión de condición en tara, el tirante deberá ser regulado de forma de mantener el astil a 0° o 90° en relación con la carcasa de válvula, dependiendo del montaje, si es horizontal o vertical, respectivamente.

Cuando el vehículo está cargado, la caja tiende a bajar porque el aire de las suspensiones de aire está siendo comprimido por la carga que está aumentando. Cuando el vehículo está sin carga, su cuerpo se eleva porque el aire de las suspensiones de aire de es aliviado como resultado del decrecimiento de la carga.



Fuente: Fuente: Manual del mantenimiento línea 4

Figura 1-9. Válvula de nivelación

1.8.3. Válvula reductora de presión

Las válvulas de reducción de presión son usadas para permitir el diferencial de presión en sistemas neumáticos. La presión de salida puede ser ajustada a través del tornillo de ajuste.



Fuente: Manual del mantenimiento línea 4

Figura 1-10. Válvula reductora de presión

1.8.4. Válvula de sobrecarga

Las válvulas de sobrecarga son componentes neumáticos cuyo fin es garantizar una presión mínima necesaria a la operación del sistema al cual hacen la alimentación. La válvula tiene dos funciones básicas:

- Garantizar la carga del sistema neumático principal a una presión preestablecida antes del inicio de carga del sistema.
- Garantizar un margen mínimo de presión, preestablecida en el sistema secundario, después de una caída total o parcial de presión del sistema principal.

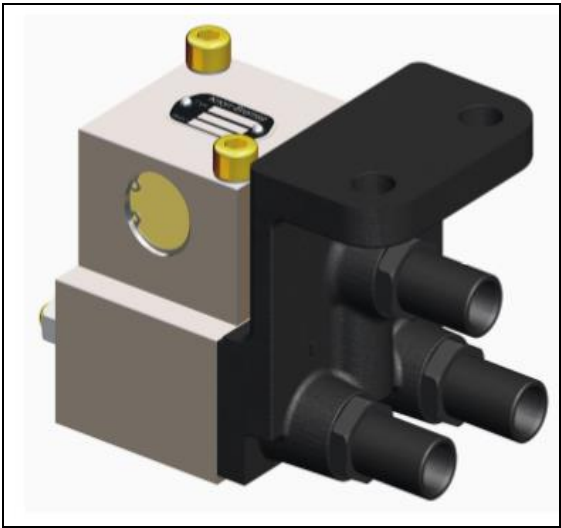


Fuente: Manual del mantenimiento línea 4

Figura 1-11. Válvula de sobrecarga

1.8.5. Válvula de presión media

La válvula de presión media, como su propio nombre lo indica, se destina a establecer una presión media, a partir de dos presiones individuales. El reglaje de la presión ocurre automáticamente. Esta presión media es utilizada como presión de comando en función de la carga, en el frenado automático de vehículos.

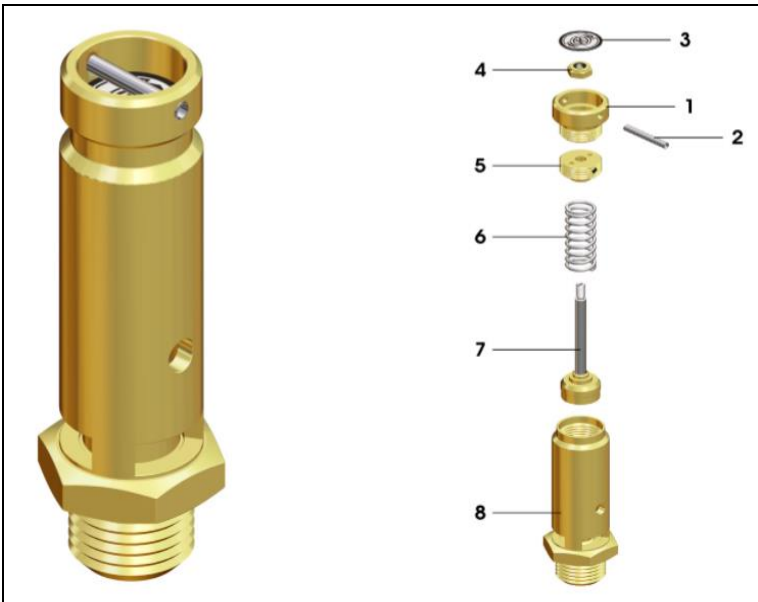


Fuente: Manual del mantenimiento línea 4

Figura 1-12. Válvula de presión media

1.8.6. Válvula de seguridad

Las válvulas de seguridad protegen los aparatos neumáticos de un equipo de aire comprimido de cualquier sobre presión inadmisible evitando así el deterioro de los equipos. Las válvulas de seguridad DN10 son válvulas de seguridad proporcionales con componentes controlados. Al sobrepasar la presión de servicio admisible, la válvula de seguridad deja escapar automáticamente tanto aire a la atmósfera hasta que la presión del equipo haya bajado nuevamente a la presión de servicio.

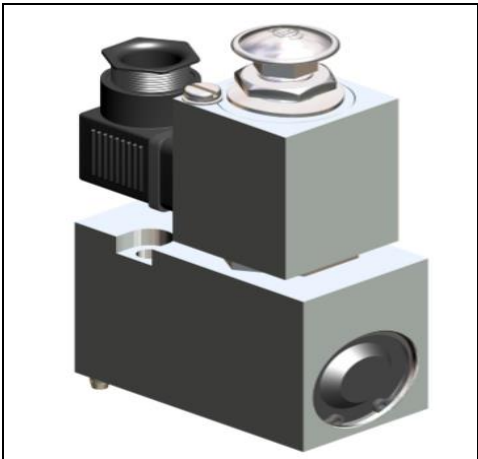


Fuente: Manual del mantenimiento línea 4

Figura 1-13. Válvula de seguridad

1.8.7. Válvula de emergencia

La electroválvula WMV1-ZEST, es responsable de la aplicación y agotamiento de la presión del freno de emergencia. Por tratarse de un aparato de seguridad, la válvula es dotada de un anillo K en la entrada de pilotaje, así si por algún problema esa tubería fuere rota, la válvula es capaz de ser pilotada con el aire que está retenido por el anillo K.



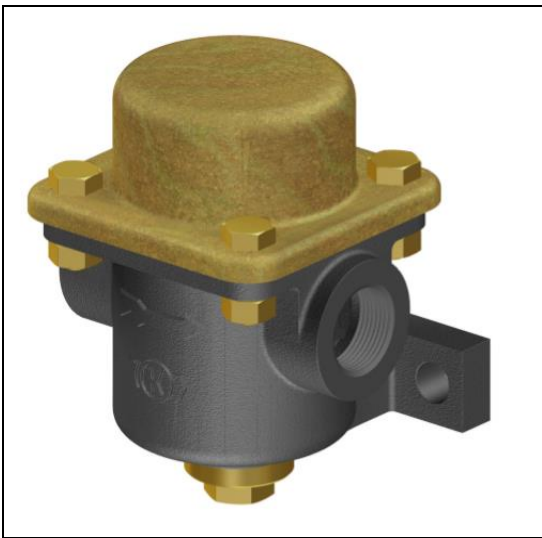
Fuente: Manual del mantenimiento línea 4

Figura 1-14. Válvula de emergencia

1.8.8. Filtros de aire

El filtro de aire es un componente indispensable en sistemas neumáticos, garantizando el funcionamiento y la durabilidad de los equipamientos instalados posteriormente a él, a través de la retención de impurezas existentes en la tubería. En su montaje, deberá ser observada la flecha indicativa de sentido del flujo.

En los filtros de tela metálica, el aire proveniente de la tubería principal llega al separador interno para retener partículas sólidas pesadas y aceite, y sólo entonces continúa hacia el elemento filtrante.



Fuente: Manual del mantenimiento línea 4

Figura 1-15. Filtro de aire

equipos que le corresponde mantenimiento. Es un proyecto que lleva ya 2 años y medio y que de a poco ha ido consolidando su metodología y estructura de trabajo, la cual hoy en día ha alcanzado una planificación y programación con muy buenos resultados.

Sin embargo como se comento anteriormente es un contrato de 4 años y ya queda 1 año y medio para el termino, es por lo mismo que se esta haciendo una necesidad tener mas clientes, ya que por falta de proyecto es muy probable que haya una reducción de personal, es así que buscar mas clientes para ofrecer el servicio se ha transformado en un desafío y obligación que hoy en día tiene la empresa, pero que no se ha ejecutado nada hasta el momento, por eso se generara un plan y estrategia con el fin básicamente de generar más trabajo y el crecimiento de la empresa.

**CAPÍTULO 2: FUNDAMENTO TEÓRICO Y METODOLOGÍA DE
GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO**

2. FUNDAMENTO TEÓRICO Y METODOLOGÍA DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

2.1. REVISIÓN INTERMEDIA

Caf el año 2010 compro 20 trenes que ingresaron en circulación a la línea 1, después, el año 2012 adquirió 14 trenes mas para suplir la necesidad en esta misma línea, ya que la demanda de la gente iba en aumento, es así como hoy en día los españoles de CAF tienen 34 trenes en total.

Se estipulo que a los 720.000 km de recorrido +/- 10% los trenes ingresan a lo que se llama revisión intermedia, es decir ingresara a taller en donde todos los equipos se desmontaran y se les realizara el mantenimiento de “RI”, esto va a depender de cada proveedor y el cliente al acuerdo que se llegue del tipo de mantenimiento, ya que, a los 1.400.000 km de recorrido corresponderá la gran revisión “GR” es decir el tren entrara a taller, se desmontaran los equipos y estos se realizara un mantenimiento general, ósea, se cambiara la gran parte de los componentes del equipo.

Globak se adjudicó la revisión intermedia de los equipos mas complejos del sistema de frenado que son los bloques de freno, unidad de control y compresor. Cada tren tiene 9 coches y en cada coche tiene:

- 6 bloques de freno de servicio.
- 2 bloques de freno de urgencia.
- 1 unidades de control.
- 1 compresor cada 3 coches.

Por tren se realiza el mantenimiento a 52 bloques de freno de servicio, 18 bloques de freno de urgencia, 9 unidades de control y 3 compresores. Por ende, se realiza el mantenimiento a 1 coche por día con una tolerancia de 1 día de retraso en el caso que llegue a ocurrir algún inconveniente con algún equipo, repuesto o disponibilidad de otro tipo de material.

2.2. SEGUIMIENTO DE LOS EQUIPOS MANTENIDOS

Como se menciona anteriormente en la RI (revisión intermedia) Globak estaba a cargo del mantenimiento de 4 equipos que eran:

- Motor compresor VV-120
- Unidad de control neumática EPBGE
- Freno de servicio II68321-44MM
- Freno de urgencia II68321-44MM

Se realizan seguimientos de estos equipos, en donde se considera la cantidad de equipos por tren, que se cumplieron los estándares de mantenimientos normalizados por Knorr-Bremse, si es que se presentaron fallas, tanto en el procedimiento de las tareas de mantenimiento o si ocurrió algún tipo de falla en la recepción, la solución que se encontró a las fallas, observaciones por parte del cliente, la descripción de la falla y también se dejó un cuadro de observación con el fin de dejar registro de cualquier tipo de anomalía en todo el proceso.

Tabla 2-1. Parámetros de desempeño

Equipo	Cantidad	Estandares Mant	Fallas	Descripcion	Solucion
Freno de servicio	83	Mantenimiento RI realizado, pruebas en el banco si.	0	*	*
Freno inmovilizador	11	Mantenimiento RI no realizado, pruebas en el banco si.	0	*	*
Unidad de control neumatica EPBGE	9	Mantenimiento RI no realizado, pruebas en el banco no.	0	*	*
Compresor VV-120	3	Mantenimiento RI realizado, pruebas en el banco si.	0	2128-2054-1978	*
Observaciones	Primer ten que fue parte de la marcha blanca y practica por parte de los tecnicos de Globak, cabe mencionar que fueron mayor cantidad de frenos de servicio y menos FI (dato que arrojo cantidad de informes ya realizados).				

Fuente: Elaboración propia en base a datos de seguimiento de RI.

