

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA
CONFIABILIDAD EN EL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO DE LA FLOTA
DE CAMIONES ELÉCTRICOS

JULIO JAIME ARIZA FREAY

ERWIN SCHROEDER OLAYA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA EN MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2020

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA
CONFIABILIDAD EN EL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO DE LA FLOTA
DE CAMIONES ELÉCTRICOS

JULIO JAIME ARIZA FREAY

ERWIN SCHROEDER OLAYA

Monografía presentada como requisito
para optar por el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director
Iván Darío Gómez
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA EN MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2020

DEDICATORIA

Dedico esta monografía a mi esposa e hijas que sus enseñanzas diarias han hecho de mí una mejor persona, un mejor esposo y mejor padre.... No puedo dejar atrás a mis padres que con su tesón y empuje lograron darme las herramientas necesarias para andar por los distintos caminos de esta alegre vida.

Esta monografía quiero dedicarla a mi hija, quien ha sido el motor inspirador para dar lo máximo de mí y de esta forma lograr avanzar un peldaño más, y así, trascender en esta vida.

Para ti hija, Daniela Ariza.

AGRADECIMIENTOS

Los retos en la vida, ciertamente, responden a las motivaciones personales y al acompañamiento espiritual, personal y laboral de quienes sentimos más cercanos, para que nos sustenten en el camino que hoy me enseña el horizonte esperado al iniciar esta aventura de aprendizaje.

Agradecimientos:

A Dios, mi guía y compañero.

A mi bella esposa, quien fue madre y padre en mis días de ausencia.

A mis dos felices hijas, oxígeno para sobrellevar el esfuerzo.

A mi empresa, que me vio como semilla para asumir nuevas responsabilidades.

Primeramente a Dios, por darme la fuerza, capacidad y recursos para este logro. A mi esposa Yanllis Cantillo, por su apoyo incondicional para poder llevar a feliz término este proyecto en mi vida, por sus consejos, motivación y entusiasmo. A la empresa para la cual laboro por proveer recursos valiosos para patrocinar mi crecimiento profesional.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	18
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
2. OBJETIVOS	22
2.1. OBJETIVOS GENERALES	22
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	22
3. MARCO TEORICO	23
4. MARCO METODOLÓGICO	27
4.1. ETAPA CHEQUEAR	29
4.2. ETAPA ANALIZAR	30
4.3. ETAPA DE PLANIFICACIÓN	30
4.4. HERRAMIENTAS SUGERIDAS POR EL CICLO CAPDo	30
4.4.1. Análisis del modo y efecto de fallos (AMEF).	30
4.4.2. Cuadro 5W+1H.	32
4.4.3. Diagrama Ishikawa o causa y efecto.	33
5. SOLUCION DEL PROBLEMA	36
5.1. ETAPA CHEQUEAR	36

5.1.1.	Topografía del sistema de aire acondicionado.	36
5.1.2.	Observaciones al mantenimiento preventivo y correctivo.	39
5.1.2.1.	Observaciones en el mantenimiento preventivo.	39
5.1.2.2.	Observaciones en el mantenimiento correctivo.	41
5.1.3.	Ejecución del AMEF.	42
5.1.4.	Caracterización del problema con la tabla 5W+1H.	43
5.1.4.1.	Resumen del Fenómeno.	44
5.2.	ETAPA ANALIZAR	44
5.2.1.	Diagrama Ishikawa (Causa – Efecto).	44
5.2.2.	Tabla ¿por qué? – ¿por qué?.	45
5.2.3.	Relación de causas con los 5 modos de falla.	47
5.3.	ETAPA PLANEAR	47
5.3.1.	Plan de mejora	47
5.3.1.1.	Estandarización del sistema de Aire Acondicionado.	48
5.3.1.2.	Adquisición de herramientas	48
5.3.1.3.	Elaboración de procedimientos	48
5.3.1.4.	Rediseño de partes del sistema.	49
5.3.1.5.	Validación de Competencias técnicas.	49
5.3.1.6.	Entrenamiento en nuevos procedimientos.	50

5.3.2.	Plan de control y seguimiento.	50
5.3.3.	Plan de actividades.	50
5.3.4.	Definición de Metas	51
6.	CONCLUSIONES	52
	BIBLIOGRAFIA	54
	ANEXOS	56

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Prioridad de modos de falla según RPN.....	43
Tabla 2. Tabla 5W + 1H	44

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Cuadro 5W=1H.....	32
Cuadro 2. Cuadro Por qué? – Por qué?.....	35
Cuadro 3. Tabla ¿Por qué? - ¿Por qué?	46
Cuadro 4. Cuadro de relación Causas raíces con los 5 modos de falla.	47
Cuadro 5. Tareas de estandarización de sistema de Aire Acondicionado.	48
Cuadro 6. Listado de procedimientos.....	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de acondicionamiento de aire.....	24
Figura 2. Construcción del embrague magnético.....	25
Figura 3. Conjunto Polea impulsora Compresor.....	26
Figura 4. Ciclo CapDo.....	28
Figura 5. Carta de flujo del AMEF.....	31
Figura 6. Diagrama Ishikawa o Causa y Efecto.....	34
Figura 7. Montaje Compresor/Correa en el motor diésel.....	36
Figura 8. Driver que proporciona el movimiento al compresor.....	37
Figura 9. Mangueras de entrada y salida del compresor.....	37
Figura 10. Condensador Aire acondicionado.....	38
Figura 11. Caja Kit del aire acondicionado.....	38
Figura 12. Interior de la Caja Kit.....	39
Figura 13. Tornillo tensor suministrado por fábrica.....	42
Figura 14. Diagrama de Causa y efecto.....	45
Figura 15. Plan de Acción.....	50

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Formato Mantenimiento preventivo/Correctivo del Contratista	56
--	----

GLOSARIO

ACONDICIONAMIENTO DE AIRE O AIRE ACONDICIONADO: Proceso que permite mantener ciertas condiciones de temperatura, humedad y pureza del aire en un ambiente cerrado.

AMEF: Análisis de Modo y Efecto de Falla. Método empleado para evaluar qué tan confiables son los equipos, componentes, partes, de un activo, y de esta forma identificar los efectos, causas y consecuencias de las fallas de los mismos.

COMPRESOR: Elemento encargado de producir aumento de temperatura del gas refrigerante, para que éste pueda volverse líquido en el condensador. El aumento de la temperatura resulta del aumento de la presión que sufre el refrigerante.

CONDENSADOR: Parte del sistema de acondicionamiento de aire encargada de recibir el fluido refrigerante caliente transformarlo a estado líquido, como consecuencia de la disminución de la temperatura del gas.

CONFIABILIDAD: Se define como la capacidad de un activo de cumplir la función para la cual fue adquirido durante un tiempo determinado, es decir, que hace lo que queremos que haga en el momento que se requiere el activo.

CONFORT: Es aquello que produce bienestar o comodidad a uno o más individuos, el cual incide directamente en su capacidad de realizar un trabajo o actividad.

DISPOSITIVO DE EXPANSION: Este elemento del sistema cumple las siguientes funciones: enfriar o disminuir la temperatura del refrigerante en estado líquido que llega al condensador y dosificar la entrada de refrigerante al evaporador, según la necesidad de refrigeración.

EVAPORADOR: Componente del sistema encargado de recibir el refrigerante en estado líquido a baja presión y temperatura, y en su interior se va evaporando al intercambiar calor con el aire que lo rodea.

KPI: *Key Performance Indicator*. Indicadores claves de desempeño. Conjunto de variables esenciales para el logro de los objetivos de una determinada área, empresa, proceso, etc.

MEJORA CONTINUA: Es un enfoque para potenciar los procesos operativos, el cual se basa en revisar periódicamente o continuamente las variables que afectan costos, producción, seguridad, etc., para optimizarlos.

TPM: *Total Productive Maintenance*. Mantenimiento Productivo Total. Metodología de mantenimiento de activos de origen Japonesa, cuyo propósito es eliminar pérdidas en producción por causa de la condición de los equipos. En otras palabras, mantener los equipos en disposición de producir a máxima capacidad con la calidad requerida y sin reparaciones no programadas. Para lo cual se requiere alcanzar: Cero averías, cero tiempos muertos, cero defectos, cero accidentes.

WEIBULL: Distribución de...: Es una distribución de probabilidad continua. Recibe su nombre de Waloddy Weibull que la describió detalladamente en 1951.

RESUMEN

TITULO: DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA CONFIABILIDAD EN EL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO DE LA FLOTA DE CAMIONES ELÉCTRICOS¹

AUTOR: ERWIN SCHROEDER OLAYA²

JULIO JAIME ARIZA FREAY

PALABRA CLAVES: TPM, mejora Continua, Ciclo PDSA, AMEF, Confort.

DESCRIPCIÓN

Teniendo en cuenta la importancia del confort en el sitio de trabajo y las implicaciones de seguridad que se generan cuando no lo hay, se propone un plan de mejoramiento de la confiabilidad del sistema de aire acondicionado existente en los camiones mineros. Para esto se aplicó la metodología CapDo que permite la mejora continua de cualquier sistema o proceso. En la primera etapa se usó la herramienta AMEF para conocer a fondo la estructura del sistema y así enfocar todos los esfuerzos sobre aquellos componentes del mismo que se consideraron críticos. En la segunda etapa se realizó un análisis de causa y efecto con el fin de diseñar medidas que eliminaran las causas de los problemas relacionado con el sistema de aire acondicionado, seguido a esto se realizó la validación de los estándares existentes con el fin de comprobar la calidad de los repuestos, procedimientos y competencias técnicas del personal mantenedor. Finalmente se diseñó un plan de mejoramiento el cual incorpora rediseños, mejoras en procesos y la creación de nuevos estándares enfocados en el mantenimiento, diagnóstico y reparación del sistema.

¹ Trabajo de Grado

² Facultad de Físico Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica, Director: Ivan Darío Gomez

ABSTRACT

TITLE: DESIGN A MAINTENANCE PLAN FOR THE OPTIMIZATION OF RELIABILITY IN THE AIR CONDITIONING SYSTEM OF THE FLEET OF ELECTRIC TRUCKS.³

AUTHOR: ERWIN SCHROEDER OLAYA⁴

JULIO JAIME ARIZA FREAY

KEY WORDS: TPM, Continuous improvement, PDSA Cycle, AMEF, Comfort.

