

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD  
A UNA BOMBA HIDRÁULICA DE UN VOLCADOR DE CAMIONES SAUR EN  
CARBOSAN LTDA.

CAYO CABALLERO CHARRIS  
JEISON SÁNCHEZ GONZÁLEZ

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

2018

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD  
A UNA BOMBA HIDRÁULICA DE UN VOLCADOR DE CAMIONES SAUR EN  
CARBOSAN LTDA.

CAYO CABALLERO CHARRIS  
JEISON SÁNCHEZ GONZÁLEZ

MONOGRAFÍA PRESENTADA PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO

DIRECTOR  
JOSÉ VÍCTOR LÓPEZ MOZO  
ESPECIALISTA EN MANTENIMIENTO

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

2018

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3. JUSTIFICACIÓN.....	17
4. MARCO REFERENCIAL.....	18
4.1. MARCO CONTEXTUAL.....	18
4.1.1. POLÍTICA INTEGRAL DE LA EMPRESA.....	18
4.1.2. VALORES DE LA COMPAÑÍA.....	19
4.1.3. MISIÓN.....	19
4.1.4. VISIÓN.....	20
4.2. GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO.....	20
4.2.1 ¿QUÉ ES MANTENIMIENTO?.....	20
4.2.2 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO.....	20
4.2.3 TIPOS DE MANTENIMIENTO.....	22
4.3 GENERALIDADES MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD ...	24
4.3.1 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD.....	24
4.3.2 LAS SIETE PREGUNTAS.....	24
4.4 FUNCIONES Y ESTÁNDARES DE FUNCIONAMIENTO.....	25
4.4.1 FUNCIÓN PRIMARIA.....	26
4.4.2 FUNCIÓN SECUNDARIA.....	26
4.4.3 FUNCIONES COMUNES DE PROTECCIÓN.....	26
4.4.4 FALLA FUNCIONALES.....	27
TIPOS DE FALLA FUNCIONAL.....	27
PÉRDIDA TOTAL DE LA FUNCIÓN.....	27
PÉRDIDA PARCIAL DE LA FUNCIÓN.....	27
FUNCIONAMIENTO ERRÓNEO.....	27
4.4.5 MODOS DE FALLAS.....	27
CATEGORIAS DE MODO DE FALLAS.....	27
EFFECTOS DE FALLA.....	28

CONSECUENCIA DE FALLA.....	28
4.4.6 ANALISIS DE CRITICIDAD .....	29
5. METODOLOGIA MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD .....	30
5.1 PREPARACIÓN DEL ESTUDIO .....	30
5.2 RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS .....	31
5.3 TAXONOMIA DEL VOLCADOR SAUR.....	32
5.4 DEFINICIÓN DE FRONTERAS DEL SISTEMA HIDRAULICO.....	33
5.5 CONTEXTO OPERACIONAL DE LA BOMBA DE UN VOLCADOR SAUR ...	35
5.6 FUNCIONES Y ESTANDARES DE FUNCIONAMIENTO .....	38
5.6.1 CLASIFICACIÓN Y LISTADO DE LAS FUNCIONES .....	39
5.7 CRITICIDAD, MODOS Y EFECTOS DE FALLA DEL EQUIPO.....	41
5.7.1 ANÁLISIS DE FALLAS FUNCIONALES .....	41
5.7.2 FALLA TOTAL Y PARCIAL .....	41
LÍMITES SUPERIORES E INFERIORES.....	42
5.8 MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF).....	43
5.8.1 MODOS DE FALLA DE BOMBA HIDRAULICA M2006A.....	43
5.8.2 EFECTOS DE LAS FALLAS.....	48
5.9 ANÁLISIS DE CRITICIDAD EN LA BOMBA HIDRÁULICA Y CONSECUENCIAS DE SUS FALLAS.....	54
6 DETERMINACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO .....	58
6.1 ÁRBOL LÓGICO DE DECISIONES (ALD) .....	58
6.2. HOJA DE DECISIONES DE RCM.....	58
6.3. ACTIVIDADES Y FRECUENCIAS DE MANTENIMIENTO.....	61
7. CONCLUSIONES.....	64
8. RECOMENDACIONES.....	65
BIBLIOGRAFÍA .....	68