Esta tabla se realiza en Excel y se vincula con los demás trenes, en el caso de el compresor en la descripción se anota el numero de serie de este, con el fin de saber el mantenimiento preventivo o correctivo que tiene para estar en conocimiento de que es lo que tiene que ser intervenido en el momento que ingrese al taller. Por otro lado, esta misma tabla se vincula con la de los 20 trenes y así generar los KPI, que en este caso son los histogramas de cada tren con la cantidad de equipos y numero de fallas.

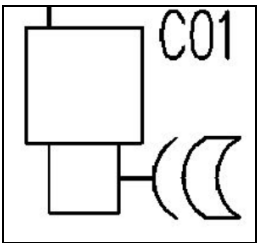
2.3. **SELECCIÓN DEL EQUIPO CRITICO**

Después de realizar y analizar el seguimiento de los equipos intervenidos y que pasaron por la “RI” se procede a seleccionar el equipo crítico, dentro de los siguientes cuatro equipos, que se mostrará según la norma Knorr-Bremse.

2.3.1. **Bloque de freno de servicio**

Se tiene por coche 6 bloques de servicio, es decir por tren 52 bloques, ya que un coche tiene solamente 4. Estos bloques de freno de servicio son los encargados de hacer que el tren cuando va a una velocidad menor a los 10 km/h empiecen a controlar el frenado por medio del maquinista. Los bloques de freno incluyen el sistema de zapatas, es decir el bloque trae incorporado en su diseño el montaje de una zapata.

El bloque de servicio trabaja por medio de la unidad de control neumática, esta tiene una electroválvula (A1) que esta normalmente abierta, que cuando se acciona da el paso de aire para que el aire llegue a estos bloques y puedan ejecutar el frenado. Los bloques tienen un sistema interno de ajuste, que hacen que, al momento de desgastar la zapata, el recorrido que ejercerá en el próximo frenado sea de menor recorrido. Este sistema se llama ajuste interno.



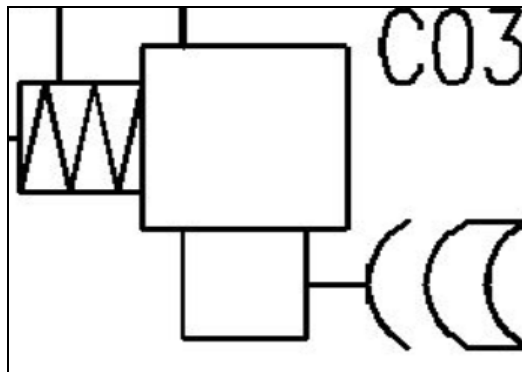
Fuente: Plano neumáticos CAF Chile

Figura 2-1. Bloque de freno de servicio, nomenclatura neumática

2.3.2. Bloque de freno de urgencia

Se tiene por coche 2 bloques de freno de urgencia, es decir por tren 18 bloques. Estos bloques de freno trabajan en caso de emergencia, los controlara el maquinista con un botón. Estos también incluyen el sistema de zapata y a diferencia de los bloques de servicio, estos traen un resorte, que tiene el nombre de muelle acumulador, este resorte acumula una fuerza de 2500 [N], es por eso que la cantidad de frenos de urgencia a frenos de servicio es menor, ya que la fuerza que estos generan supera la de los de servicio.

El bloque de freno de urgencia trabaja en dos etapas, este freno se separa en la parte de bloque de servicio y muelle acumulador, es decir, la misma válvula (A1) que activa el bloque de freno de servicio activara la parte de servicio de este, pero el muelle acumulador lo activara otra electroválvula (WMV1) que esta normalmente abierta en caso de que se llegue a necesitar aplicar. Así es como en el momento de necesitar de este freno el maquinista controla los bloques de freno de servicio y apretara el botón del muelle acumulador, generando una cantidad de fuerza estimada por coche de 18000 [N].



Fuente: Planos neumáticos CAF Chile

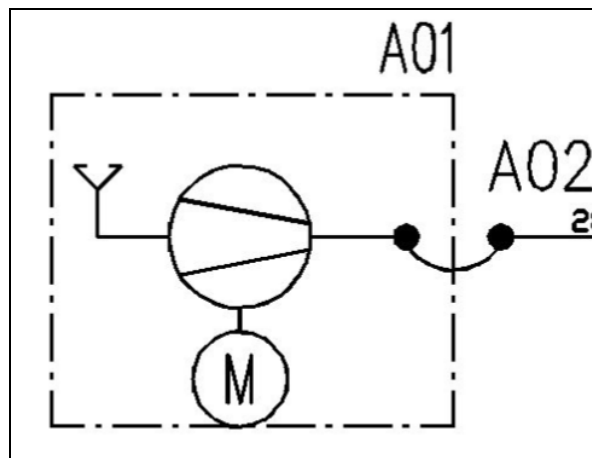
Figura 2-2. Bloque de freno de urgencia, nomenclatura neumática

2.3.3. Compresor VV-120

Por tren se tiene 3 compresores, que son los encargados de abastecer de aire el sistema neumático, el compresor esta capacitado para generar 12 bares de presión de aire, pero cada proyecto tiene una diferente necesidad, en este caso son 10,5 bares. Es un compresor de pistón, tiene dos pistones de baja presión, que generan 4 bares y un pistón de alta presión que genera 12 bares, incluye en su diseño una válvula de seguridad, que, en el caso de algún desperfecto en la compresión, esta se activa y hace despichar aire

con el fin de que no pasen esos 12 bares de presión máximo que puede generar el compresor.

Este trabaja por medio de un presostato que cuando hay cierta presión mínima en el sistema este manda la señal eléctrica y prende el compresor, que llena de aire 2 estanques de 50 litros en caso de emergencia. Como conjunto, tiene un intercooler y un aftercooler que hacen parte de él radiador y paso del aire, dos filtros de aire y uno de aceite, con un motor trifásico de 1450 RPM, su lubricación es por medio de la salpicadura, evitando algún tipo de desgaste interno, el sistema de enfriado es por medio de un acople viscoso que va conectado al eje del cigüeñal, generando el trabajo de enfriar tanto el cuerpo del compresor, pero sobre todo el del motor, ya que puede alcanzar una temperatura de 80°C.



Fuente: Plano neumáticos CAF Chile

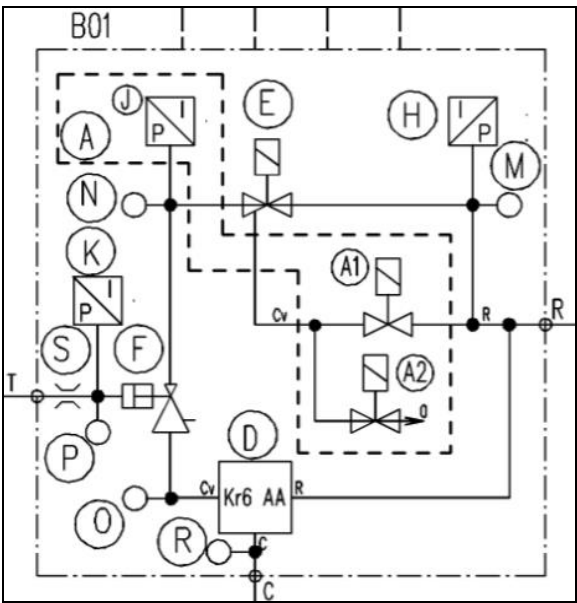
Figura 2-3. Compresor, nomenclatura neumática

2.3.4. Unidad de control neumática EPBGE

Unidades de control se encuentra 1 por coche, es decir 9 por tren, esta unidad es el cerebro del sistema de frenado del tren, ya que recibe toda la información para generar el trabajo de frenado, principalmente tiene 3 electroválvulas (A1,A2,WMV1) que son las encargadas de controlar el frenado tanto de servicio como de los bloques de urgencia, una válvula limitadora de presión, que recibe la información desde el sistema de las valonas y limita la presión respecto a que tan cargado o vacío está el coche y finalmente una válvula llamada KR6-AA que es una amplificadora de presión y que es la encargada de distribuir el aire a los bloques de freno.

Este trabaja por medio del maquinista y las necesidades que él tenga, se tiene una manilla que ira controlando las pulsaciones eléctricas de la válvula (A1) que aplican el freno de servicio, y la información que a su vez tiene desde el sistema de valonas y la limitadora de presión para finalmente pasar a la válvula amplificadora de presión. Cuando sea necesario aplicar el freno de urgencia se activa la electroválvula (WMV1) y aplica la parte de servicio del freno, ya que el muelle acumulador lo activa otra electroválvula (WMV2) que es a través de un botón de emergencia.

La unidad de control neumática es el cerebro de el sistema, ya que, recibe información desde la cañería principal, es decir los 10,5 bares, también recibe información desde el sistema de valonas y es la encargada de distribuir a los bloques de freno, por ende se requiere una excelencia en el mantenimiento que se ejecuta, como también saber que al momento en que ocurra un problema el impacto que este tiene es grande, ya que si no funciona o funciona con algún inconveniente existe la posibilidad de que no frene como corresponde.



Fuente: Plano neumáticos CAF Chile

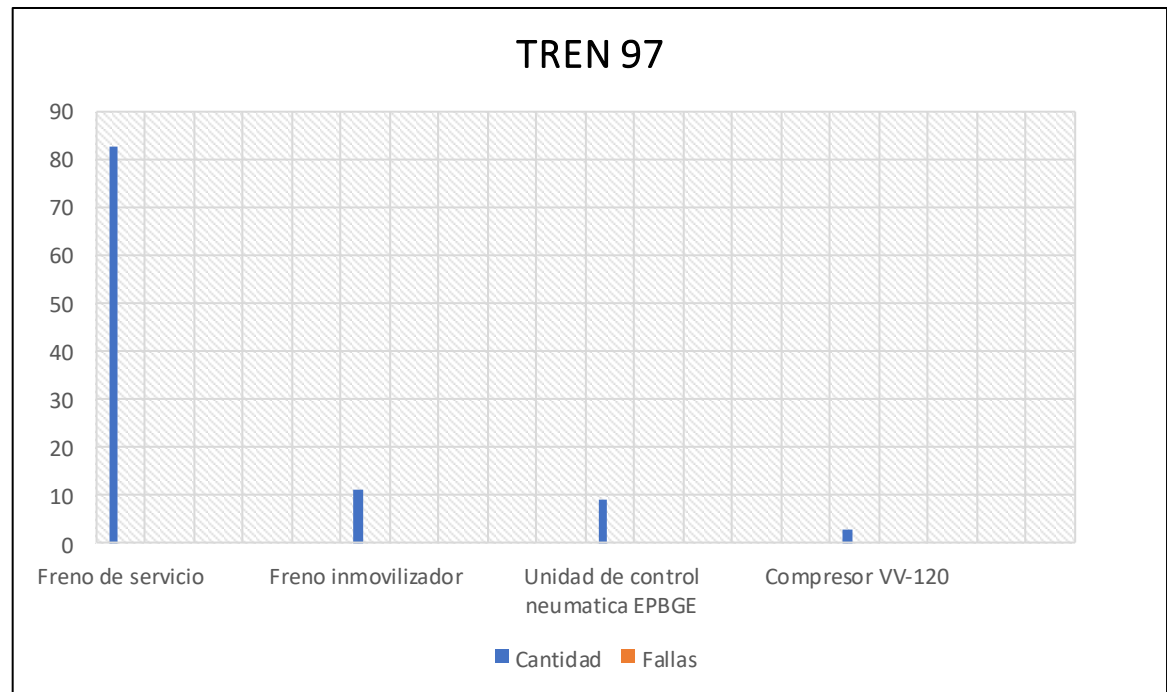
Figura 2-4. Unidad de control, nomenclatura neumática

2.4. HISTOGRAMA, GRÁFICOS Y KPI

En un total de 15 unidades de tren, que equivale al 75% del proyecto, que pasaron por la revisión intermedia se contabilizo un total de:

- 794 frenos de servicio
- 279 frenos de urgencia
- 135 unidades de control neumática
- 39 compresores

En el histograma se toma en cuenta la UT (unidad de tren), los equipos con la cantidad que son y si es que presentan alguna falla tanto en el taller como en la recepción y pruebas por parte del cliente, como se mostró anteriormente, en el caso que se presenten fallas se tendrá la descripción de estas, es así como se van vincula con las demás UT, generar un historial de fallas y proceder a interpretar los KPI, que nos entrega el equipo crítico, que será nuestro equipo “formato” para poder generar la planilla de negocio en base al servicio tanto de venta de repuestos y mantenimiento que se ofrecerá.