DESCRIPTION

Taking into account the importance of comfort in the workplace and the security implications that may arise when there is not any; a plan is proposed for improving the reliability of the existing air conditioning system in mining trucks. To do this, the CapDO methodology was applied, which allows continuous improvement of any system or process. On the first stage, the AMEF tool was used to get to know the structure of the system in depth and thus focus all efforts on those components that were considered critical. On the second stage, a cause and effect analysis was carried out in order to design measures that will eliminate the causes of problems related to the air conditioning system, then a validation was made of the existing standards in order to check the quality of spare parts, maintenance staff technical procedures and competencies. Finally an improvement plan was designed which incorporates redesigns, process improvements and creation of new standards focused on maintenance, diagnosis and system repair.

³ Bachelor Thesis.

⁴ Facultad de Físico Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica, Director: Ivan Darío Gomez

INTRODUCCION

La mina de Carbón en la cual se realizó esta monografía, se encuentra ubicada en el norte de la Guajira Colombiana, en la zona Ecuatorial, donde las temperaturas alcanzan hasta los 40 - 45C. Para la exploración minera se requiere el uso de diversos equipos mineros, de gran tamaño y diversas características, dentro de los cuales se encuentra la flota de camiones de acarreo de estéril, con un total de 210 camiones, de los cuales 130 son Mecánicos (Caterpillar) con una capacidad de 240 y 190 toneladas, el resto son camiones Eléctricos con una capacidad de 320 toneladas. Estos camiones son operados por personal, en un 90% oriundo de la región, los cuales trabajan en turnos de 4 días semanales, y jornadas de 12 horas diarias.

Considerando las condiciones de trabajo extensas y agotadoras a las que se someten los operadores, los cuales pueden estar expuestos a temperaturas entre 42 – 45 C, en lo más bajo del pit, la compañía exige a sus proveedores que los equipos mineros adquiridos tengan un sistema de acondicionamiento de aire óptimo, con una alta confiabilidad y disponibilidad, para mantener su operación durante la jornada de trabajo. Adicionalmente, estos sistemas de acondicionamiento de aire exigen métodos eficaces de mantenimiento para contrarrestar estas condiciones de trabajo arduo, con vibraciones, calor extremo, polvo, barro, humedad, etc.; condiciones que lo hacen propenso a fallas.

El sistema de aire acondicionado abarca el 3.27% de las llamadas al personal de mantenimiento, lo cual es una preocupación para la gerencia del departamento de mantenimiento, ya que tener uno de estos equipos fuera de operación involucra costos de personal de atención del evento, desplazamientos de los equipos, consumo improductivo de combustible y otros lubricantes, pérdidas operacionales, entre otros. Por esta razón se requiere disminuir el número de llamadas por el sistema de acondicionamiento de aire de los camiones de transporte de estéril, para

lo cual se ha definido el uso de herramientas para eliminar problemas crónicos de dicho sistema.

Para propósitos de esta monografía se trabajara el sistema de erradicación de fallas crónicas denominado CAPDo, que se basa principalmente en caracterizar correctamente el problema para hacer un diagnóstico acertado, analizar las causas y cuantificar la importancia de los efectos y consecuencias, diseñar planes de mejora de acuerdo a las fallas y sus características, por último se revisará la efectividad de las soluciones y se toman acciones. El éxito de la aplicación de esta estrategia, se fundamenta en mantener la fidelidad al método definido, durante todo el proceso, para lo cual se requiere el compromiso de los diferentes actores, como son Supervisores, técnicos, operadores, planeadores, etc.

Finalmente, otro factor clave para el éxito de la aplicación de esta metodología, es el registro adecuado de los datos, los cuales deben tener una rica descripción del sistema, componentes, fallas, diagnósticos, repuestos, labor, duración, etc., para poder realizar un buen análisis de dicha información. Para este estudio se tiene en consideración los datos recopilados durante el período comprendido entre el 1 enero de 2018 y Diciembre 31 de 2019.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una empresa minera dedicada a la explotación de carbón mineral, ubicada en el departamento de la Guajira. En la actualidad cuenta con una flota 180 camiones, de los cuales 130 son Mecánicos (Caterpillar) con una capacidad de 240 y 190 toneladas, el resto son camiones Eléctricos con una capacidad de 320 toneladas.

La flota de camiones electricos tienen un sistema diseñado para satisfacer las necesidades de confort, comunicación y seguridad del operador, uno de los componentes más importantes que está enfocado a proporcionar confort es el Aire Acondicionado (A/A), este componente debe estar funcional el 100% del tiempo disponible del camión, si no fuese así, sería poco probable que el operador condujera el camión durante todo el turno de trabajo, ya que la temperatura ambiente promedio en el área de mina es de aproximadamente 35°C (abajo del Pit la temperatura aumenta considerablemente).

El A/A esta diseñado y calculado de tal forma que proporcione una temperatura agradable de trabajo dentro de la cabina del camión. Para que este componente pueda llevar a cabo esta función, todas sus partes deben soportar el rigor de la operación (temperatura, vibración, presión, polvo, largos periodos de operación, etc.).

Hoy en día el sistema del camión que muestra el menor MTBF (*Mean Time Between Failures*) es el de Accesorios, encontrando que el componente que aporta la mayor cantidad de eventos de falla es el de A/A, en algunos casos el número de eventos de fallas aumentan por: una mala intervención, mala calidad del repuesto, falla de otro sistema (del cual depende el A/A) o simplemente debido a una temperatura ambiente muy alta.

Además de las pérdidas de confort producto del bajo desempeño del sistema, encontramos las afectaciones relacionadas a la operación, productividad y costo del

mantenimiento. Estas pérdidas pueden llegar a ser importantes dependiendo del tipo de falla que se presente, dado que se pueden clasificar en:

- Fallas reparables en sitio: fácil atención/repación y bajo costo relacionado a repuestos.
- Fallas que involucran traslado a taller (distancia de recorrido entre 15 – 20 Kms + tiempo muerto por traslado). Son de difícil reparación, involucran altos costos de repuestos, logística de traslado y logística para la reparación (hangar, escaleras, herramientas especiales, etc.) además de los costos asociados a la indisponibilidad del equipo.

Las pérdidas asociadas a la producción estarían relacionadas con el no cumplimiento del volumen diarios de estéril; y las asociadas a la operación tienen que ver con la interrupción del ciclo productivo del camión, alteración en las tareas normales del supervisor y operadores cesantes.

Hoy en día la mina subcontrata el mantenimiento (Diagnostico, Reparación y mantenimiento) del A/A con una empresa contratista. Ellos son los encargados de realizar todas las tareas correctivas y planeadas relacionadas con el A/A en todas las flotas de equipo minero. Sin embargo, todos los repuestos usados en las reparaciones son adquiridos directamente por la mina al fabricante del equipo, lo cual no ha sido una carta de garantía para obtener buenos resultados en la disponibilidad del A/A.

El presente proyecto busca caracterizar aquellos elementos que impactan la confiabilidad del A/A de forma directa o indirecta, para luego plantear una metodología que ayude a identificar patrones de falla que deban ser eliminados, para que de esta forma se disminuyan al máximo las pérdidas en mantenimiento, producción y operación asociados a este sistema.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVOS GENERALES

Diseñar un plan de mantenimiento que aumente la confiabilidad del Sistema de Aire Acondicionado de los camiones eléctricos a partir del ciclo CapDO

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar y analizar los modos de falla más relevantes por criticidad y recurrencia del sistema objeto de estudio basado en históricos de intervenciones y manual de fabricante de la flota de camiones electricos.
- Bajo metodología de Ingeniería de Confiabilidad crear una ponderación y clasificación de fallas con el fin de determinar las tareas de mantenimiento que minimicen el riesgo y optimicen la vida útil del sistema de aire acondicionado.
- Proponer una planeación de mantenimiento Correctivo, Preventivo y Predictivo (CO, PM y PdM) asociando recursos necesarios para la optimización del sistema justificado con KPI corporativos.

3. MARCO TEORICO

Algunos estudios basan sus investigaciones sobre el confort en dos pilares: el confort térmico y la calidad de aire.

- El primer pilar está basado en las percepciones humanas sobre el ambiente que lo rodea, estas pueden ser de tipo físico, fisiológico o psicológico. De acuerdo con esto se puede decir, que el confort térmico es una sensación subjetiva y que está fuertemente asociada con la condición de aclimatación percibida por el trabajador.
- El segundo pilar es un punto importante a tener en cuenta, ya que está relacionado con la percepción de aire fresco en vez de aire viciado.

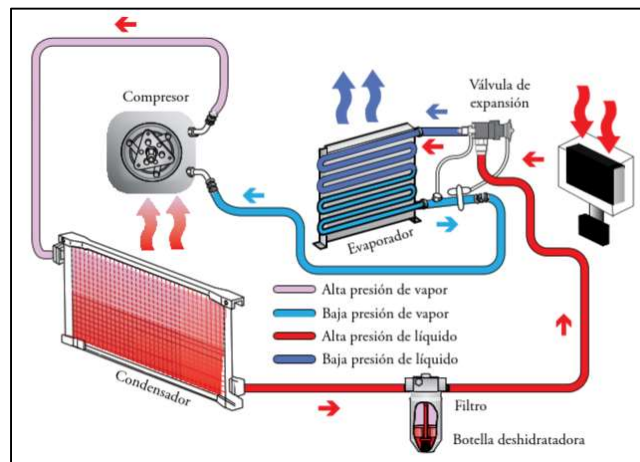
Por otro lado, existen otras investigaciones que concluyen que un ambiente térmico inadecuado produce disminución en el rendimiento físico y mental, lo que da como consecuencia una baja productividad; además influye en los estados de ánimo del individuo, como pueden ser irritabilidad, agresividad y distracción, lo que desembocaría en errores que podrían causar accidentes graves incluso la muerte. Otros estudios citan que, para tener un ambiente térmico óptimo, se deben tener en cuenta variables como: el ambiente, el tipo de trabajo y el individuo. La interacción de estas tres variables da como resultado excelente sensaciones de confort, o por lo contrario falta de este.

Considerando el confort del sitio de trabajo, como un factor influyente en la seguridad y productividad del individuo, es necesario implementar sistemas que mejoren las condiciones internas donde se desempeña la tarea. Entre estos se hace referencia a los sistemas de acondicionamiento de aire, los cuales están diseñados para extraer calor de los diferentes espacios y ambientes laborales; como también, de mejorar la calidad y cantidad del aire que se respira en el mismo. El proceso de acondicionamiento consiste en dar tratamiento al aire de un lugar cerrado y de esta

forma generar una atmósfera confortable, para las personas que interactúan en dicho espacio.