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1 Ejemplo Matriz de Criticidad. ....	29
Cuadro 2 Matriz de Habilidades y Conocimientos del Grupo RCM. ....	31
Cuadro 3 Condiciones operacionales. ....	37
Cuadro 4 Definición de función principal de la bomba. ....	39
Cuadro 5 Funciones primaria y secundaria de la bomba. ....	40
Cuadro 6 Fallos funcionales de la bomba. ....	42
Cuadro 7 Fallos funcionales de la bomba. ....	43
Cuadro 8 Modos de fallas de la bomba F1. ....	44
Cuadro 9 Modos de fallas de la bomba F1 continuación. ....	45
Cuadro 10 Modos de fallas de la bomba F1 continuación. ....	45
Cuadro 11 Modos de fallas de la bomba F1 continuación. ....	46
Cuadro 12 Modos de fallas de la bomba F1 continuación. ....	46
Cuadro 13 Modos de fallas de la bomba F2. ....	47
Cuadro 14 Modos de fallas de la bomba F2 continuación. ....	47
Cuadro 15 Descripción de los modos de fallas de la bomba F1. ....	49
Cuadro 16 Descripción de los modos de fallas de la bomba F1 continuación. ....	50
Cuadro 17 Descripción de los modos de fallas de la bomba F1 continuación parte 2. ....	51
Cuadro 18 Descripción de modos de fallas de la bomba F1 continuación parte 3. ....	52
Cuadro 19 Descripción de los modos de fallas de la bomba F2. ....	53
Cuadro 20 Consecuencias matriz de criticidad. ....	55
Cuadro 21 Matriz de criticidad bomba hidráulica. ....	56
Cuadro 22 Riesgos de la bomba hidráulica debido al análisis de criticidad. ....	57
Cuadro 23 Hoja de decisiones para algunos MF de F1. ....	59
Cuadro 24 Hoja de decisiones para algunos MF de F1 parte 2. ....	59
Cuadro 25 Hoja de decisiones para algunos MF de F1 parte 3. ....	60
Cuadro 26 Hoja de decisiones para algunos MF de F2. ....	60
Cuadro 27 Hoja de decisiones para algunos MF de F2 parte 2. ....	61
Cuadro 28 Actividades, frecuencia y recursos para mantenimiento de la bomba hidráulica. ....	62
Cuadro 29 Actividades, frecuencia y recursos para mantenimiento de la bomba hidráulica parte 2. ....	63
Cuadro 30 Presupuesto para el sistema redundante. ....	65
Cuadro 31 Formato de Inspección unidad hidráulica del volcador de camiones SAUR. ....	66

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Evolución del mantenimiento.....	22
Figura 2 Tipos de mantenimiento.....	22
Figura 4 Organigrama del grupo RCM.....	31
Figura 5 Diagrama Jerárquico del sistema del volcador de camiones SAUR.....	33
Figura 6 Circuito hidráulico del volcador SAUR.....	34
Figura 7 Diagrama de entradas y salidas de la bomba de estudio.....	34
Figura 8 Plataforma de descarga.....	35
Figura 9 Elementos Volcador SAUR.....	36
Figura 10 Equipos de protección.....	67

## RESUMEN

**TÍTULO:** DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD A UNA BOMBA DE UN VOLCADOR DE CAMIONES SAUR EN CARBOSAN LTDA<sup>1</sup>.

**AUTORES:** CAYO CLAUDIO CABALLERO CHARRIS – JEISON JOSÉ SÁNCHEZ GONZÁLEZ<sup>2</sup>.

**PALABRAS CLAVES:** Bomba hidráulica, mantenimiento centrado en confiabilidad, confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad, sistema hidráulico.

### DESCRIPCIÓN:

La presente monografía se realiza con la intención de plantear un plan de mantenimiento orientado a la optimización de la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de uno de los equipos más críticos de un volcador de camiones SAUR en la empresa *carbosan LTDA* ubicada en el puerto marítimo de la ciudad de Santa Marta.

Se realiza un diseño de un plan de mantenimiento basado en la metodología de mantenimiento basado en confiabilidad, por sus siglas en inglés RCM, a una bomba hidráulica de paletas haciendo uso del método AMEF (Análisis de modos de falla y efectos) con el objetivo de optimizar los costos de mantenimiento reduciendo la cantidad de mantenimientos correctivos e incrementar la confiabilidad de dicho equipo para así manejar los índices de mantenimiento en los valores determinados por la empresa.