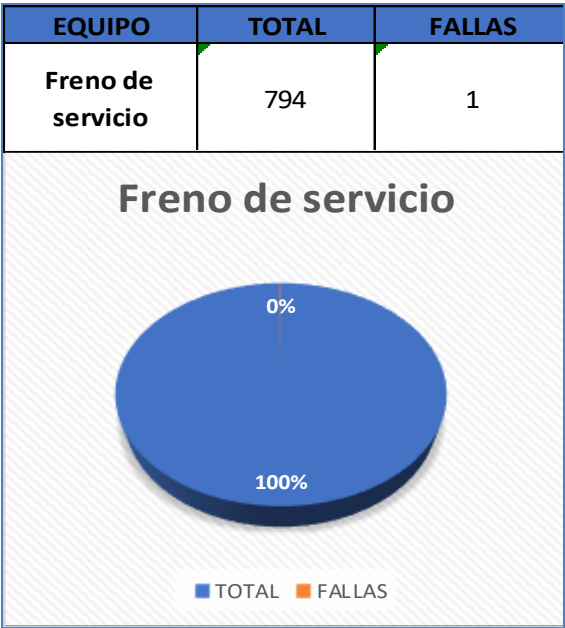
Fuente: Elaboración propia en base a datos de las matrices

Gráfico 2-1. Histograma

Se llego a la siguiente conclusión, la cual se interpreta con los gráficos pizza de cada uno de los equipos, en donde contienen el equipo, la cantidad de equipo y el número de fallas.

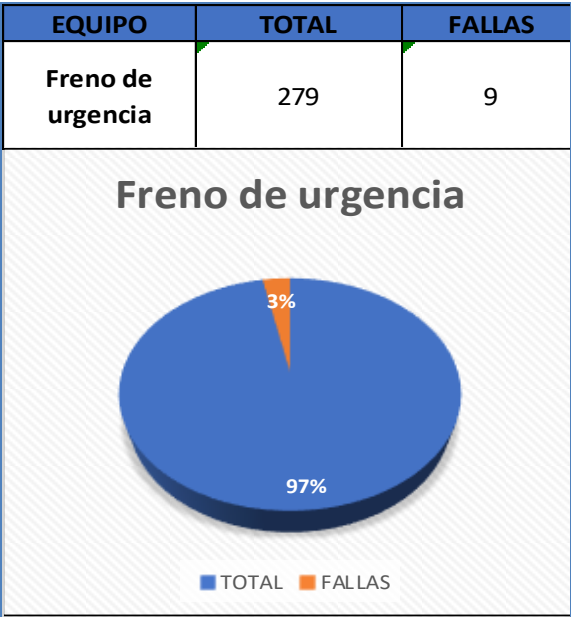
Estos gráficos se realizaron en Excel se vincularon con cada tren y sus respectivas fallas que se tuvieron, tanto preventiva o en ejecución de la revisión

intermedia, (garantía o mantenimiento correctivo), es decir que el seguimiento esta en una constante alteración, ya que pueden ocurrir que equipos que se les realizo el mantenimiento hace un año, en la actualidad pueden presentar algún tipo de falla y alterara los valores de los gráficos, por ende, los KPI.



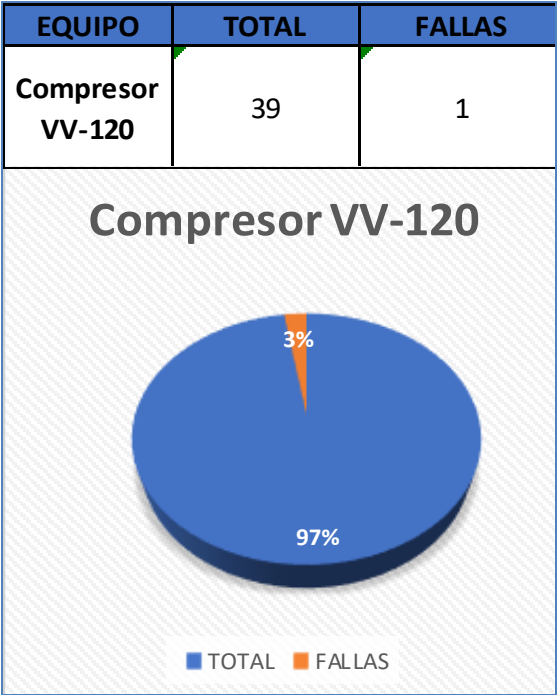
Fuente: Elaboración propia en base a seguimiento de RI

Figura 2-5. KPI freno de servicio



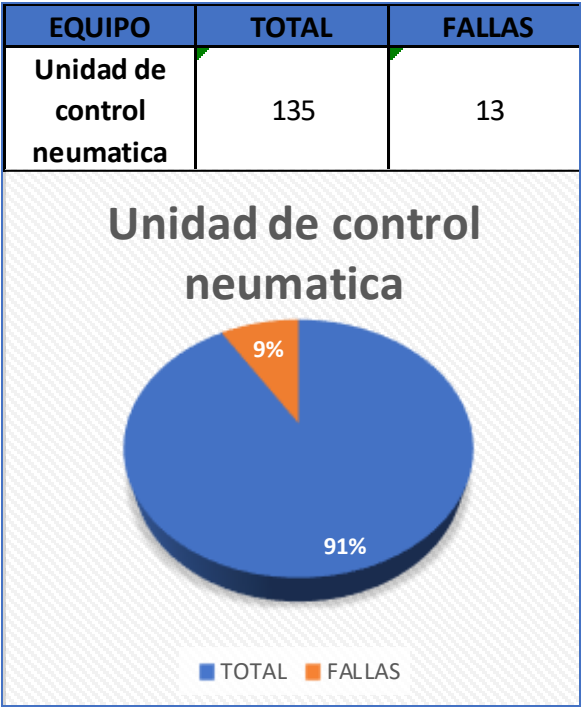
Fuente: Elaboración propia en base a seguimiento de RI

Figura 2-6. KPI freno de urgencia



Fuente: Elaboración propia en base a seguimiento de RI

Figura 2-7. KPI compresor



Fuente: Elaboración propia en base a seguimiento de RI

Figura 2-8. KPI unidad de control

Según los gráficos, se concluye que el equipo mas critico en la revisión intermedia es la unidad de control neumática EPBGE, la cual de un total de 135 equipos

mantenidos se tuvieron 13 fallas que dieron un resultado del 9% de fallas del total de equipos intervenidos.

Para poder realizar un análisis más detallado, argumentado y con pilares sustentables, tanto basado en la confiabilidad como en la criticidad que es lo que se buscara, es porque se procederá a desarrollar un FMECA del equipo más crítico

2.5. ANÁLISIS DE MODOS DE FALLAS, EFECTOS Y CRITICIDAD (FMECA)

Como sabemos, el objetivo de toda gerencia del mantenimiento es siempre el de mantener sus equipos o activos en su máxima disponibilidad y confiabilidad, con el fin de poder garantizar una continua producción. En los últimos años la planeación del mantenimiento ha cambiado y esto lo podemos ver, ya que se han ido incorporando criterios de riesgo y confiabilidad, de manera que no solo aseguramos el impacto de las acciones del mantenimiento en el rendimiento de los activos, sino que también un impacto en la seguridad al disminuir, evaluar y controlar el riesgo, administrando el riesgo. Motivo de esto se ha empleado un análisis de riesgo, aplicando la metodología de análisis de modos de falla, efectos y criticidad.

Las técnicas de análisis de riesgo son empleadas en la búsqueda y evaluación de escenarios que pueden presentar algún tipo de impacto adverso a la planta de proceso. El principio de cualquier estudio de riesgo está basado en tres preguntas, ¿Qué puede salir mal?, ¿Qué tan frecuente? Y ¿Cuáles son sus efectos? Analizando estas tres respuestas podemos entender los riesgos y así diseñar mejores acciones para prevenirlos y controlarlos.

2.5.1. Metodología

Existen diferentes versiones y metodologías, pero la mostrada a continuación será la seleccionada para elaborar el análisis en cuestión.

1. Definición de la intensidad de diseño
2. Análisis funcional
3. Identificación de modos de falla
4. Efectos y consecuencias de la falla
5. Jerarquización de los riesgos

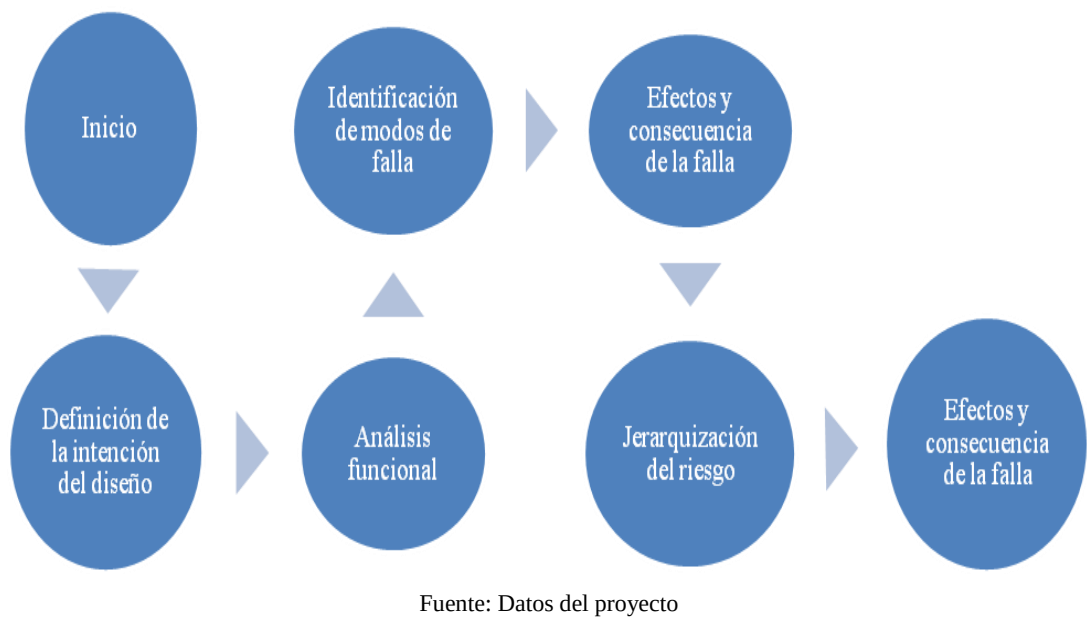


Figura 2-9. Diagrama FMECA

2.5.2. Descripción del diagrama

- Definición de la intención del diseño: Consiste en conocer y entender la forma de operar de la planta, para así poder identificar las condiciones en las cuales se trabaja, considerando el diseño y las necesidades del usuario. La definición deberá contener parámetros de operación, los equipos y elementos involucrados, ruta de proceso y parámetros de control.
- Para el análisis de modos de falla es muy importante saber la intención del diseño del activo, ya que para poder entender como falla la máquina, primero debemos entender cuál es su función y finalidad dentro de la planta.
- Análisis funcional: Ese análisis es fundamental para poder entrar en el proceso de evaluación de los modos de falla, ya que se requiere conocer e identificar cuáles son aquellas funciones que el usuario espera que su activo desempeñe. Hay que identificar la funcional principal y las secundarias también.
- Identificación de modos de falla: Un modo de falla podemos definirlo como la forma en que el activo pierde la capacidad de desempeñar su función. A cada modo de falla le corresponde una tarea de mantenimiento con el fin de mitigar lo ocurrido. FMECA al diseñar su plan de mantenimiento podrá designar las tareas adecuadas.
- Efectos y consecuencias de las fallas: Los efectos de la falla son considerados como la forma en que la falla se hace presente, es decir, como se ve atacado el sistema ante la falla del activo, estas manifestaciones pueden ser: aumento o

disminución de nivel, mayor o menor temperatura, activación de señales, alarmas o dispositivos de seguridad.