El proceso de acondicionar el aire parte de la compresión mecánica donde se involucra un proceso de transferencia de calor desde el interior del sitio que se quiere acondicionar hacia el exterior. La compresión se hace con sustancias refrigerantes que a alta presión están en estado líquido y a baja presión están en estado gaseoso. Cuando la sustancia es comprimida por el compresor (Circuito de alta Presión) esta se licúa y se calienta, luego es enviada al condensador (radiador externo) donde se le quita un poco de calor. La sustancia al experimentar un descenso en su temperatura comienza a cambiar de estado, veremos entonces una mezcla de gas líquido el cual llega a la válvula de expansión y experimenta un mayor descenso en su temperatura acompañado también de un descenso en la presión (circuito de baja presión) este cambio de estado se realiza en el evaporador (radiador internos), como la temperatura del evaporador es menor que del ambiente el aire que pasa a través de este se enfría, dando así como resultado una temperatura de confort. En la figura 1 se ilustra el ciclo de funcionamiento de un sistema de Aire Acondicionado.

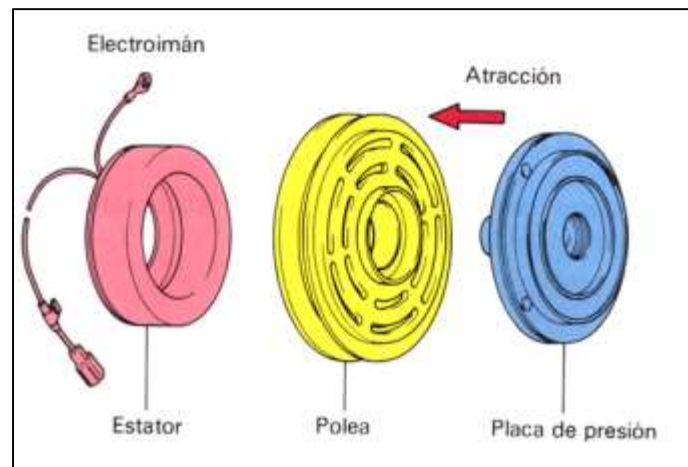
Figura 1. Sistema de acondicionamiento de aire.



Fuente: Sistemas frigoríficos para confort térmico de personas en vehículos.

En los equipos móviles, el accionamiento del compresor se realiza mediante el embrague magnético, que conecta el sistema hidráulico de refrigeración con el movimiento del motor. Esta conexión mecánica se realiza cuando es energizada la bobina del estator del embrague, entonces es atraída la placa de presión hacia la polea haciendo que el conjunto embrague / polea roten como una sola unidad. Ver figura 2.

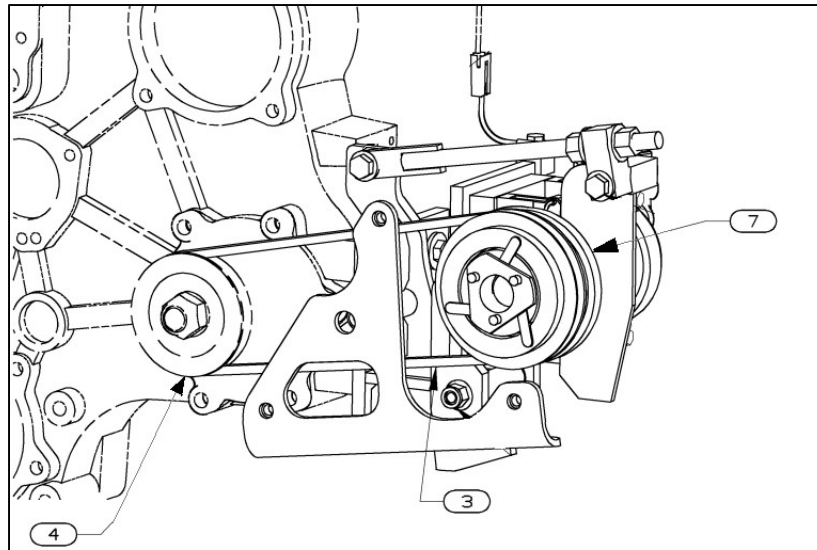
Figura 2. Construcción del embrague magnético.



Fuente: <http://mail4.ansal.com.ar/Documentacion/pdfs/356025.pdf>

La potencia es transferida al compresor por medio de una correa, que transmite parte del trabajo del motor hacia éste, en conjunto con poleas solidarias a los ejes. La correa de transmisión trabaja por rozamiento entre las superficies de esta y la canaladura de la polea. La correa, por su naturaleza flexible, puede funcionar como un fusible mecánico dentro del sistema, ya que se desempeña como amortiguador, el cual reduce las vibraciones que se pudiesen generar entre los ejes. Para que puedan tener un adecuado funcionamiento deben cumplir los parámetros en cuanto a tensión, alineación y desgaste dados por el fabricante. Ver figura 3.

Figura 3. Conjunto Polea impulsora Compresor.



3. Correa 4. Polea Impulsora (Sobre motor Diésel) 7. Embrague Magnético

Fuente: *Parts Catalog*, EH5000ACII (ELFA) E8RABB

Las variables tales como presión y temperatura de un sistema de acondicionamiento de aire, son factores claves para el correcto funcionamiento; éstos se deben mantener dentro de unos valores de referencia. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que estos valores cambiarán dependiendo del contexto operacional donde se encuentre trabajando el equipo. Las fluctuaciones de estos factores se deben a: temperatura externa, temperatura interna del vehículo o propios al diseño del sistema. La temperatura del aire en la salida hacia el habitáculo, dependerá de la temperatura del aire que entra al evaporador; a su vez, esta temperatura dependerá de si el aire proviene del exterior, recirculado o una mezcla de aire exterior e interior.

4. MARCO METODOLÓGICO

La metodología que se usara en el presente trabajo para eliminar problemas crónicos que afectan la confiabilidad de los equipos en el sistema e A/A será el ciclo CapDO versión especial del ciclo Deming o PDSA, empleado en proyectos de mejora continua de maquinaria. Como ayuda se utilizará la técnica SEDAC creada por R. Fukuda, para el estudio de problemas crónicos con causas de difícil identificación.

Los problemas crónicos tienen la característica de permanecer por largo tiempo, en algunos casos no se pueden identificar fácilmente, estos pueden representar aproximadamente el 30% de la totalidad. Para resolverlos es necesario crear un proyecto de estudio en el que participen los Ingenieros de Mantenimiento, supervisores de producción y operadores del equipo, el tiempo necesario para encontrar las soluciones puede estar entre 1 y 2 meses, con una concentración de 20 horas de trabajo en equipo aproximadamente.

La obtención de resultados positivos radica en el respeto a la metodología sugerida, como también contar con una base de datos que permita tomar las mejores decisiones.

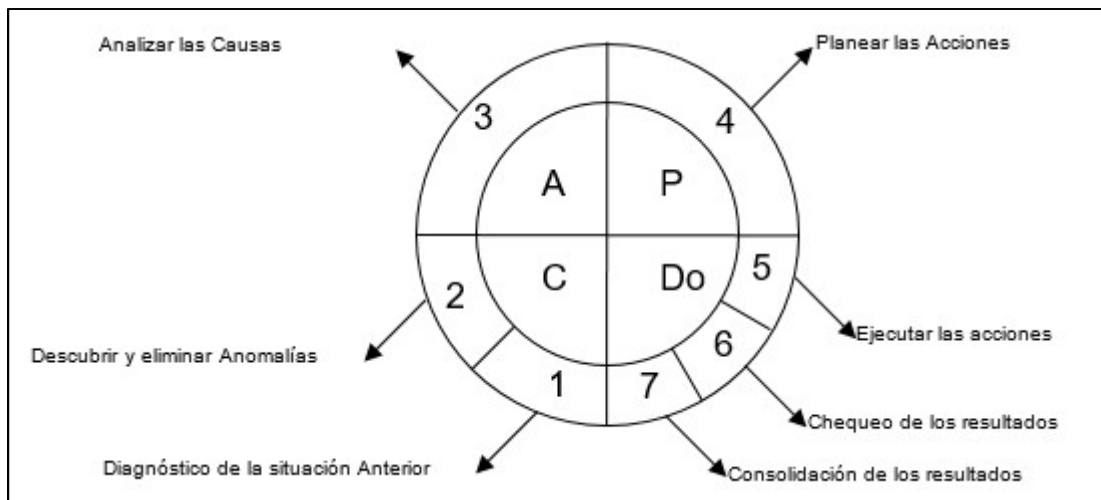
El desarrollo de un proyecto CAPDO sigue la siguiente metodología:

- Definir y documentar el problema correctamente para garantizar el trabajo de diagnóstico, luego se deben eliminar la mayor parte de anomalías presentes en el equipo sujeto de estudio y garantizar un alto grado de estabilidad.
- Realizar análisis de causa raíz necesarios y diagnosticar las diferentes causas de falla, se utiliza la técnica de la tabla por qué – por qué (Modo de falla).
- Plantear los planes de mejora, de tal forma que se diseñen y se implementen los estándares necesarios para eliminar las causas de fallas.

- Implementar las acciones y realizar el seguimiento de las mismas para garantizar que estén funcionando y que se estén implementando correctamente; en algunos casos se pueden hacer extensivas estas mejoras en equipos de características similares.

Las diferentes actividades que se desarrollan en cada uno de las etapas de la metodología permiten obtener los resultados necesarios para garantizar la futura estabilidad del equipo. En la Figura 4, se ilustra el ciclo CAPDo.

Figura 4. Ciclo CapDo.



A partir de las decisiones tomadas sobre la información tratada, se establecen las metas de mejora que se deben alcanzar. Se deben establecer metas realistas que inviten a mejorar y cuidar el resultado. Estas metas siguen el principio Kaizen, que incluye el ir progresando sucesivamente, y no establecer una única solución, ya que esto puede generar frustración si no se obtienen resultados muy rápidos.

La metodología se basa en una primera etapa en la recolección de datos de acuerdo a los históricos de falla, de esta manera se recopilarán y clasificarán las fallas no solo más recurrentes; sino aquellas que atenten contra la integridad del sistema y

sus operadores y mantenedores; siendo la criticidad uno de los criterios para ésta ponderación de fallas a tener en cuenta para la optimización de la confiabilidad.

Es importante consultar los manuales y fichas técnicas de los componentes del sistema con el fin de clasificar aquellas fallas recomendadas por el fabricante; se clasificarán con éste procedimiento no solo los componentes sino los planes de acción e intervenciones sugeridas por el mismo, de la misma manera se determinarán los estándares de función y rangos operacionales a tener en cuenta fundamentales en la creación de tareas de mantenimiento proactivas.