- En el caso de las consecuencias de las fallas, estas van principalmente referidas a los impactos que deriva la falla en los diferentes receptores. Se consideran las consecuencias y la seguridad de las personas, medio ambiente y producción. Existe una tabla en donde podremos ver los diferentes niveles de consecuencias y calificarlas.
- Jerarquización del riesgo: El proceso de jerarquización del riesgo de los diferentes modos de falla, se obtiene de la combinación de la frecuencia de ocurrencia por sus consecuencias, por lo tanto, podremos ver las mejores áreas en donde aplicar las acciones de recomendaciones.

2.6. ANÁLISIS Y JERARQUIZACIÓN

Basándonos en un fundamento principal de la ISO 55000 o PAS 55, esta norma menciona que guiara y dará la forma de realizar todo el procedimiento y análisis necesario, pero que el fondo y las bases será en función a como se vayan presentando las situaciones, contexto, rubro, lugar, y necesidades, así es como se podrá ir complementando información desde diferentes fuentes para crear la mejor estrategia. Es por eso, por lo que nuestro análisis e información para desarrollar nuestro trabajo será con parámetros, normas y estándares de Metro de Santiago (consecuencias), Caf (frecuencia) y Knorr Bremse (kit y mantenimiento) para mezclar y desarrollar la mejor metodología posible.

Generalmente un FMECA se basa en los modos de falla, es decir en la raíz del problema o causa de esta, con el fin de eliminar alguna probabilidad de falla, pero como el rubro que se trabajara es el transporte de personas (metro), es porque lo hace ser uno de los más crítico y con los tipos de trabajo de mantenimiento más rigurosos y cuidadosos a la hora de su ejecución, por lo mismo es que se apuntara tanto a los efectos como consecuencias de las fallas, dando énfasis en el impacto que se pueda tener, tanto económica, tiempo de retraso o algún tipo de accidente.

Así es como se crearon dos tablas, una que contiene la frecuencia con la que ocurren las fallas, donde vienen clasificada por la categoría en forma cuantitativa y cualitativa que se basaron en el tiempo que durara la revisión intermedia (2 años) , por otro lado la tabla de consecuencias en donde se explicara las categorías y protocolos que pasa el tren para poder ser entregado al cliente, en donde se jerarquizara las

consecuencias en moderado y grave, se seleccionaron estas dos, ya que en un rubro en donde está la vida de la gente en juego no hay consecuencias mínimas.

Tabla 2-2. Tabla de categoría de frecuencias

CATEGORIA	CUANTITATIVO	CUALITATIVO
Alta	>1 en 2 meses.	El evento se ha presentado o puede presentarse en el transcurso de dos años.
Media	1 en 2 meses a 1 en 6 meses.	Puede ocurrir por lo menos una vez en seis meses.
Baja	1 en 6 meses a 1 en 1 año.	Concebible, nunca ha ocurrido en el área de trabajo, pero puede que haya ocurrido en alguna situación similar.
Remota	< 1 en 2 años.	Esencialmente imposible, no es realista que ocurra.

Fuente: Elaboración propia en base a estudios de riesgo de petróleos mexicanos, (NRF-018-PEMEX-2007)

Tabla 2-3. Tabla de categoría de consecuencias

CATEGORIA	MODERADO	GRAVE
“PP”, puesta en punto y protocolos del tren en el taller.	Mal montaje y/o armado del equipo.	Equipo ya montado en el tren con algún tipo de inconveniente.
“HN”, recorrido en horario nocturno.	Presencia de algún modo de falla sin comprometer funcionamiento del equipo.	Equipo con problemas en su funcionamiento.
“HV”, horario valle, poco transporte de pasajeros.	Presencia de algún efecto de falla en el equipo, generando problemas en la funcionalidad.	Sistema se ve afectado y compromete el funcionamiento óptimo del tren.
“RP”, recepción cliente.	Presencia de alguna consecuencia de falla comprometiendo el funcionamiento óptimo del tren.	El tren se ve detenido generando diferente daños y multas.

Fuente: Elaboración propia en base a estudios de riesgo de petróleos mexicanos, (NRF-018-PEMEX-2007)

La tabla de frecuencia está normalizada por los parámetros de los españoles de CAF y que quedara a su criterio como evaluarán la cantidad de fallas por equipos y las medidas que se tomarán, independiente de eso la tabla se realizó con los tiempos y programación de esta “RI” que dura dos años. Por otro lado, la tabla de consecuencia se estandarizó con la forma de trabajar y normas del cliente de CAF, es decir, METRO DE SANTIAGO, que al tener una falla en diferente circunstancia y el impacto que esta tenga en el tiempo de retraso que puede generar en una hora punto es como se multara al proveedor.

Al tener estas dos tablas es como podremos posicionar un equipo en la “matriz de protocolo” por la falla que este presente, la consecuencia que esta tuvo y si ha ocurrido con frecuencia. Es así como se irán registrando todas las fallas y jerarquizando los equipos con el fin de saber que tan críticos son y darles la importancia que tiene que ser.

Después de tener los equipos con sus respectivas fallas posicionadas en la matriz de protocolo se procede a realizar un kit de mantenimiento adecuado, ofrecer al cliente con el respectivo análisis y la mano de obra.

Finalmente se tendrá un ranking de los equipos que tan críticos son, que fallas son las que lo hacen ser mas o menos críticos, los kits que se tendrá para cada uno con el FMECA realizado anteriormente y poder ofrecer al cliente el servicio de tanto la venta de este nuevo kit con la mano de obra que asegura la garantía de 2 año en caso de que ocurra algún tipo de inconveniente.



Fuente: Elaboración propia en base a http://web.imiq.org/attachments/345_15-26.pdf

Figura 2-10. Matriz de riesgo y daño

La finalidad de crear esta matriz con las tablas de frecuencias y consecuencias es poder leer diferentes planos neumáticos de un tren y el proyecto que este sea, identificar los equipos (mayormente son siempre los mismos que se presentaron en el capítulo 1) y poder jerarquizarlos con un análisis previo de un FMECA, las tablas y matriz mostrada anteriormente. Se multiplica la frecuencia por la consecuencia para obtener el riesgo y daño así clasificarlos y ponderarlos en una tabla. Cabe recalcar que el análisis que se realizara se basara y apuntara a los efectos y consecuencias de las fallas que se tienen, pero por sobre todo el impacto que este tenga sobre el cliente y las multas a las que puedan ser sancionados.

Cuando los equipos ya estén jerarquizados es en donde se podrá crear el plan de negocio que se basara principalmente en la venta del kit de mantenimiento y la garantía que se ofrecerá, aumentando la disponibilidad de estos, disminuyendo las fallas, por ende, los costos, generando el interés de que el mantenimiento y estándares a cumplir de los equipos será de una mejora en su total. Esto, con la idea de entregar el mejor

servicio, asegurando la vida útil de los equipos y disminuyendo las fallas que como se mostró en los KPI, gráficos y tablas tienen diferentes tipos de consecuencias. Esto se explicará en el capítulo 3.

**CAPÍTULO 3: DEFINICIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO EN BASE
A LOS RESULTADOS QUE ENTREGA EL ANÁLISIS**

3. DEFINICIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO EN BASE A LOS RESULTADOS QUE ENTREGA EL ANÁLISIS.

3.1. GENERALIDADES

A continuación, se aplicará la metodología explicada, a el equipo que resultó ser el más crítico, la unidad de control neumática, en donde se presentará el equipo con su función, se mostrará imágenes de los modos de falla y se realizará una tabla con sus efectos, consecuencias y acciones de mantenimiento, a continuación de eso se aplicará la matriz de riesgo y se jerarquizará las consecuencias para dar paso a el kit de mantenimiento que se ofrecerá al cliente.

Detalladamente el proceso será:

1. Función del equipo con fotos de sus modos de falla.
2. Tabla Fmeca con análisis funcional, falla funcional, modos de falla, efectos de falla, consecuencias de falla y acciones de mantenimiento.
3. Análisis funcional explicara la función que tiene el equipo en el sistema.
4. Falla funcional corresponde a la descripción de la función que dejo de cumplir el equipo.
5. Modos de falla son la causa de porque el equipo dejo de cumplir su función.
6. Efecto de falla es lo que ocurre inmediatamente cuando el equipo falla.
7. Consecuencia de falla es lo que ocurre a largo plazo.
8. Acciones de mantenimiento son las soluciones que se dan a las fallas funcionales que se presenta.

3.1.1. Unidad de control neumática EPBGE

La unidad de control neumática EPBGE se conformará de una electroválvula de urgencia (WMV1) que se alimentara con 72 v, dos electroválvulas llamadas A1 Y A2 que se alimentaran con 24 v, una válvula limitadora de presión y una válvula amplificadora de presión llamada KR6-AA.

La unidad de control, principalmente la electroválvula de urgencia (WMV1) y la A1 serán alimentadas en este proyecto desde la cañería principal (C) con 10,5 bares, mientras que la válvula limitadora de presión será alimentada desde el sistema de suspensión de valonas (T) con la presión que las válvulas de nivelación hayan trabajado,

ya que, esto será dependiendo del tipo de coche y si este estará vacío o con cuánta gente dentro, ósea cargado. La válvula KR6 es la encargada de recibir la presión y distribuirla a los 8 frenos que se encuentran por coche (B), es decir es la encargada de amplificar esta presión.

La función principal que tendrá la unidad de control en el sistema será comandar tanto el sistema de freno de servicio por medio de la válvula A1 y A2, como el frenado de urgencia del tren a través de la electroválvula de urgencia (WMV1), estas se controlaran desde la cabina del tren, cabe recalcar que el frenado neumático del tren será cuando este avanza a una velocidad menor a los 10 km/h.



Fuente: Material de la empresa Globak.

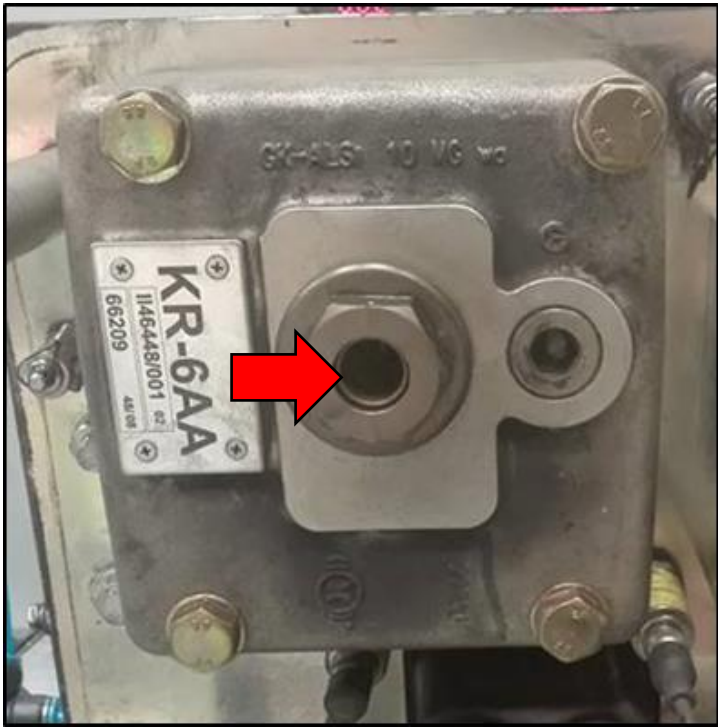
Figura 3-1. Unidad de control neumática EPBGE