Se hace necesaria la implementación de una metodología / estrategia de Ingeniería de Confiabilidad para creación de tareas de mantenimiento basadas en Modos de Falla y Justificada con criterios de Criticidad; esto debido a contexto en el que opera el sistema de aire acondicionado y su relevancia en la operación del equipo, para esto se propone usar la metodología FMECA, la cual permite: determinar estándar de función, clasificar las síntomas de fallas, priorizar causas y mecanismos de falla y por ende proponer tareas de intervención que ataquen las causas de falla cuidando el riesgo del componente y del sistema optimizando la vida útil del mismo.

Al determinar las causas de falla bajo la metodología FMECA, es posible crear de manera justificada las tareas de mantenimiento Correctivas, Preventivas y Predictivas, asociando los recursos necesarios como talento humano, repuestos, consumibles y equipos para la implementación y ejecución de la estrategia; evaluando sus costos y gastos y medir su costo beneficio.

4.1. ETAPA CHEQUEAR

Definición del problema, se recopilarán todos los datos de falla de las distintas partes que conforman el sistema de A/A y se hará el respectivo análisis de Weibull para calcular los distintos MTBF, de igual forma se definirán las distintas fallas funcionales y modos de falla.

Caracterización del problema, se establecerán las metas a alcanzar y se recopilarán todas las evidencias (físicas, fotográficas, entre otras) para su análisis y posterior a esto se realizará el cuadro 5W+1H para la definición final del fenómeno físico.

4.2. ETAPA ANALIZAR

Con el análisis 4Ms o Ishikawa (Mano de obra, Materiales, Método y Maquinaria) se identificarán y propondrán medida para la eliminación de las causas del problema.

Árbol de estándares, Se realizara la validación de, estándares de control de calidad, de gestión, gestión del producto y gestión de operación. Esto validará la calidad de los repuestos, de los equipo, de las competencias de los técnicos mantenedores y de los procedimientos, de tal forma que se pueda concluir si los estándares existentes se cumplen o no o sencillamente no existen.

Con la tabla por qué – por qué, se identificaran las causas de los defectos técnicos del equipo.

4.3. ETAPA DE PLANIFICACIÓN

Se definirá el plan de mejora y el plan de control y seguimiento para su posterior ejecución.

4.4. HERRAMIENTAS SUGERIDAS POR EL CICLO CAPDo

4.4.1. Análisis del modo y efecto de fallos (AMEF). Este método fue desarrollado por el ejército de los EEUU, por los ingenieros de la NASA, el cual se empleaba para evaluar la confiabilidad y determinar los efectos de las fallas en los equipos.

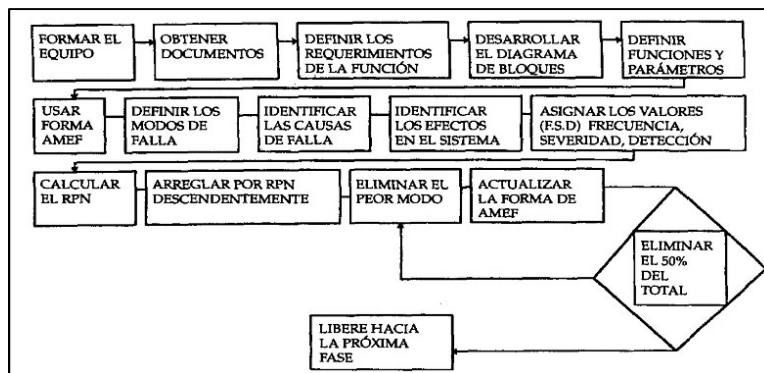
Es una herramienta que permite identificar las fallas en un sistema, y evaluar sus efectos y causas, como también los elementos de detección para evitar su ocurrencia.

Consiste en elaborar un listado de modos de falla potenciales, para cada componente o sub-componente. A cada uno de estos modos se calificará numéricamente, en razón de: La frecuencia de ocurrencia, severidad y probabilidad de detección.

Cada uno de los anteriores se multiplicará entre sí para obtener el Riesgo de Prioridad Numérica (RPM), el cual indicará la prioridad de los distintos modos de falla a resolver.

En la figura 5 se ilustra el flujo de las tareas que se deben seguir para la implementación de un AMEF

Figura 5. Carta de flujo del AMEF



Fuente: ISO 9000, QS 9000, ISO 14000.

Los beneficios que se adquieren cuando se implementa el AMEF se pueden catalogar de corto y largo plazo, los primeros esta relacionados a los costos de reparación y los tiempos muertos, los segundos están relacionados con la

satisfacción del cliente en cuanto a la calidad y es por esto que estos beneficios son difíciles de medir.

4.4.2. Cuadro 5W+1H. Es una metodología que consiste en contestar seis preguntas básicas, Que? (*What?*), Cual? (*Which?*), Cuando? (*When?*), Donde? (*Where?*), Quien? (*Who?*), y Cómo? (*How?*), la unión de todas las respuestas forman la descripción del problema y de esta forma se tiene claridad y entendimiento de lo que se tiene enfrente.

Cada una de las preguntas debe cumplir con las siguientes condiciones:

- Que: Debe ser de carácter Cualitativo.
- Cuando: Es un momento, se debe referir el momento mismo de la ocurrencia.
- Dónde: Elemento propio de la falla.
- Quien: Se refiere a la habilidad de la persona, no se debe dar un nombre propio (Técnico, piloto, etc).
- Como: Debe ser de carácter cualitativo, se debe conocer el estándar o principio de funcionamiento.

En el Cuadro 1 se muestra un cuadro 5W+1H en cual se trata un ejemplo muy básico.

Cuadro 1. Cuadro 5W+1H

5W+1H	Pregunta
<i>What</i>	El carro no frena correctamente.
<i>When</i>	Cuando se presiona el pedal de freno.
<i>Where</i>	En el mecanismos de las ruedas delanteras.
<i>Who</i>	Depende de la habilidad d la persona.
<i>Which</i>	En alta velocidad.
<i>How</i>	Disminuyendo muy poco la velocidad.
"El carro no frena correctamente y disminuye muy poco la velocidad cuando se presiona el pedal de freno para accionar el mecanismo de las ruedas delanteras, especialmente en alta velocidad y depende de las habilidades de la persona."	

4.4.3. Diagrama Ishikawa o causa y efecto. Esta herramienta es muy útil al momento de identificar y organizar las diferentes teorías propuestas acerca de un problema. Además, nos ayuda tener un conocimiento común de cualquier caso de estudio, basándose en las causas que generan el problema. En el diagrama cada causa es una fuente de variación, estas se agrupan en categorías principales de tal forma que se puedan clasificar las fuentes de variación.

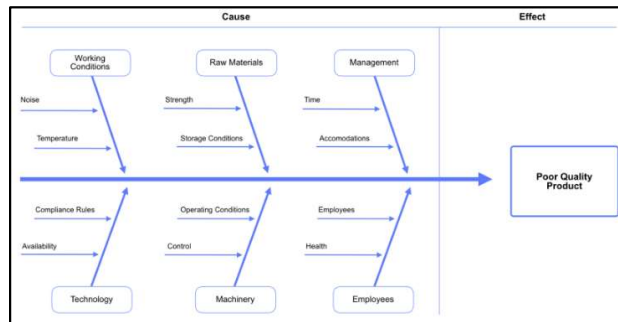
En conjunto con el diagrama de causa y efecto se usan la 4M, estas son: Máquina, Método, Materiales, Mano de obra.

El proceso que se debe llevar a cabo para la implementación de un diagrama de causa y efecto es:

- Definición del problema.
- Tormenta de ideas con un equipo multidisciplinario en cada una de las M's.
- Tener mente abierta y no culpar a nadie.
- Agrupar las causas potenciales.
- Se comprueba la validez de cada causa y se eliminan las que no tiene probabilidad de ocurrencia.
- Luego de la eliminación de las causas con baja probabilidad de ocurrencia se mantienen las que tengan mayor probabilidad de ocurrencia.
- Investigar a fondo las causas que quedaron y se debe crear un plan de acción para su corrección.

En la figura 6 se muestra un ejemplo de cómo sería un diagrama Ishikawa.

Figura 6 Diagrama Ishikawa o Causa y Efecto.



4.4.4. Tabla ¿Por qué? – ¿Por qué?. Es un método utilizado para explorar aquellas relaciones de causa – efecto que generan algún tipo de problema. El fin de esta técnica es determinar la causa raíz del problema.

Para usar esta herramienta se debe tener en cuenta los siguientes pasos o condiciones:

- Crear un equipo que conozca la máquina.
- Describir el problema y tratar de describirlo lo más completo posible.
- Se inicia preguntando por qué ocurre el problema descrito y se escribe la respuesta debajo de la descripción del problema.
- Si la anterior respuesta no resuelve el problema se debe volver a preguntar el por qué hasta llegar a la respuesta que sea una solución al problema.
- Al final el equipo deberá estar de acuerdo con la causa.

Para que la causa encontrada sea válida debe relacionarse con al menos uno de los 5 modos de falla y estos son:

- Restablecer condiciones básicas.
- Falta de condiciones de funcionamiento / operación.
- Deterioro Forzado.
- Puntos Débiles de diseño.

- Error humano / Falta de capacitación.

En el cuadro 2 se muestra un ejemplo de la tabla ¿Por qué? – ¿Por qué?.

Cuadro 2. Cuadro Por que? – Por que?

Ronda 1	Ronda 2	Ronda 3	Ronda 4	Ronda 5	Solución
Pregunta 1	➤Pregunta 2	➤Pregunta 3	➤Pregunta 4	➤Pregunta 5	➤Solución 1
Respuesta 1	Respuesta 2	Respuesta 3	Respuesta 4	Respuesta 5	

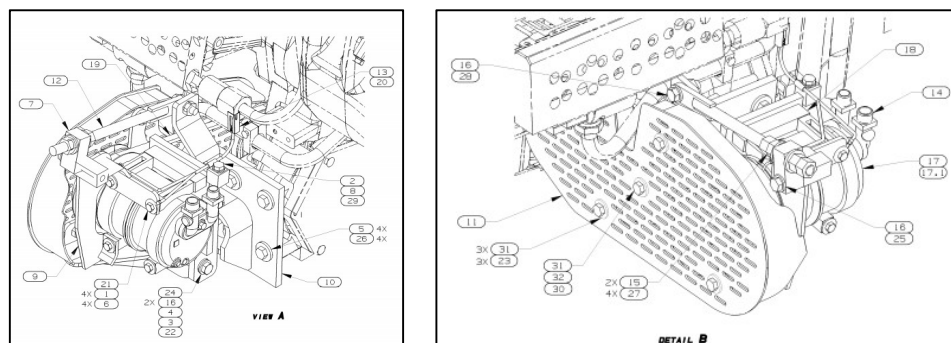
5. SOLUCION DEL PROBLEMA

5.1. ETAPA CHEQUEAR

Para la primera etapa es necesario la recolección de la información relacionada a la topografía del sistema, esto con el fin de conocer cada una de las partes del sistema y la ubicación en el camión. También es importante realizar observaciones al mantenimiento preventivo, correctivo, realizado por el contratista, esto con el fin de comprobar la existencia de estándares de trabajo y su aplicación, de igual forma se hará el levantamiento de la información relacionada con los modos de falla y la frecuencia de cada uno de ellos, con el fin de realizar el AMEF. Finalmente se caracteriza el problema con ayuda de la tabla 5W+1H.