3.1.2. Imágenes de los modos de falla



Fuente: Material de la empresa Globak

Figura 3-2. Electroválvula WMV1 desarmada



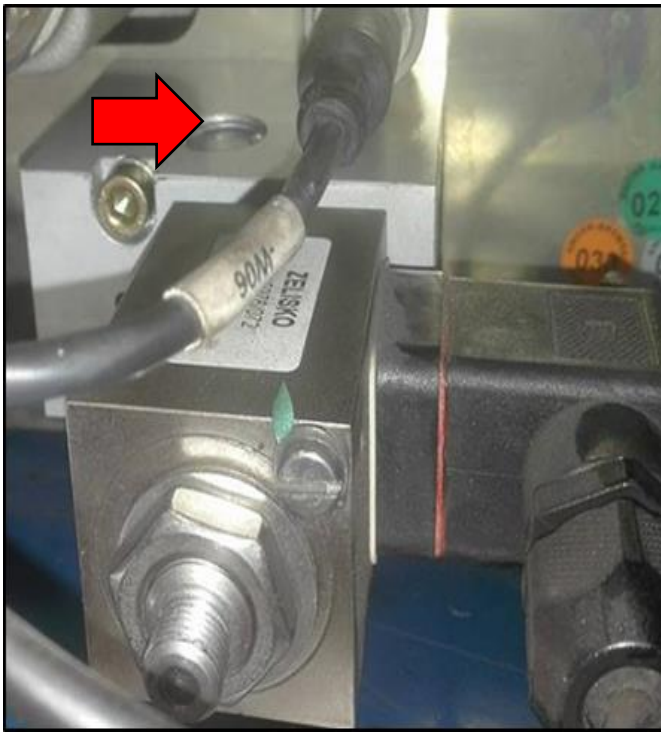
Fuente: Material de la empresa Globak

Figura 3-3. Fuga parte superior válvula KR6-AA



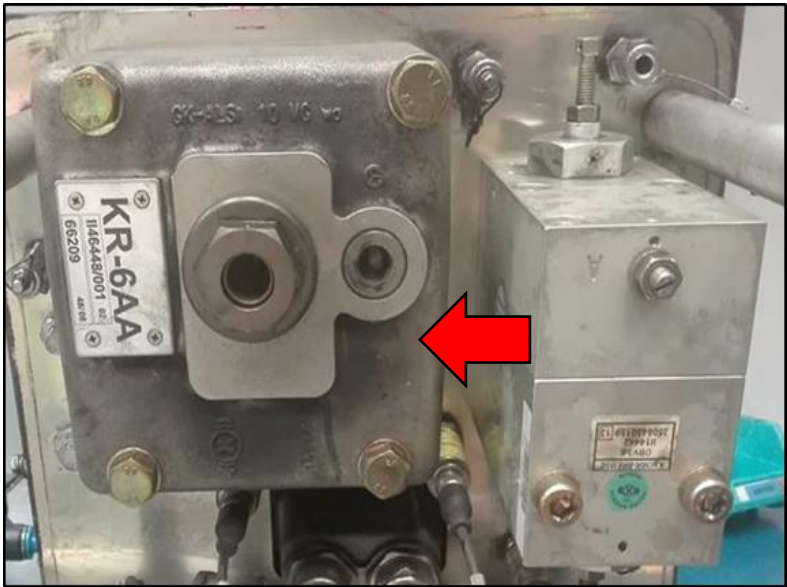
Fuente: Material de la empresa Globak

Figura 3-4. Fuga parte superior electroválvula WMV1



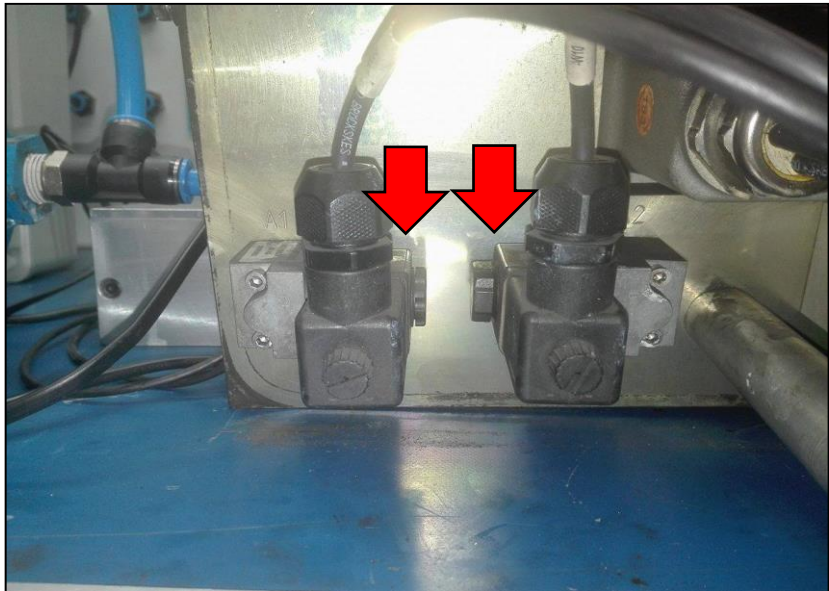
Fuente: Material de la empresa Globak

Figura 3-5. Fuga parte lateral electroválvula WMV1



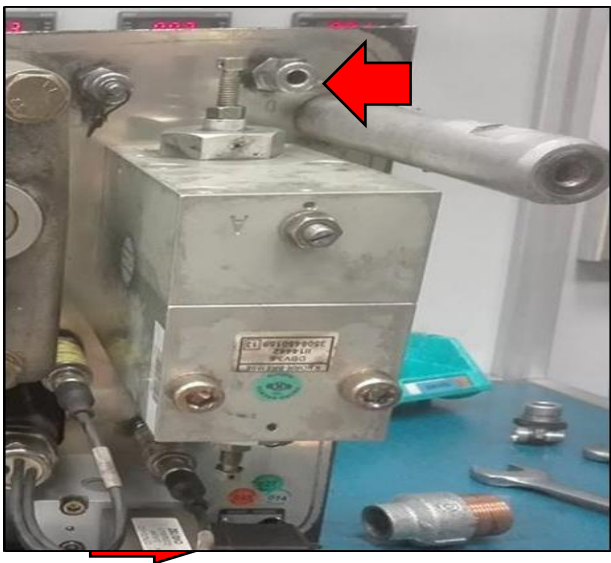
Fuente: Material de la empresa Globak

Figura 3-6. Válvula limitadora de presión no alimenta válvula KR6-AA



Fuente: Material de la empresa Globak

Figura 3-7. Válvula A1 y A2 con fuga



Fuente: Material de la empresa Globak

Figura 3-8. Válvula limitadora de presión con fuga

Estos fueron todos los modos de falla que se recopilieron a través de los 15 trenes que pasaron por revisión intermedia, en ocasiones y la mayoría de las veces para una falla funcional existen varios tipos de modos de falla, como se dio en esta ocasión, mucho de los modos de falla pueden llegar a ocasionar los mismos efectos y consecuencias de fallas.

Ahora que estarán identificados y con una pequeña descripción se procederá a realizar una tabla FMECA con el detalle, donde se buscara apuntar a los efectos y consecuencias que estás ocasionan. Después de tener todos los efectos y consecuencias se pondrán en la matriz de riesgo y daño para saber que tan critico serán y tomar las acciones correspondientes, tanto ene l mantenimiento que se ofrecerá, el kit de repuesto y la garantía.

Es importante comentar que la unidad de control neumática será el equipo mas complejo en el desarme de este como en el armado, es un equipo en el cual se trabajara con una extrema limpieza, prolijidad y cuidado, puesto que cualquier tipo de suciedad generara problemas en la estanquidad y conllevara a un defectuoso funcionamiento.

3.2. ANÁLISIS DE LOS MODOS DE FALLA.

Tabla 3-1. Tabla de método FMECA

Unidad de control neumática EPBGE					
<u>Análisis funcional</u>	<u>Figura Modo de falla</u>	<u>Modo de falla</u>	<u>Efecto de falla</u>	<u>Consecuencia de falla</u>	<u>Acción de mantenimiento</u>
Unidad de control neumática encargada de comandar el sistema de frenado de servicio y emergencia.	3-7.	Seguro segers tanto exterior como interior cedieron.	Unidad de control neumática fuera de funcionamiento.	Tren detenido y sacado de servicio. Ejes y rueda del tren con falla de material.	Inspección de cuerpo de válvula y cambiar seguros segers.
	3-8.	Uno o los dos O ‘ring “K” del tornillo mal montados o rotos.	Pequeña fuga en parte superior de la válvula KR6AA.	No llega la presión necesaria a los bloques de freno. Tren se detiene con multa para normalizar funcionamiento.	Engrasar y moldear bien los O’ ring que van montados en esta parte de la válvula, también hacer una buena ejecución en la acción de atornillar el tornillo hexagonal con el fin de evitar el roce entre las partes

Tabla 3-1. Tabla de método FMECA (Continuación)

Unidad de control neumática EPBGE					
<u>Análisis funcional</u>	<u>Figura Modo de falla</u>	<u>Modo de falla</u>	<u>Efecto de falla</u>	<u>Consecuencia de falla</u>	<u>Acción de mantenimiento</u>
	3-9.	Anclaje o núcleo del solenoide con desgaste en su asiento y cuerpo.	Al ser una válvula que trabaja excitada, se mantendrá con una fuga constante, ya que se alimenta de la cañería principal.	Si la fuga es mínima no hay consecuencia.	Incluir en el kit de reparación de la revisión intermedia o contar con ejemplares en las bodegas de Globak. Al momento de realizar mantenimiento a electroválvula de emergencia no tocar parte del núcleo y solenoide.
	3-10.	Suciedad tanto en la parte interior del cuerpo o en el embolo que se encuentra al mismo nivel de la fuga.	Una fuga muy pequeña que solo aparece cuando se acciona válvula de emergencia.	No hay consecuencia.	Ejecutar una buena limpieza en el interior de la válvula.
	3-11.	Mal armado de válvula, específicamente en donde va el impulsor que trabaja en conjunto a la regulación de esta.	Válvula KR6AA no es alimentada.	Nula alimentación en los bloques de freno. Tren se detiene con multa para normalizar funcionamiento.	En el momento en donde se debe acoplar las dos partes de la válvula limitadora de presión, verificar que el bloque en donde asienta el impulsor quede centrado con este.

Tabla 3-1. Tabla de método FMECA (Continuación)

Unidad de control neumática EPBGE					
<u>Análisis funcional</u>	<u>Figura</u> <u>Modo</u> <u>de falla</u>	<u>Modo de falla</u>	<u>Efecto de falla</u>	<u>Consecuencia de</u> <u>falla</u>	<u>Acción de</u> <u>mantenimiento</u>
	3-12.	Válvula de emergencia esta con O ‘ring roto y válvula A1 cuando el asiento del núcleo del solenoide perdió su propiedad.	Válvula KR6AA no es alimentada y limitadora de presión no hace su trabajo normal.	Nula alimentación a los bloques de freno. Tren se detiene con multa para normalizar funcionamiento.	Al momento de montar O’ ring “K”, lubricar con una película de grasa y asegurarse de que quedo en su posición, dando juego a este con el fin de saber que no está haciendo fricción entre las partes. Al momento de realizar mantenimiento a electroválvula A1 no tocar parte del núcleo y solenoide.
	3-13.	O ‘ring “K” que va en embolo que asienta en resorte está mal montado o roto.	Pequeña fuga en tornillo de válvula limitadora de presión.	No hay consecuencia.	Al momento de montar O’ ring “k”, lubricar con una película de grasa y asegurarse de que quedo en su posición, dando juego a este con el fin de saber que no está haciendo fricción entre las partes.

Fuente: Elaboración propia en base a <http://web.imiq.org/>

3.3. MATRIZ DE RIESGO Y DAÑO APLICADA

En este caso particular en la tabla se pondrá como figuras las fallas funcionales, que se describen posteriormente con sus modos de falla (causa y raíz de la falla), efectos (que son los que ocurre inmediatamente), consecuencias (la conclusión del efecto de la falla) y las acciones de mantenimiento que se tomaran con el fin de prevenir en un futuro que vuelva a ocurrir lo mismo, así es como en esta matriz se vincularan los números de las imágenes de las fallas funcionales representando las consecuencias que se ocasionaron para luego estas poder jerarquizarlas en la matriz de riesgo y daño.

Estas consecuencias se introducirán en la matriz, pero antes se deberá representar cada consecuencia tanto en las tablas de consecuencias y frecuencias que se mostraron en el capítulo 2, luego de eso se posicionará y tendrá una ponderación dentro de la matriz, la imagen de la falla funcional con su respectiva consecuencia.