5.1.1. Topografía del sistema de aire acondicionado. En la figura 7 se muestra como está montado el conjunto compresor/correa en el motor diésel. El compresor (17) está montado sobre dos bases metálicas, una de ellas (10) está directamente acoplada al bloque del motor y la segunda (18) une el compresor a la primera base. La base que soporta directamente el compresor pivotea sobre el tornillo 24 para que se pueda tensionar la correa (19) con ayuda de los tornillos 12 que tiene como punto de apoyo la base 9.

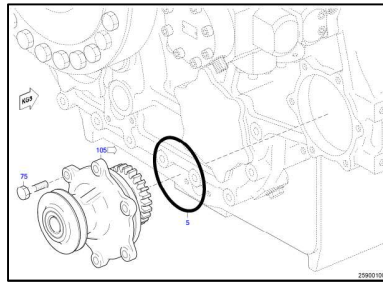
Figura 7. Montaje Compresor/Correa en el motor diésel.



Fuente: *Parts Catalog*, EH5000ACII (ELFA) E8RABB

Como se comentó anteriormente el movimiento del compresor es transferido con la correa desde el motor, en la figura 8 se muestra el driver (105) que le proporciona el movimiento al compresor este es movido por la volanta delantera del motor.

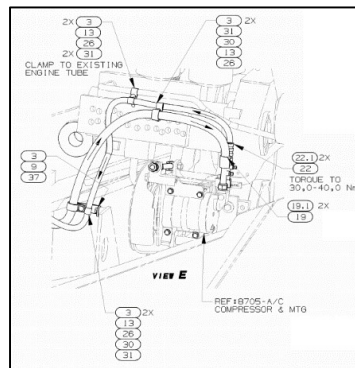
Figura 8. Driver que proporciona el movimiento al compresor.



Fuente: Engine Manual 16V4000C21L

En la figura 9 se muestra las mangueras de entrada y salida al compresor y de igual forma se ilustra el torque con que deben ser ajustadas. La manguera 19 es la manguera de baja presión es por esta que el refrigerante entra en estado gaseoso al compresor, la manguera 22 es la de alta presión por la cual el refrigerante sale en estado líquido del compresor

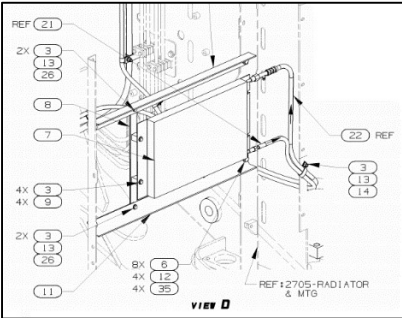
Figura 9. Mangueras de entrada y salida del compresor.



Fuente: *Parts Catalog*, EH5000ACII (ELFA) E8RABB

En la figura 10 se muestra el condensador (7), está ubicado en la parte frontal del radiador, como se dijo anteriormente aquí es donde el refrigerante está en estado líquido y se le quita calor gracias al ventilador del motor y el aire que pasa a través de él, cuándo el camión está en movimiento.

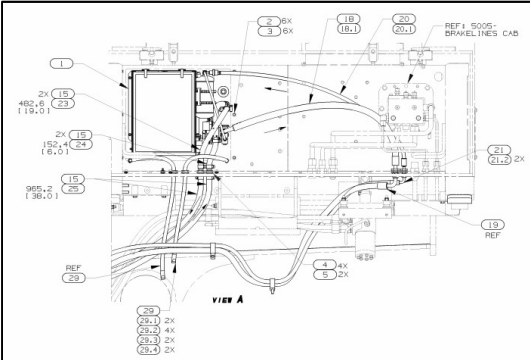
Figura 10. Condensador Aire acondicionado.



Fuente: *Parts Catalog*, EH5000ACII (ELFA) E8RABB

En la parte izquierda de la figura 11 se muestra la caja Kit (1), en esta se puede encontrar, el evaporador, el motor blower, la válvula de expansión, y todo el sistema de direccionamiento de toberas.

Figura 11. Caja Kit del aire acondicionado.

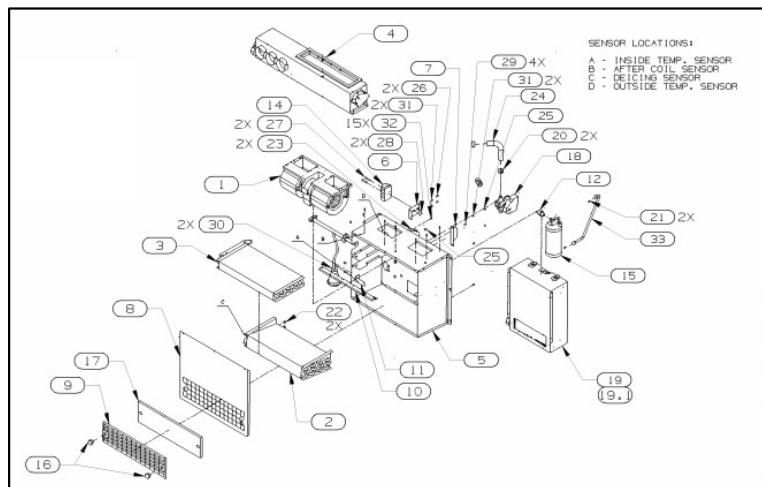


Fuente: *Parts Catalog*, EH5000ACII (ELFA) E8RABB

Para tener un mejor entendimiento de la caja kit, en la figura 12 se muestra con mejor detalle su interior.

- Motor Blower (1).
- Evaporador (3).
- Filtro Secador (15).
- Válvula de Expansión (14).
- Toberas (4).

Figura 12. Interior de la Caja Kit.



Fuente: *Parts Catalog*, EH5000ACII (ELFA) E8RABB.

5.1.2. Observaciones al mantenimiento preventivo y correctivo.

5.1.2.1. Observaciones en el mantenimiento preventivo. Las observaciones hechas al proceso de mantenimiento preventivo se realizaron en camiones escogidos al azar y en cada uno de los turnos de trabajo (Existen tres turnos de trabajo) de los técnicos encargados del mantenimiento, esto con el fin de validar los conocimientos técnicos y las destrezas de todos los técnicos, como también la

aplicación de los estándares de trabajo. Los siguientes son los hallazgos encontrados.

- Formatos de mantenimiento inadecuados. Luego de una serie de observaciones se detectó un factor común, el formato utilizado por los técnicos no coincide con lo recomendado por el fabricante, es un formato diseñado por el contratista para ejecutar el mantenimiento en todos los equipos de la mina, indistintamente de la marca y tipo de equipo.

En el anexo A, se ilustra el formato usado por el contratista para el mantenimiento. En línea con lo anterior se encontró que el formato incluido en las pautas de mantenimiento propuestas por la mina tampoco cubren en su totalidad las recomendaciones de fábrica.

- Falta de herramientas. No se tienen las herramientas adecuadas que garanticen la correcta instalación de los repuestos nuevos, un ejemplo, la instalación de la correa, por diseño y recomendación de fábrica la correa necesita una tensión adecuada para que garantice el buen funcionamiento del sistema y la vida estimada.

- Falta de estándares de tarea. No se tiene claro la forma correcta de ejecutar tareas críticas del sistema, un ejemplo de esto es, cuando se requiere cargar el sistema con refrigerante, algunos técnicos realizan barrido del sistema con el mismo líquido refrigerante y otros realizan vacío del sistema antes de la carga del líquido refrigerante.

- No cumplimiento a la frecuencia de cambio de repuestos. No hay evidencia en la programación ni en la ejecución que corrobore los cambios de aquellos repuestos que poseen una frecuencia de remplazo.

- Instalación incorrecta mangueras. Cuando se instala la manguera esta no guarda el estándar exigido por los manuales del fabricante, en algunas ocasiones

las mangueras son aseguradas a otras mangueras con amarres plásticos, quedando con en ocasiones rozando con la estructura.

- Conocimientos y destrezas técnicas. Existe un diferencia marcada en lo que tiene que ver con el conocimiento de los técnicos, algunos tienen claro cómo está conformado el sistema de aire acondicionado de los camiones y otros no lo tienen tan claro, en ocasiones confundían algunas partes con las de otro equipo.
- Lubricación fuera de especificaciones. Se observó que al momento de completar el nivel de aceite al sistema no se tiene en cuenta ninguna recomendación del fabricante, no se usa ningún tipo de guía que indique cuanto aceite debe adicionar por cada repuesto que camben. Lo que se hace completar el nivel según experiencia.

5.1.2.2. Observaciones en el mantenimiento correctivo. Se tuvieron en cuenta las mismas condiciones que se tomaron para las observaciones del mantenimiento preventivo, sin embargo, se tuvo mayor énfasis en el conocimiento del técnico al momento de realizar el diagnóstico y su posterior reparación.

- Repuestos de mala calidad. En las reparaciones ejecutadas se solicitaban repuestos directamente a la bodega de materiales, sin embargo, esos repuesto no cumplían con la calidad espera, siendo repuestos adquiridos directamente con el fabricante del camión. Un ejemplo entre otros es el tornillo tensor, el cual se muestra en la figura 13, son evidentes los errores en su diseño, por un lado, la pieza no es monolítica, por el contrario, es la unión de dos piezas lo que crea concentraciones de esfuerzo. Por otro lado las correas que se usan no son las originales.

Figura 13. Tornillo tensor suministrado por fábrica



- Cambio de repuestos críticos sin seguir un procedimiento. En varios casos se evidencio la instalación de varios repuestos sin seguir un procedimiento preestablecido, un ejemplo de esto es la instalación del compresor, esta se hace sin la respectiva limpieza del sistema ni las precauciones mínimas para evitar la contaminación proveniente del ambiente (reparaciones hechas en área de mina).
- Limpieza deficiente del sistema. Se detectó que cuando falla de compresor el sistema se contamina por desprendimiento de material propio de él, esta contaminación se intenta limpiar con un soplado de nitrógeno.
- Conocimientos y destrezas técnicas. Se evidencio en algunos casos que las destrezas en el diagnostico no eran las mejores, sin embargo a la hora de realizar el correctivo el escenario cambiaba, las destrezas para la instalación de los repuestos eran buenas.
- Falta de herramientas. Igual que en el mantenimiento preventivo no se tienen aquellas herramientas que garanticen una correcta instalación de los repuestos.

5.1.3. Ejecución del AMEF. Para la realización del AMEF se creó un equipo interdisciplinario, conformado con personal técnico del contratista encargado del mantenimiento del sistema, personal del representante de fábrica y el analista de

confiabilidad de la flota. Se obtuvo la información necesaria del sistema como lo es manuales, planos eléctricos, planos mecánicos

Se procedió a desarrollar los diagramas de bloques a definir las funciones, modos de falla, causas de fallas, se asignaron los valores de frecuencia severidad y detección y así se calculó el RPN. En la tabla 1 se indican el resultado de las prioridades de los distintos modos de falla, mostrando los 14 modos de falla donde nos tendremos que concentrar.

Tabla 1. Prioridad de modos de falla según RPN.

DRESCRIPCION DE MODO DE FALLA	Severidad	Ocurrencia	Deteccion	RPM
Bobina embrague compresor aire acondicionado ATERRIZADO/A	8	8	8	512
Valvula de expansion FUGA	8	8	8	512
Motor Blower/Ventilador DEFECTUOSO/A	7	8	8	448
Compresor aire acondicionado DAÑADO/A	8	7	8	448
Manguera descarga de compresor a condensador ROTO/A	8	6	8	384
Correa compresor aire acondicionado DESGASTADO/A	8	8	6	384
Display Controlador Aire Acondicionado DEFECTUOSO/A	6	8	7	336
Embrague compresor aire acondicionado DEFECTUOSO/A	8	8	5	320
Sensor de temperatura de cabina DEFECTUOSO/A	6	7	7	294
Soporte base de compresor DETERIORADO/A	6	6	8	288
Polea drive impulsor correa aire acondicionado DESGASTADO/A	6	8	6	288
Sensor de temperatura Salida del evaporador (De-icing Sensor) DEFECTUOSO/A	6	8	6	288
Modulo controlador de aire acondicionado - ECC DEFECTUOSO/A	6	8	6	288
Tensor correa de compresor PARTIDO/A	8	4	8	256

5.1.4. Caracterización del problema con la tabla 5W+1H. Teniendo en cuenta la topografía del sistema, la clasificación de los distintos modos de falla y las observaciones hechas, se ilustra en la tabla 2 la caracterización del problema usando la metodología 5W+1H

Tabla 2. Tabla 5W + 1H

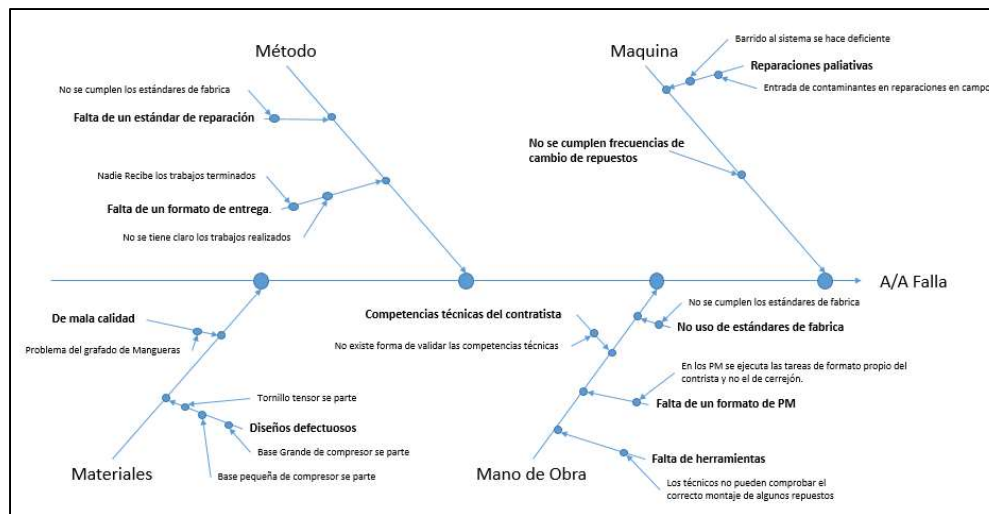
5W + 1H	
Pregunta	Respuesta
WHAT – QUE	
¿Qué hecho o problema está sucediendo?	La temperatura al interior de la cabina aumenta
WHEN – CUANDO	
¿En qué momento sucede el problema?	En operación normal del camión.
WHERE – DONDE	
¿En qué sitio o cual es el ubicación donde se produce el problema?	En el sistema hidráulico o parte mecánica del Aire Acondicionado
WHO – QUIEN	
¿Depende o no de la habilidad del técnico mantenedor?	Depende de las habilidades técnicas de la persona.
WHICH – CUAL	
¿Cuál es la tendencia de la ocurrencia del problema o existe algún patrón de referencia asociado al fallo?	Existe un patrón
HOW – COMO	
¿De qué manera cambia su estado óptimo?	El sistema de aire acondicionado deja de enfriar.

5.1.4.1. Resumen del Fenómeno. La temperatura al interior de la cabina aumenta, en operación normal del camión cuando se presenta algún problema en el sistema hidráulico o mecánico y el sistema de aire acondicionado deja de enfriar, existe un patrón y depende de las habilidades técnicas de la persona.

5.2. ETAPA ANALIZAR

5.2.1. Diagrama Ishikawa (Causa – Efecto). En la figura 14 se muestra el diagrama de causa y efecto, teniendo en cuenta los resultados de las diferentes observaciones que se llevaron a cabo.

Figura 14. Diagrama de Causa y efecto.



5.2.2. Tabla ¿por qué? – ¿por qué?. Con ayuda de esta tabla se encontrarán las causas raíces que se intentaran eliminar con ayuda del plan que se generara con el presente trabajo. La tabla iniciará preguntándose por el porqué de la aparición del fenómeno que se describió anteriormente con ayuda de la herramienta 5W + 1H. En el cuadro 3 se muestra el resultado del ejercicio ¿por qué? - ¿por qué?

Cuadro 3. Cuadro ¿Por qué? - ¿Por qué?

	1ra Ronda	2da Ronda	3er Ronda	4ta Ronda	5ta ronda	Soluciones Propuestas
A	Por que el aire Acondicionado deja de enfriar?	Por que Falla el compresor?	Por que se contamina el Sistema?	Por que no hay un estandar de reparacion?		Diseño de un documento donde se estandarice las diferentes reparaciones e incluir un producto apropiado para la limpieza del sistema
	El compresor falla	El sistema se contamina	No se tienen un estándar de reparación que tenga en cuenta las buenas practicas	La empresa contratista no maneja este tipo de documentos		
B		Por que falla la Correa?	Por que se parte el tornillo tensor?	Por que es de mala calidad?	Por que es un mal diseño?	Rediseñar un tornillo tensor que soporte los esfuerzos generados por el sistema de Aire Acondicionado.
	La correa falla prematuramente	El tornillo tensor se parte	Por mala calidad del repuesto	Esta mal diseñado	Se realizó un estudio de elementos finitos y diocojo resultado que no soporta las cargas generadas por el sistema.	
C			Por que no se tensiona adecuadamente?	Por qué no se tiene el instrumento de medida?		Solicitarle al contratista la compra de un instrumento que pueda medir la tensión de instalación de la correa y que aplique al equipo.
		Al momento de instalarla no se tensiona adecuadamente	Por falta de un instrumento de medida	El contratista nunca ha tenido un instrumento que aplique al equipo		
D			Por qué se degrada a alta temperatura?	Por qué no se escogió la correa correcta para la aplicación?		Solicitarle a materiales la compra de la correa proporcionada por fabrica o que sea de la misma referencia de la de fabrica.
		Degradación por alta temperatura	Mala escogencia de la referencia de la correa	Materiales cambio el proveedor		
E			Por que falla la ppolea impulsora?	Por que no se cambia la polea impulsora?		Incluir en la estrategia de mantenimiento el cambio de la polea impulsora, teniendo en cuenta los tiempos entre fallas que se han presentado.
		Falla de la polea impulsora	No se cambia segun frecuencia del fabricante	No estaba considerado en la estrategia de mantenimiento		

5.2.3. Relación de causas con los 5 modos de falla. Como se mencionó anteriormente para que las causas encontradas se consideren causas raíces del problema es necesario que cada una de ellas se relacione con al menos uno de los cinco modos de falla, en el cuadro 4, se muestran las relaciones de cada modo de falla con las causas encontradas

Cuadro 4, Cuadro de relación Causas raíces con los 5 modos de falla.

Soluciones Propuestas	Restablecer condiciones básicas.	Falta de condiciones de funcionamiento /	Deterioro Forzado.	Puntos Débiles de diseño.	Error humano / Falta de capacitación.
No existe un documento donde se consignen los estándares que se deben tener para cada reparación.	X				
Diseño inadecuado del tornillo tensor.				X	
Falta de herramientas de medida que confirme la correcta instalación de los repuestos.	X	X			
Referencia de la correa no cumple con las necesidades de la aplicación			X		
Estrategia de mantenimiento incompleta.		X			

5.3. ETAPA PLANEAR

Ahora que se entendió el problema y se tienen las causas raíces identificadas se procederá al diseño del plan de mantenimiento para la optimizar la confiabilidad del sistema de aire acondicionado de la flota de camiones eléctricos, en línea con esto se fijaran las metas de mejora del sistema de Aire acondicionado.

5.3.1. Plan de mejora. De acuerdo a la metodología CapDo y a las acciones sugeridas en la fase analizar, se establecerán las distintas tareas con miras a prevenir la aparición de las causas raíces. A continuación se describirán las distintas tareas a desarrollar.

5.3.1.1. Estandarización del sistema de Aire Acondicionado. Todos los camiones llegan al taller para realizarles un mantenimiento preventivo una vez cada mes, por lo anterior se aprovechara ese tiempo en taller para estandarizar el sistema de aire acondicionado, esto con el fin de ir eliminando modos de falla, mientras las otras tareas de mejoramiento se finalizan. Estas tareas se ejecutaran bajo recomendaciones descritas por el fabricante. Las tareas que se realizaran se listan en el cuadro 5.

Cuadro 5. Tareas de estandarización de sistema de Aire Acondicionado.