MATRIZ DE RIESGO Y DAÑO		CONSECUENCIA	
		MODERADO	GRAVE
FRECUENCIA	REMOTA	3-9. 3-10.	3-8. 3-11.
	BAJA	3-13.	3-12.
	MEDIA		
	ALTA		3-7.
		DAÑOS MINIMOS	
		DAÑOS MODERADOS	
		DAÑOS GRAVES	
		DAÑOS SEVEROS	

Fuente: Elaboración propia en base a <http://web.imiq.org/>

Figura 3-9. Matriz de riesgo y daño aplicada

Después de que las consecuencias se representaron en las tablas de consecuencia y frecuencia, aplicara en la matriz de riesgo y daños, a continuación, se procederá a jerarquizar y así finalmente generar la planilla de kit de mantenimiento dando una ponderación al nivel de criticidad del equipo.

Se verificará que la consecuencia con mas daños severos es la 1-1. (imagen de falla funcional), mientras que las demás fallas funcionales y sus consecuencias se distribuyen en daños graves, moderados y mínimos. En esta oportunidad se generará el servicio y estudio final con la falla funcional que más daño e impacto género, con el fin de ofrecer el servicio y mostrar la forma de trabajo respecto al estudio realizado. Sin embargo, es importante tener la puntuación de cada una de las fallas funcionales y su nivel de daño, ya que, al momento de explicar el porque del kit que se ofrecerá es importante demostrar y sustentar el estudio realizado con datos duros, que se mostraran en la siguiente tabla.

3.4. JERARQUIZACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS DE LAS FALLA

Tabla 3-2. Tabla de método FMECA

Consecuencia de fallas	F	Consecuencias				Riesgo = F*CM _{ax}
		PP	HN	HV	RP	
Tren detenido y sacado de servicio	Alta.	Moderado.	Moderado.	Moderado.	Grave	8
No llega la presión necesaria a los bloques de freno.	Remota	Moderado	Grave.	Menor.	Moderado	4
Si la fuga es mínima no hay consecuencia	Remota	Moderado.	Moderado	Moderado.	Moderado	1
No hay consecuencia	Remota	Moderado.	Moderado.	Moderado.	Moderado	1

Tabla 3-2. Tabla de método FMECA (Continuación)

Consecuencia de fallas	F	Consecuencias				Riesgo = F*CM _{ax}
		PP	HN	HV	RP	
No hay consecuencia	Remota	Moderado.	Moderado.	Moderado.	Moderado	1
Nula alimentación en los bloques de freno.	Remota	Moderado.	Moderado.	Moderado.	Moderado	1
Nula alimentación en los bloques de freno.	Baja	Grave.	Moderado.	Moderado.	Moderado	4
No hay consecuencia.	Baja.	Grave.	Moderado.	Moderado.	Moderado	4

Fuente: <http://web.imiq.org/>

Luego de multiplicar la frecuencia más alta que se obtiene de la tabla 2-2 con la consecuencia máxima que se obtiene de la tabla 2-3, pero con la diferencia de que todas las fallas quedaran ponderadas por su nivel de consecuencia, se toma la consecuencia máxima para obtener el equipo con el nivel de riesgo más alto.

Las demás fallas se ponderan en su nivel de riesgo para estudiar y analizar el kit de mantenimiento, la garantía que el equipo tendrá, todo esto en relación con los costos que corresponde a cada falla para el cliente.

3.5. VALORES VINCULADOS A LAS FALLAS

Después de tener las consecuencias del equipo con su ponderación correspondiente se llevar estos datos a una tabla de valores para comparar cuanto es el valor del costo de la falla para el cliente, con las multas que económicas que les pueden pasar, con el fin de tener tanto el equipo con más riesgo al presentar una falla funcional, pero también cuanto es el valor que se puede asociar un tipo de falla así.

Los costos del valor de falla estarán sometido a un constante cambio, esto es porque uno de los factores que puede influir en la consecuencia e impacto que ha dejado la falla es el tiempo que el tren este detenido, ya que esto dependerá solamente del actuar del cliente y sus técnicos, también estar al tanto si tienen los insumos y repuestos necesarios para reponer el equipo que fue dañado.

Tabla 3-3. Tabla de valores de falla

Unidad de control neumática EPBGE			
<u>Figura falla funcional</u>	<u>Falla funcional</u>	<u>Consecuencia</u>	<u>Valor falla (USD)</u>
3-7.	Seguro segers tanto exterior como interior cedieron.	Tren detenido y sacado de servicio, ejes y ruedas del tren con falla de material.	4.000
3-8.	Uno o los dos O ‘ring “K” del tornillo mal montados o rotos.	No llega la presión necesaria a los bloques de freno. Tren se detiene con multa para normalizar funcionamiento.	1.500
3-9.	Anclaje o núcleo del solenoide con desgaste en su asiento y cuerpo.	Si la fuga es mínima no hay consecuencia.	0
3-10.	Suciedad tanto en la parte interior del cuerpo o en el embolo que se encuentra al mismo nivel de la fuga.	No hay consecuencia.	0
3-11.	Mal armado de válvula, específicamente en donde va el impulsor que trabaja en conjunto a la regulación de esta.	Nula alimentación en los bloques de freno. Tren se detiene con multa para normalizar funcionamiento	1.700
3-12.	Válvula de emergencia esta con O ‘ring roto y válvula A1 cuando el asiento del núcleo del solenoide perdió su propiedad	Nula alimentación a los bloques de freno. Tren se detiene con multa para normalizar funcionamiento	1.700
3-13.	O ‘ring “K” que va en embolo que asienta en resorte está mal montado o roto.	No hay consecuencia.	0

Fuente: Elaboración propia en base a <http://web.imiq.org/>

3.6. **RESULTADO FINAL**

Ya con el plan de mantenimiento seleccionado y ejecutado en la unidad de control neumática se asociaron y obtuvieron los costos que estas fallas pueden tener para el cliente, hay consecuencias que en costo no tendrán valor para el cliente, pero sin embargo hay otras que sí. Es por eso por lo que, al tener una planificación de mantenimiento programada y planificada, siguiendo todos los estándares ya establecidos se lograra generar una clara solución al cliente con el fin de disminuir los costos y para Globak poder aumentar el valor y calidad del servicio entregado.

A continuación, con toda la metodología y datos analizados se podrá evaluar el plan de mantenimiento seleccionado y los datos duros que entrega el análisis de valor de las fallas, generando entre estas dos que tan viable puede ser el servicio se armar un kit y los demás servicios de garantía.

CAPÍTULO 4: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA

4. EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA

4.1. EVALUACIÓN TÉCNICA

Dentro de la estrategia en el plan de negocio para el mantenimiento ferroviario esta la garantía técnica que ofrecerá Globak, esta consta de lo siguiente:

- Después de que al equipo se le haya realizado el mantenimiento solicitado por el cliente, este tendrá una garantía de 18 meses, es decir que, si dentro de ese tiempo este llegase a tener cualquier tipo de problema, el personal de Globak será el encargado de reparar, tanto como la realización de un nuevo mantenimiento o el de alguna parte del equipo que haya dejado de cumplir su función. Después de esos 18 meses el equipo perderá su garantía y el mantenimiento y funcionamiento quedará en manos de los españoles de Caf.
- Al momento de la ejecución de las tareas de mantenimiento que cada equipo se someterá, estos pasaran por pruebas en bancos de prueba, con el fin de asegurar el óptimo funcionamiento de estos en base a los estándares que tiene Knorr-Bremse. Si uno de los equipos no cumple dichos estándares no podrá ser enviado para que se monte en el tren, puesto que a garantía que brindan estos bancos de pruebas son de una total fiabilidad.

Estos bancos de prueba se crearon en Knorr-Bremse Brasil por el personal del área neumática y eléctrica, hoy en día en el taller de Globak se cuentan con 4 de ellos.

4.1.1. Banco de prueba de bloque de freno

El banco de prueba del bloque de freno tendrá la función de asegurar el correcto funcionamiento tanto de los bloques de freno de servicio como el de urgencia, esto será a través de diferentes parámetros y estándares que se medirán y verificarán, para que después de pasar todas las pruebas se pueda enviar al cliente certificado. Los parámetros que se medirán son los siguientes:

1. Ajuste interno: Al aplicar aire (0,8 bar) tanto al freno de servicio como de urgencia este en su interior tendrá un ajuste en el cerebro del freno, que es llamado “núcleo”, este al aplicar y aflojar el aire se ira avanzando hasta topar con parte del banco que simula ser la rueda de el tren.

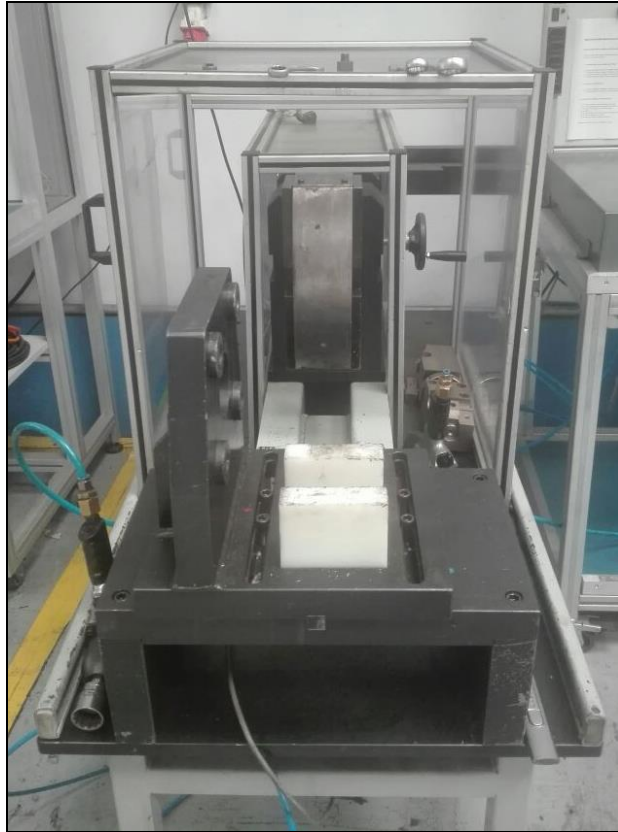
2. Hermeticidad: Al aplicar aire (0,8 bar) se procederá a pasar agua con jabón en partes puntuales del bloque de freno con el fin de saber si existe alguna fuga.
3. Tiempo de aplicación: En el momento de simular un frenado se verificará si la zapata se mueve con la velocidad que está en los parámetros, si esta se demora más de lo establecido no cumple la norma.
4. Fuerza: Para el bloque de servicio se aplicarán 4,5 bares, el cual tiene que ejercer una fuerza mínima de 18500 [N] y máxima de 20200 [N], esta fuerza es medida a través de una cedula de carga que está incorporada en el banco. Para el freno de urgencia (muelle acumulador) se cargará con 9 bares y en el momento del afloje esta tendrá que ejercer una fuerza de mínimo 19000 [N] y máxima 25000 [N].

El banco de prueba del bloque de freno y de urgencia dará la posibilidad encontrar alguna anomalía en el funcionamiento, armado o problema de fabrica en alguno de los equipos, ya que el banco de prueba simula exactamente lo que sucederá en el tren al momento de la aplicación del frenado, es por eso por lo que la garantía que ofrece este banco certifica el óptimo funcionamiento para el cliente



Fuente: Elaboración propia en base Material de la empresa Globak

Figura 4-1. Banco de prueba bloque de freno



Fuente: Elaboración propia en base Material de la empresa Globak

Figura 4-2. Banco de prueba bloque de freno

4.1.2. Banco de prueba de compresor

El banco de prueba del compresor en el momento de empezar a funcionar será capaz de comprobar si existe algún problema tanto en el motor como en el compresor, ya que este equipo se divide en estas dos partes que por medio de un acople que junta el eje del motor con el del cigüeñal generan el equipo en su totalidad. Al igual que el banco de prueba del bloque de freno se medirán y verificarán distintos estándares y asegurar su correcto funcionamiento. Los parámetros que se medirán en el banco de prueba son los siguientes:

1. RPM motor: Mediante un sensor de RPM se medirán las revoluciones a las que gira el motor, que en este caso por el fabricante (ABB) son de 1450, se verificará que el funcionamiento del motor es el óptimo, tanto en el giro de este como en el ruido en la partida.
2. Presión de baja: Por medio de un traductor de presión se verificará que las válvulas de baja presión no sobrepasen los 4 bares de compresión permitido.