Tareas de Estandarización
Limpieza interna del sistema de Aire Acondicionado.
Validación estado de bases de Compresor.
Validación estado de mangueras.
Cambio de aceite y refrigerante.
Cambio de correa y tensado según especificaciones.
Pruebas operativas de compresor.
Verificar estado de Caja Kit.
Limpieza de condensadores y evaporadores.
Cambio de filtro secador
Cambio de filtros de cabina.

5.3.1.2. Adquisición de herramientas. La empresa contratista deberá adquirir las herramientas necesarias para garantizar que la instalación de todos los repuestos cumple los estándares descritos por fábrica.

5.3.1.3. Elaboración de procedimientos. Con ayuda de la empresa contratista se diseñaran los procedimientos para las tareas preventivas y correctivas, los cuales contendrán todas las tareas y estándares sugeridos por fábrica. En el siguiente cuadro se listan los procedimientos a diseñar.

Cuadro 6, Listado de procedimientos.

Procedimientos
Procedimiento de PM ⁵ 250 Hrs.
Procedimiento de PM 500 Hrs.
Procedimiento de PM 1000 Hrs.
Procedimiento de PM 2000 Hrs.
Procedimiento de diagnóstico de fugas.
Procedimiento de diagnóstico de Compresor.
Procedimiento de diagnóstico de Caja Kit
Procedimiento de carga de Gas.
Procedimiento de cambio de compresor.
Procedimiento de cambio de caja Kit.
Procedimiento de cambio de correa.

5.3.1.4. Rediseño de partes del sistema. Se rediseñarán algunas partes del sistema como son: el tornillo tensor, bases del compresor, cada uno de estos rediseños estará acompañado por un estudio de elementos finitos que garantizara la eficacia del diseño. Teniendo los diseños listos se cambiará el proveedor del repuesto el cual deberá cumplir con lo descrito en el estudio de elementos finitos. Por otro lado, se cambiara el proveedor de las correas para volver a adquirir las recomendadas por fábrica.

5.3.1.5. Validación de Competencias técnicas. Con ayuda de la empresa contratista se diseñarán las distintas pruebas que garanticen que el personal técnico cuenta con las competencias necesarias que garanticen el buen funcionamiento del sistema. Si luego de las pruebas se detecta algún tipo de deficiencia técnica o desconocimiento del sistema de aire acondicionado del camión, se procederá a su respectivo entrenamiento para asegurar que el personal técnico posee todo lo necesario para mantener el sistema.

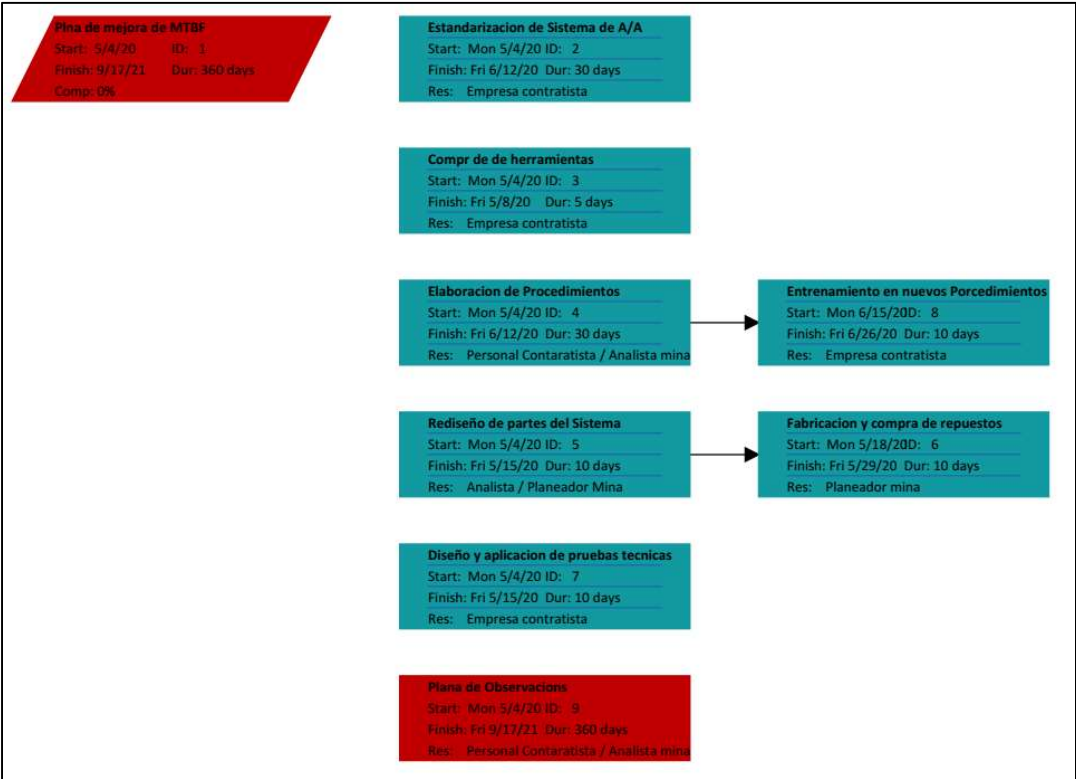
⁵ *Preventive Maintenance*

5.3.1.6. Entrenamiento en nuevos procedimientos. Luego que se diseñen todos los procedimientos, se deben de compartir con el personal técnico de la empresa contratista, con el fin de garantizar el total entendimiento y correcta aplicación.

5.3.2. Plan de control y seguimiento. Luego que todas las tareas de mejora sean implementadas se iniciará un plan de observaciones con el cual se garantice la correcta aplicación de estándares y ejecución de tareas, no solo se enfocarán en los puntos anteriores si no también se validarán las tareas contenidas en ellos, esto con el fin garantizar que cumplen con los requerimientos dados por fábrica.

5.3.3. Plan de actividades. En la figura 15 se ilustra el plan de actividades, responsables y las fechas de terminación para cada una de las actividades anteriormente descritas.

Figura 15. Plan de Acción.



5.3.4. Definición de Metas. Se tiene como meta inicial eliminar los modos de falla que se pueden atacar con los recursos existentes en la mina, entre estos están los causados por contaminación del sistema, fugas de gas y aceite, condensadores defectuosos. Todas estas acciones se realizan bajo los estándares de fábrica. Al finalizar la estandarización se espera alcanzar un 25% en la reducción de los eventos de falla del sistema de aire acondicionado. Luego que se completen todas las acciones de mejoramiento se aspira pasar a un 85 % en la reducción de eventos. Este valor se puede alcanzar ya que aproximadamente el 50% de los eventos de falla del sistema de aire acondicionado son causados por el daño de la correa.

6. CONCLUSIONES

Es claro que para alcanzar niveles altos de confiabilidad no es necesario el uso de herramientas complejas, un ejemplo de esto es la metodología CapDO, con esta herramienta se pudo de una forma sistemática caracterizar el problema, definir las causas raíces y priorizarlas, de este modo se pudo analizar más a fondo el problema y llegar al diseño de un plan de mejoramiento de la confiabilidad de cualquier sistema o máquina.

Sin embargo el existo de cualquier herramienta que se use para mejorar un sistema o maquina dependerá 100% de la calidad de la información que se almacene, esta responsabilidad no es solo del área de mantenimiento, se debe involucrar al toda la cadena de producción, desde el operador de la maquina hasta el jefe de la planta.

El buen funcionamiento de un sistema o maquina no depende solamente de cómo se opere, es importante que le personal que lo mantiene tenga un pleno conocimiento de su funcionamiento y de cómo interactúan todas sus partes, también deberán tener claro los conocimiento técnicos y del proceso del cual hace parte el sistema o máquina. Es importante que se sigan las recomendaciones del fabricante, como pueden ser, el tipo de lubricate a usar, los repuestos que se deben utilizar, las pautas de mantenimiento y lo estándares que se deben de seguir.

El existo en una reparación no solo radica en el repuesto que se utilice o en las capacidades técnicas de la persona que la realiza, también se debe tener en cuenta el procedimiento que se utilice y los estándares que se apliquen, un ejemplo de esto son las correas de transmisión de potencia, si estas no se instalan con la tensión correcta fallara prematuramente y estaremos induciendo una falla ajena al sistema.

En la mayoría de ocasiones se piensa que el fabricante de la maquina proporciona los repuestos de mejor calidad, sin embargo es importante validar esta información, en algunas ocasiones los repuestos que llegan no cumplen con los requerimiento o exigencias del sistema o máquina y esto conlleva a fallas prematuras ajenas a las

responsabilidades de mantenimiento, es aquí donde se debe apelar a la experiencia y conocimiento de la organización para modificar o rediseñar estas partes de tal forma que se elimine la falla prematura y aumente así la confiabilidad del mismo.

BIBLIOGRAFIA

ALONSO ROSALES, J. (2009). Análisis de modos y efectos de fallas potenciales (AMEF). [Santa Fe, Argentina]: [El Cid Editor].

ALVARES Humberto, Curso CapDO, absoluto, (2018), Técnica CAPDo para eliminar averías, Logica de la Metodologia, Etapa Chequear, Etapa Analisar, Etapa Planificar.

CASTILLA, M., ALVAREZ, J. D., BERENGUEL, M., Pérez, M., RODRIGUEZ, F., & Guzmán, J. L. (2010). Técnicas de Control del Confort en Edificios (Comfort control techniques in buildings). Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI. [https://doi.org/10.1016/S1697-7912\(10\)70038-8](https://doi.org/10.1016/S1697-7912(10)70038-8)

GONZÁLEZ GONZÁLEZ, C. (2009). ISO 9000, QS 9000, ISO 14000. México, D.F.: McGraw-Hill Interamericana.

GÓMEZ ILLÁN, F. and LÓPEZ BELCHÍ, A. (n.d.). Sistemas frigoríficos para confort térmico de personas en vehículos.

GOMEZ Iván Darío, Introducción al Mantenimiento Estrategico, Ed Panamericana, 2006

MORA G, Luis Alberto. *Mantenimiento: Planeación, Ejecución y Control*. Ed. Alfa Omega. 2008

MOLINA, Pedro R.; GREGORI, Enrique; COMAS ÚRIZ, Santiago; CASTJÓN VILELLA, Emilio; BARTOLOMÉ LACAMBRA, Esther; *Ergonomía 2*. Universitat Politècnica de Catalunya. 2013.

MOUBRAY, John. *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. RCM II*. Aladon LLC. 2000.

SACRISTAN, Francisco: *Hacia la Excelencia del Mantenimiento*. Ed. Hoshin, H.L. Castellano 1996.

SANGUINETTI REMUSGO, Ernesto. *Manual de Refrigeración y Acondicionamiento de Aire*. Editorial Macro. 2017.