3. Presión de alta: Por medio de un traductor de presión se verificará que la válvula de alta presión no sobrepase los 10,5 bares que son con los que trabaja el tren.
4. Temperatura intercooler: Se montará un transductor de temperatura en la parte baja del radiador que se asocia al intercooler para verificar la temperatura que está pasando el aire.
5. Temperatura aftercooler: Se montará un transductor de temperatura en los estanques con el fin de saber cuál es la temperatura que está llegando el aire luego de haber sido comprimido a 10, 5 bares.

En el banco de prueba se montará el compresor durante 45 minutos con para verificar el comportamiento de los diferentes parámetros a medir, simular el mismo, pero más tiempo que ejercerá sobre el tren y también se tomará nota de todos los puntos nombrados anteriormente. El banco de prueba del compresor tiene una válvula de despiche que cuando la presión de trabajo del compresor llega a los 10, 3 bares se abren para bajar la presión y nuevamente volver a cargar, así sucesivamente hasta que se termina la prueba.

El compresor se montará en un bastidor que simula la posición en que este va montado en el tren, este bastidor hará que el compresor quede colgado mediante un sistema de ajuste que este trae con unos resortes que harán que las vibraciones disminuyan. También se incluirán 3 estanques de 50 litros cada uno, ya que será necesario ver la capacidad de llenado que tendrá el compresor y simular el trabajo que se realiza en el tren. El banco de prueba cuenta con una válvula de vacío, esto quiere decir que en el momento en que la prueba termine y haya quedado con cierta cantidad de aire dentro, este se podrá vaciar, como también un botón de parada de emergencia, que en el caso en que un compresor venga con algún tipo de falla en su motor o cigüeñal, antes de que empiece a comprimir será necesario detener la prueba. Otra de las características que tiene el banco de prueba es la selección de los polos de motor, puesto que tiene de 4 y 6, ya que este mismo compresor está en otras líneas de Santiago, pero al ser diferentes proyectos trabajan con parámetros distintos.



Fuente: Elaboración propia en base a Material de la empresa Globak

Figura 4-3. Banco de prueba compresor vv-120



Fuente: Elaboración propia en base a Material de la empresa Globak

Figura 4-4. Banco de prueba compresor vv-120

4.1.3. Banco de prueba unidad de control neumática

El banco de prueba de la unidad de control simulara el mismo funcionamiento que tiene en el tren, es decir, tendrá 3 tomas de aire (2 entradas y 1 salida), la primera será de la cañería principal (C) que abastecerá con 10, 5 bares las electroválvulas (A1 Y WMV1), también desde la cañería (T) que corresponderá al sistema de valones y que la presión vendrá dada según el tipo de coche y si está cargado o vacío, varía desde los 2,5 bares a los 4,7 bares que la válvula limitadora de presión controlara y finalmente una salida (B) que por medio de la válvula KR6-AA abastecerá los bloques de freno de aire que en este caso será un estanque de 15 litros. También se conectará la parte eléctrica que hará funcionar las electroválvulas para aplicar o aflojar los bloques de freno, la presión será leída por medio de transductores que harán el trabajo de transformar la señal neumática a eléctrica y verificar si las presiones de trabajo con las que corresponde.

Después de tener conectada la parte eléctrica de la unidad de control y regular sus presiones es que por medio del comando se podrá simular tanto el frenado por parte de los bloques de servicio, como el frenado de los bloques de urgencia, también se podrá ver mediante la lectura que arrojaran los transductores si es que la presión proveniente desde las valones está bien regulada. Los parámetros que se medirán en el banco de prueba son los siguientes:

1. Verificación de estanquidad: Corresponde a que si alguna de las válvulas que son cargadas inmediatamente con aire tienen alguna fuga, esto se verificara por medio de agua con jabón.
2. Verificación de los transductores de presión: Son tres transductores que como se comentó anteriormente uno será de la cañería principal (C), de la presión que entra a la válvula limitadora de presión (T) y de la presión que se distribuirá a los bloques de freno (B), verificar si es que estas presiones están dentro de la norma establecida, ya que si no lo están se tendrá que regular o se revisara si alguna válvula se armó defectuosamente.
3. Tiempo de aplicación y afloje del freno: En este caso se verificará el tiempo de aplicación del freno de emergencia, que tiene que ser menor a 4 segundos y el tiempo de afloje del freno de urgencia, que tiene que ser menor a 6 segundos.
4. Coche cargado: Regular por norma cual es la presión de coche cargado y se simulara un freno de urgencia para verificar si la presión que sale de la válvula limitadora de presión cumple la norma, si no es así se tendrá que regular manualmente esta.

- 5. Coche en vacío: Regular por norma cual es la presión de coche en vacío y se simulara un freno de urgencia para verificar si la presión que sale de la válvula limitadora de presión cumple la norma, si no es así se tendrá que regular manualmente esta.

Principalmente una de las grandes garantías que dará este banco de prueba es que al ser una simulación manual, aplicando y aflojando el sistema de freno es que se podrá verificar si hay algún problema en el funcionamiento de esta unidad, tanto en la parte eléctrica de transductores, como en el armado de las mismas válvulas, ya que el mínimo detalle se reflejara por medio de una fuga, de uno no aplicación de un freno, de un nulo funcionamiento de una válvula y de una lectura errónea de un transductor.



Fuente: Elaboración propia en base Material de la empresa Globak

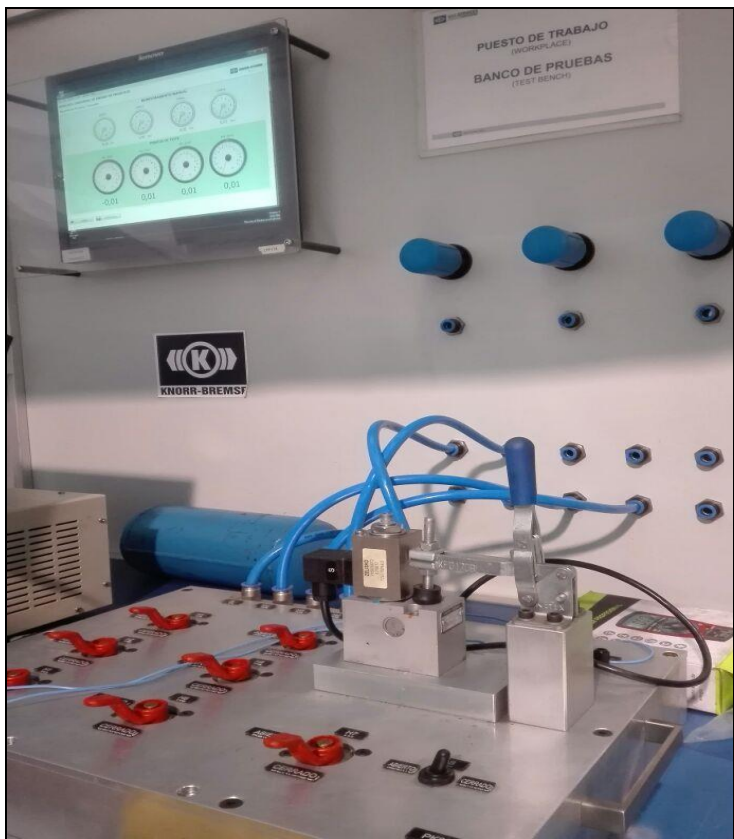
Figura 4-5. Banco de prueba unidad de control neumática EPBGE

4.1.4. Banco de prueba universal

El banco de prueba universal es solamente para probar todas las válvulas que tiene el tren, como también las que tiene la unidad de control neumática, se podrá verificar el funcionamiento que tendrá, pero de una manera aislada, como trabajara por

si sola. Cada válvula tendrá un atril en donde se podrá montar, este traerá todas las conexiones necesarias para poder realizar la prueba, también incluirá las válvulas que permitirán regular las presiones de cada válvula y las conexiones eléctricas con sus respectivos transductores. Pero este banco de prueba tendrá incluido en su sistema computacional un método que se podrá leer la presión que se está regulando, la presión que está aplicando la válvula y los tiempos que se demorará en trabajar. Cabe mencionar que cada válvula tiene una prueba distinta y que están estandarizadas y normalizadas, de esta forma el banco de prueba universal se podrá verificar los siguientes parámetros:

1. Verificación de estanquidad: Corresponde a que si alguna de las válvulas que son cargadas inmediatamente con aire tienen alguna fuga, esto se verificara por medio de agua con jabón.
2. Verificación de los transductores: Mediante la pantalla de la computadora se podrá verificar si la presión que está aplicando la válvula o aflojando corresponderá a la normalizada, como también el tiempo en que esta se demorará en trabajar.
3. Regulación de válvulas: En caso de que una lectura de presión sea errónea se podrá regular la válvula para poder volver a probar y quedar según norma.



Fuente: Elaboración propia en base a Material de la empresa Globak

Figura 4-6. Banco de prueba universal

4.2. **RESULTADO TECNICO**

Los resultados técnicos de todo lo anteriormente desarrollado se vera y manifestara cuando los equipos pasen por las pruebas en los distintos bancos de prueba, generando un control de calidad para todo el proceso de mantenimiento que se desarrolló, económicamente el costo del procedimiento en los bancos de prueba será el 30% del kit que se formulara. Los bancos de prueba entregaran resultado directos y concisos sobre la ejecución de las tareas de mantenimiento con el fin de que, al momento de salir del taller, estos estén certificados que no habrá ningún tipo de falla. En caso de que los bancos de prueba arrojen algún problema, se buscara en análisis del FMECA cuales son las posibles causas y solución a estas fallas, así se podrá ganar tiempo sin tener que estar buscando la raíz del problema y como también tiene la acción de mantenimiento que se tiene que tomar otorgara una solución mas que confiable.

El proceso de que cada equipo después de ser mantenido pase por los bancos de prueba tiene un costo adicional que se cobrara e incluirá en el servicio al cliente, como también el de la mano de obra que corresponde al 25% del valor del kit formulado. De esta manera es como a continuación se evaluará económicamente el análisis y verificar si el costo de todo es viable o no, incluyendo el precio del kit, la mano de obra, los procedimientos en los bancos de prueba y otras variables que se mencionaran.

4.3. **EVALUACIÓN ECONÓMICA**

Los parámetros y números que se analizaran para realizar una evaluación económica y verificar si la estrategia y servicio que se ofrecerá al cliente está conforme a sus necesidades e inversión son:

- Valor del kit de mantenimiento
- Valor por procedimiento en bancos de prueba
- Valor por mano de obra
- Valor total

Estos valores vienen en USD, ya que Knorr Bremse Brasil es el que proporciona los valores estándares de trabajo a Globak.

Tabla 4-1. Tabla de costos al cliente

EQUIPO	VALOR KIT (USD)	BANCOS DE PRUEBA (USD) 30%	MANO DE OBRA (USD) 30%	TOTAL (USD) neto
SP2893CAF/KIT(I94900-1072) ELECTROVALVULA WMV1- ZEST	350	105	105	560
SP2889CAF/KIT(II63851/07) NIVELACION	70,8	21,2	21,225	113,2
SP2890CAF/KIT(I11841) FILTRO DE 3/4"	60	18	18	96
SP2892CAF/KIT(I43364) VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN	101	30,3	30,3	161,6
SP2887CAF/KIT(I22950) VÁLVULA DE PRESIÓN MEDIA MDV1	76	22,8	22,8	121,6
SP2902CAF/KIT(I87625/1072) ELECTROVALVULA WMV- 1/2ZES	247	74,1	74,1	395,2
SP2891CAF/KIT(I80301) VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN	87	26,1	26,1	139,2
SP2904CAF/KIT(II116910-16072) TORRE DE SECADO	480	144	144	768

Fuente: Elaboración propia en base a costos de Knorr Bremse y Globak

En la tabla 4-1 se describe e equipo, el código de este, el valor de su kit de reparación (recaltar el precio de la válvula de urgencia que es el mas alto debido a la importancia que esta tiene), el costo que tendrá que cada equipo pase por el procedimiento en los bancos de prueba certificando su correcto mantenimiento y funcionamiento, el costo que se incluye de mano de obra, puesto que para un trabajo tan puntual y especifico se necesita de una experiencia, capacitación y conocimiento que hoy en día tiene un precio y finalmente el valor total en dólares que será el precio referencia que se ofrecerá al cliente por el servicio total, sumando la garantía de 2 años que tendrá cada equipo. Esta garantía constara que en el plazo de 2 años después de ser mantenido el equipo, Globak responderá por cualquier tipo de falla que se presente y dará una solución lo más rápido posible, incluyendo inclusive el costo del repuesto a ocupar.

Por otro lado, para Globak estos serán los parámetros que se tendrán que evaluar y analizar para verificar si la estrategia para el negocio tiene ganancia y cuanto puede ser esta, tanto en números como en calidad del servicio que se entregara:

- Fabricación del kit de mantenimiento
- Hora hombre
- Transporte
- Valor total

Estos valores vienen en USD, ya que Knorr Bremse Brasil es el que proporciona los valores estándares de trabajo a Globak.

Tabla 4-2. Tabla de costos a Globak

EQUIPO	VALOR FABRICACION KIT (USD)	TRANSPORTE (USD)	HORA HOMBRE (USD)	TOTAL (USD)
SP2893CAF/KIT(I94900-1072) ELECTROVALVULA WMV1-ZEST	140	10	52,5	202,5
SP2889CAF/KIT(II63851/07) NIVELACION	28,3	11	10,6125	49,9125
SP2890CAF/KIT(I11841) FILTRO DE 3/4"	24	12	9	45
SP2892CAF/KIT(I43364) VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN	40,4	13	15,15	68,55
SP2887CAF/KIT(I22950) VÁLVULA DE PRESIÓN MEDIA MDV1	30,4	14	11,4	55,8
SP2902CAF/KIT(I87625/1072) ELECTROVALVULA WMV-1/2ZES	98,8	15	37,05	150,85
SP2891CAF/KIT(I80301) VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN	34,8	16	13,05	63,85
SP2904CAF/KIT(II116910-16072) TORRE DE SECADO	192	17	72	281

Fuente: Elaboración propia en base a costos de Knorr Bremse y Globak

En la tabla 4-2 se describe cual será el costo que tiene que considerar Globak al momento de realizar todo el procedimiento necesario para ofrecer el servicio al cliente, en una primera parte se tiene el valor de fabricación del kit que es el 40% de lo que se vende, el transporte, que traer este kit desde Brasil normalmente se trae en grandes

cantidades, es por eso que se ha estimado un valor aproximado, con el fin de incluir y considerar a la hora del calculo final y finalmente la hora hombre que corresponde al 15% de lo que se vende el kit de reparación.

Básicamente y a simple vista se concluye que los valores no son altos, pero al momento de una mala ejecución o irresponsabilidad en el mantenimiento mismo es donde los valores se pueden salir del estudio hecho, ya que como se mencionó anteriormente la garantía es de 2 años asegurando que el costo de la reparación será responsabilidad de Globak, es una constante que no se tomo en cuenta, puesto que se atribuye a que el personal esta capacitado y se vincula a los informes que arroja el banco de prueba y su certificación, todo el análisis del plan de mantenimiento mostrado garantizando excelencia sin errores.

Por lo mismo ahora se procederá a realizar y analizar una solución al cliente, en función a los parámetros técnicos y económicos que se estudiaron.

4.4. RELACIÓN EN LOS COSTOS

Después de analizar y evaluar los costos del negocio que se ofrecerá al cliente y los costos que serían para Globak poder realizarlo, es necesaria hacer una comparación con las tablas 4-1 y 4-2 y verificar y demostrar si la estrategia es viable o no, por lo mismo es que se tomaron en cuenta los siguientes parámetros:

- Valor del kit de mantenimiento que se ofrecerá
- Valor por procedimiento en bancos de prueba
- Mano de obra de mantenimiento
- El valor total del servicio
- Nivel de riesgo y daño
- Costo de la falla para el cliente
- Ganancia de inversión en el kit

Estos valores vienen en USD, ya que Knorr Bremse Brasil es el que proporciona los valores estándares de trabajo a Globak.

Tabla 4-3. Tabla comparativa de inversion

EQUIPO	VALOR KIT (USD)	BANCOS DE PRUEBA (USD)	MANO DE OBRA	TOTAL SERVICIO (USD)	DAÑO Y RIESGO	TOTAL FALLA (USD)	AHORRO (USD)
SP2893CAF/KIT(I94900-1072) ELECTROVALVULA WMV1-ZEST	350	105	105	560	SEVERO	4000	3440
SP2893CAF/KIT(I94900-1072) ELECTROVALVULA WMV1-ZEST	350	105	105	560	GRAVE	1500	940

Fuente: Elaboración propia en base a datos comparativos entre falla y servicio

4.5. RESULTADO ECONÓMICO

Con los datos entregados en la tabla 4-3, en donde se hace referencia al total del servicio que se entrega y el ahorro que tiene el cliente al momento de presentar una falla, es como se hace una relación de porcentaje rescatando números positivos al momento de incluir el kit en el mantenimiento, todo esto variara según la falla que se presente y el impacto que esta tenga, el rango económico a ahorrar es bastante amplio. En la tabla se hace referencia a los daños severos y graves como ejemplo, pero también hay un costo para los minimos y moderados.

También se tendrá en consideración que se podrá presentar mas de una falla funcional para el mismo equipo o que dos equipos del mismo sistema fallen, que como resultado final aumentaría el costo hacia el cliente. Finalmente la elección se un buen kit de mantenimiento otorga una garantía tanto técnica como una disminución y ahorro en los resultados económicos.

4.6. SERVICIO FINAL AL CLIENTE

Finalmente, esta será la planilla que se ocupar para poder llenar en el momento de que el cliente solicite de nuestro servicio, algunos parámetros se solicitaran al cliente, con el fin de poder realizar un mejor estudio, plan de mantenimiento y finalmente el costo del kit, estos datos son:

- Kilometraje del tren, ya que, podremos saber cual es el desgaste que tienen las piezas y que corresponde cambiar.
- Mantenimientos realizados, para saber que tipo de mantenimiento ha sido y que partes han sido cambiadas.
- Historial de falla, puesto que, si sabemos que tipo de fallas ha tenido y el impacto de estas, se deberá poner más atención en ciertas formas de funcionamiento y sobre todo en el procedimiento en los bancos de prueba.

Tabla 4-4. Tabla de servicio de kit de mantenimiento Knorr Bremse

Kit de mantenimiento Knorr-Bremse - Globak	
Cliente	CAF CHILE S.A.
Encargado	Paulo Rodriguez.
Fecha	12-11-17
Sistema	Unidad de control neumática EPBGE.
Equipo	Electroválvula WMV1
Función	Controlar el frenado de urgencia del tren.
Kilometraje	720.000 km +- 10%
Mantenimientos Realizados	Ninguna
Historia de falla	Archivo adjunto
Plan de mantenimiento	El FMECA dio como resultado que es el equipo más crítico del sistema neumático en el tren con consecuencia de falla con daños severos y grave.
Costo del kit de mantenimiento	350 USD
Garantía	2 años de garantía, que en caso de algún tipo de falla Globak se hace responsable tanto de entregar el equipo optimo para su funcionamiento como el costo de algún tipo de repuesto que sea necesario.

Fuente: Elaboración propia en base a estrategia y plan de mantenimiento de Globak

4.7. DISCUSIÓN FINAL

En diferentes partes del mundo han ocurrido accidentes en el que han estado involucrado trenes y básicamente ha sido porque al momento de una mala comunicación de estos se ha necesitado con urgencia un buen sistema de freno, pero no han respondido

de la forma que era necesario, no muy lejos en 1986 en Valparaíso ocurrió un accidente con la muerte de 60 personas y fue por una mala mantención al sistema mas crítico e importante del tren. Chile hoy en día se caracteriza por la poca inversión en mantenimiento, pero hay otro factor que influye igual o mas que el nombrado y es la contaminación y suciedad en el medio ambiente, por lo mismo se transforma una necesidad tener un mantenimiento normalizado y con los más grandes estándares. Con esto queda claro que se buscara contratar un servicio que garantice la mayor calidad técnica, buen precio para el cliente, el proveedor y sin fallas.

Anteriormente se explico que el mundo y el rubro ferroviario o de trenes en Chile esta en un crecimiento que va en alza y es momento de pensar, plasmas y proyectar ideas como la de este proyecto, pensando en un futuro en establecer este sistema en general para las diferentes empresas de mantenimiento ferroviario.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se ha desarrollado una clara descripción con información recopilada por el fabricante sobre los antecedentes generales tanto del tren de pasajero (metro) como de los trenes de carga, con una pequeña pero distintiva información sobre el funcionamiento del sistema de freno estos y a la vez la diferencia del uno con el otro. Como estos se desenvuelven en el país y la evolución que han tenido los sistemas y equipos a través del tiempo.

Al tener claro los antecedentes generales es como se puede introducir a realizar un análisis actual del servicio de mantenimiento al sistema de freno, presentar el proyecto en el que se está trabajando, como se está trabajando, con que estándares se está trabajando y sobre todo desde una perspectiva en la que se cuenta ya con las herramientas entregadas por los docentes es que se forman los pilares de estudios necesarios para generar y poner en marcha un proyecto, en este caso a línea 1 de Metro de Santiago.

Después del estudio presentado y analizado se concluyó que el mejor plan de mantenimiento para avanzar hacia una estrategia era un FMECA, porque cumple con estándares basados en la confiabilidad que son primordiales en sistemas como este, o sea sistemas críticos que no pueden presentar averías, en donde queda claro que aplicando las herramientas que nos entrega este análisis es la mejor manera de dar forma, argumentos, sustentabilidad y garantía a la estrategia de obtención de clientes nuevos.

Se evaluó tanto técnica como económicamente el plan de mantenimiento, para ver si era viable generar la estrategia que se basó en la jerarquización de fallas y el impacto que puede tener en el tren, pero que si se obtiene el kit sugerido por el proveedor el ahorro sería económicamente alto. Así es como los resultados que todo el análisis y estudio nos entregó fueron buenos, tanto como para el cliente como para el proveedor, con una visión moderna en base a estándares contemporáneos e ideas nuevas en función a lo presentado.

BIBLIOGRAFÍA

Información interna y exclusiva de Knorr Bremse y Globak (Manuales de los sistemas de freno y función de sus equipos, capacitación, anexos, planos neumáticos).

Información interna y exclusiva de CAF Chile (multas por distinto tipos de falla e impactos de estas).

Análisis causa-raíz como herramienta en la mejora de la confiabilidad. Autora: Carolina Altmann.<http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/causaraizaltmann.pdf>.

Desarrollando el modelo RCM, charlas especiales para gestión del mantenimiento. Autor Fernando Espinoza Fuentes.
<http://campuscurico.utalca.cl/~fespinos/CONCEPCION%20RCM%20MANTENIMIENTO%20CENTRADO%20EN%20CONFIABILIDAD.pdf>.

Análisis de criticidad integral de activos. Autor : Edwin Gutiérrez, Miguel Agüero, Ivaneska Calixto.
http://r2menlinea.com/w3/PT/PT013_Analisis_de_Criticidad_Integral_de_Activos.pdf.

Gestión de mantenimiento bajo estándares internacionales como PASS 55 asset management. Autor: José Bernardo Duran.
<http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/PAS55.pdf>.

Análisis de modo de falla, efecto y criticidad (AMFEC), para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. Autores : José R. Aguilar-Otero, Roció Torres-Arcique, Diana Magaña-Jiménez.
http://web.imiq.org/attachments/345_15-26.pdf.

Ingeniería de mantenimiento, análisis de criticidad. Autor: Alexis Larez
http://www.enovalevante.es/mantenimiento-montajes/2017/01/13/ingenieria_mantenimiento_analisis_criticidad_parte