SOCCONINI, L.; REATO, C. *Lean six sigma*. Barcelona: Marge Books. 2019.

TRIAS, M., GONZÁLEZ, P., FAJARDO, S. and FLORES, L. (2020). Las 5 W + H y el ciclo de mejora en la gestión de procesos. [online] Ojs.latu.org.uy. Available at: <https://ojs.latu.org.uy/index.php/INNOTEC-Gestion/article/view/5> [Accessed 21 Feb. 2020].

ANEXOS

Anexo A. Formato Mantenimiento preventivo/Correctivo del Contratista

FORMATO PARA EL PROTOCOLO DE SERVICIO DE MANTENIMIENTO DE AIRE ACONDICIONADO DE EQUIPO MINERO									
EQUIPO:		/FLOTA:		/N°: MD		/CENTRO DE COSTO:			
OT:		TIPO DE TRABAJOS: CORRECTIVO		SEIS TIPO : 1 2 3 4		FALSO REPORTE		GARANTIA	
TECN. RECIBE:					TECN. ENTREGA:				
SUPER. RECIBE:					SUPER. ENTREGA:				
FECHA DE RECIBO:		DD MM AAAA		HORA:		TURNO:			
FECHA DE ENTREGA:		DD MM AAAA		HORA:		SITIO:			
NOTA: Antes de realizar cualquier trabajo aplique el AST de último, para su seguridad personal y cuidado de los elementos o piezas del equipo.									
TAREAS OBLIGATORIAS EN EL SEIS									
SEIS TIPO 1									
ÍTEM	ELEMENTOS A MANTENER	TAREAS A EJECUTAR	ESTADO INICIAL			ACCIONES TOMADAS	ESTADO FINAL		
			B	M			B	M	
1	DUCTOS Y REILLAS	REALIZAR LIMPIEZA DE DUCTOS Y REILLAS DE SUMINISTRO							
2	FILTRO DE AIRE Y FILTRO DE RETORNO	RECICLAR, LAVAR O CAMBIAR FILTROS DE OXIGENOS Y RETORNO DE SER NECESARIO							
3	DRENAJE Y/O BANDEJA DE CONDENSADO	LIMPIAR Y SOPLAR DRENAJE DE AGUA CONDENSADA. REVISAR Y LIMPIAR LOS CONECTORES DEL CIRCUITO ELECTRICO							
4	CONECTORES DEL CIRCUITO ELECTRICO DE CONTROL	REVISAR Y LIMPIAR LOS CONECTORES DEL CIRCUITO ELECTRICO DE CONTROL: PRESOSTATO, BREAKER, SWITCH, RESISTENCIA, TERMOSTATO (PARA LAS PALAS ELECTRICAS VERIFICAR EL CORRECTO ESTADO Y FUNCIONAMIENTO DE							
5	COMPRESOR	REVISAR ESTADO DE FIJACION, BASE DEL COMPRESOR, Y ESTADO EXTERNO DEL MISMO							
6	POLEA TENSORA Y RODAMIENTOS	VERIFICAR ESTADO DE LA POLEA Y RODAMIENTOS DE LA POLEA TENSORA DEL COMPRESOR							
7	CORREAS	REVISAR ESTADO, ALINEACION Y TENSION DE LAS CORREAS							
8	MANGUERAS DEL SISTEMA (LADO ALTA, LADO BAJA)	REVISAR QUE NO PRESENTE GRIETAS, NI ESTEN CUARTEADAS, INSPECCION DE ACOPLES Y MANGUERAS PARA DETECTAR FUGAS.							
9	CONDENSADOR Y EVAPORADOR	REALIZAR INSPECCION VISUAL PARA VERIFICAR QUE NO TENGA ROTOS, EXCESIVA CORROSION (PARA LA FLOTA DE EALL SE DEBE GARANTIZAR EL LAVADO DE ESTOS COMPONENTES EN EL TALLER, EN LA FLOTA DE							
10	TORNILLERIA DEL EQUIPO	REVISAR EL ESTADO DE LA TORNILLERIA, COMPLETAR EN CASO DE SER NECESARIO O CAMBIAR EN CASO DE QUE PRESENTE EXCESIVA CORROSION							
SEIS TIPO 2									
REALIZAR TODAS LAS ACTIVIDADES DEL SEIS ANTERIOR Y ADICIONAR LO SIGUIENTE:									
ÍTEM	ELEMENTOS A MANTENER	TAREAS A EJECUTAR	ESTADO INICIAL			ACCIONES TOMADAS	ESTADO FINAL		
			B	M			B	M	
11	RUEDAS BLOWER Y MOTOR	REALIZAR LIMPIEZA A LAS RUEDAS BLOWER Y CHEQUEO DEL MOTOR (SE CAMBIA POR CUMPLIMIENTO DE VIDA UTIL O POR CONDICION)							
12	ESTADO DE LA CABINA	REALIZAR PRUEBA DE HERMETICIDAD CON PISTOLA DE HERMETICIDAD							
13	FILTRO EXTERNO EVAPORADOR (Camiones Electricos)	CAMBIAR FILTRO EXTERNO (S/C 2737575)							
14	COMPRESOR (Toda la Flota)	REVISION DEL ESTADO Y FUNCIONAMIENTO DE LOS RODAMIENTOS DE LA POLEA TENSORA DEL COMPRESOR TENSIONAR LAS CORREAS USADAS DEL COMPRESOR A 90 LBS, SI LA CORREA SE CAMBIA SE DEBE TENSIONAR A 120 Lb REALIZAR PRUEBA VERIFICANDO PRESION, VOLTAJE Y RESISTENCIA (Ver Procedimiento)							
15	FILTRO DE AIRE RETORNO (Pala Electrica)	CAMBIAR LOS 2 FILTROS DE AIRE DE RETORNO DE LAS UNIDADES							
16	MOTOR CONDENSADOR (Palas Electricas)	VERIFICAR QUE LOS RODAMIENTOS DEL MOTOR DEL CONDENSADOR SE ENCUENTREN EN BUEN ESTADO Y SIN RUIDO REVISAR QUE LAS ASPAS DEL VENTILADOR DEL CONDENSADOR ESTEN APRETADAS							
17	COMPRESOR (Palas Hidraulicas/Hitachi)	CAMBIAR ACEITE DEL COMPRESOR							
18	PRESIONES DEL SISTEMA (EALL) ESTO SE HACE TENIENDO EVAPORADOR Y CONDENSADOR LIMPIO	REALIZAR MEDICION DE LAS PRESIONES DEL SISTEMA, EN CASO DE ENCONTRAR LAS PRESIONES BAJAS, REALIZAR INSPECCION PARA LOCALIZAR FUGA Y CORREGIR SITUACION							
SEIS TIPO 3									
REALIZAR TODAS LAS ACTIVIDADES DE LOS SEIS ANTERIORES Y ADICIONAR LO SIGUIENTE:									
ÍTEM	ELEMENTOS A MANTENER	TAREAS A EJECUTAR	ESTADO INICIAL			ACCIONES TOMADAS	ESTADO FINAL		
			B	M			B	M	
19	COMPONENTES ELECTRICOS: SWITCH, RESISTENCIA, BREAKER, TERMOSTATO, PRESOSTATO, RELAY	REVISION COMPLETA DEL ESTADO Y FUNCIONAMIENTO DE COMPONENTES ELECTRICOS, CAMBIAR EN CASO DE SER NECESARIO							
20	EMBRAGUE DEL COMPRESOR	DESMONTAR EMBRAGUE (SI APLICA, REVISAR RODAMIENTO, REMACHES BOBINA)							
21	CAJA KIT EVAPORADOR	REVISAR ESTADO DE LA CAJA KIT DEL EVAPORADOR							
22	MOTOR CONDENSADOR	REVISAR Y VERIFICAR EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR, ESTADO DE LAS ASPAS DE LA HELICE							
23	FILTRO DE AIRE RESPA (Palas Hidraulicas/Hitachi)	CAMBIAR FILTROS DE AIRE RESPA							
SEIS TIPO 4									
REALIZAR TODAS LAS ACTIVIDADES DE LOS SEIS ANTERIORES Y ADICIONAR LO SIGUIENTE:									
ÍTEM	ELEMENTOS A MANTENER	TAREAS A EJECUTAR	ESTADO INICIAL			ACCIONES TOMADAS	ESTADO FINAL		
			B	M			B	M	
24	CORREAS	CAMBIAR CORREAS							
25	COMPRESOR	DESMONTAR Y VERIFICAR ESTADO DEL COMPRESOR, CAMBIAR ACEITE DEL COMPRESOR, CAMBIAR RODAMIENTOS O CAMBIAR COMPRESOR POR VIDA UTIL O CONDICION							
26	VALVULA DE EXPANSION	VERIFICAR FUNCIONAMIENTO DE LA VALVULA DE EXPANSION, CAMBIAR EN CASO DE SER NECESARIO							
27	MANGUERAS DEL SISTEMA (LADO ALTA, LADO BAJA)	VERIFICAR ESTADO DE TODAS LAS MANGUERAS							
28	FILTRO SECADOR	CAMBIAR FILTRO SECADOR							

3	¿El area quedo libre de materiales propios de la operación? (verificar orden y aseo de la zona al entregar el equipo disponible)																		
CALIFICACION DE LA PRESTACION DEL SERVICIO																			
	PREGUNTA		(MARQUE CON UNA X)																
1	¿Recibio el equipo en buen estado de funcionamiento?	SI	NO																
2	¿El estado del area al finalizar los trabajos es?	BUENA	REGULAR	MALA															
3	¿El personal tecnico cumple con los estandares de seguridad?	SI	NO																
4	¿E tiempo de respuesta para la atencion del servicio, fue?	BUENA	REGULAR	MALA															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center;">TECNICO</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">COORDINADOR</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">SUPERVISOR</td> </tr> <tr> <td>Nombre:</td> <td>Nombre:</td> <td>Nombre:</td> </tr> <tr> <td style="height: 40px;"></td> <td style="height: 40px;"></td> <td style="height: 40px;"></td> </tr> <tr> <td>Firma:</td> <td>Firma:</td> <td>Firma:</td> </tr> <tr> <td>C.C.:</td> <td>C.C.:</td> <td>C.C.:</td> </tr> </table>					TECNICO	COORDINADOR	SUPERVISOR	Nombre:	Nombre:	Nombre:				Firma:	Firma:	Firma:	C.C.:	C.C.:	C.C.:
TECNICO	COORDINADOR	SUPERVISOR																	
Nombre:	Nombre:	Nombre:																	
Firma:	Firma:	Firma:																	
C.C.:	C.C.:	C.C.:																	

** Fin del formato **

Formato empresa Contratista