Para la realización del plan de mantenimiento se tiene en cuenta las condiciones operacionales, la taxonomía, las funciones, los modos y efectos de fallas presentes en el sistema hidráulico del volcador de camiones SAUR. Por otro lado, se tiene que la empresa *carbosan LTDA* no presenta un plan de mantenimiento razón por la cual los costos de mantenimientos son excesivamente altos por lo que conlleva a realizar recomendaciones para controlar dicho costo.

---

<sup>1</sup> Monografía de grado.

<sup>2</sup> Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en gerencia de mantenimiento. Director: José López Mozo, ingeniero mecánico.

## SUMMARY

**TÍTULO:** DESIGN OF A RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE PLAN TO A PUMP OF A TRUCK DUMPER SAUR IN CARBOSAN LTDA<sup>1</sup>.

**AUTHORS:** CAYO CLAUDIO CABALLERO CHARRIS – JEISON JOSÉ SÁNCHEZ GONZÁLEZ<sup>2</sup>.

**KEY WORDS:** hydraulic pump, reliability centered maintenance, maintainability, reliability, availability, hydraulic system.

**DESCRIPTION:**

The present monograph is made with the intention of proposing a maintenance plan aimed at optimizing the reliability, availability and maintainability of one of the most critical equipment of a SAUR truck dumper in the company carbosan LTDA located in the seaport of the city of Santa Marta, Magdalena department.

A design of a maintenance plan based on reliability based methodology, for its acronym in english RCM, is made to a hydraulic vane pump using the AMEF method (Analysis of a failure modes and effects) with the objective of optimize maintenance costs by reducing the amount of corrective maintenance and increase the reliability of said equipment to manage the maintenance rates in the values determined by the company.

To carry out the maintenance plan, the operational conditions, taxonomy, functions. Modes and effects of faults present in the hydraulic system of the SAUR truck dumper are taken into account. On the other hand, the company carbosan LTDA does not present a maintenance plan, which is why the maintenance cost are excessively high, which leads to making recommendations to control this cost. Finally, some suggestions are made in the design of the hydraulic system and for maintenance personnel (check list, personal protection items, etc.).

---

<sup>1</sup> Grade Monograph.

<sup>2</sup> Faculty of mechanical engineering. School of mechanical engineering. Maintenance management specialization. Director: José López Mozo, Mechanical engineer.

## **INTRODUCCIÓN**

En la especialización en gerencia de mantenimiento la cual hace parte del programa de posgrados de ingeniería mecánica de la universidad industrial Santander, se lleva a cabo la selección de un problema de mantenimiento para el desarrollo de una monografía donde se logre colocar en práctica los conocimientos obtenidos durante el tiempo del curso.

El objetivo de ésta monografía es desarrollar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para una bomba del sistema hidráulico de un volcador de camiones SAUR el cual pertenece a la empresa carbosan Ltda en Santa Marta, para optimizar los costos de mantenimiento y aumentar la confiabilidad de la bomba.

La metodología que se utiliza para el desarrollo de ésta monografía es el mantenimiento centrado en confiabilidad, para que su aplicación sea eficaz, se requiere conocer el equipo, tener conocimiento de las fallas y modos de fallas de éste, para así aplicar una serie de actividades programadas que permitan prevenir fallas, mantener la Disponibilidad y aumentar confiabilidad del mismo.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La operadora de carbón de Santa Marta *Carbosan Ltda.*, es la filial de la sociedad portuaria de Santa Marta encargada de realizar las operaciones de carbón al interior del terminal portuario que presta servicios de Recibo, Acopio y Cargue directo a buque de carbón con capacidad de exportación de 6 millones de toneladas anuales con un costo por tonelada cargada en buque de 7,35 dólares para el 2018. En su sistema de recibo dispone de 5 volcadores de camiones SAUR de fabricación brasileño, en el acopio cuenta con dos patios que suman una capacidad de 250.000 toneladas de carbón, en su sistema de cargue dos líneas de transporte con capacidad de 1800 y 2200 ton/h y un cargador de buque radial con sistema spout o tipo banana para llenado de bodegas lo que lo hace atractivo y ambientalmente sostenible.

Un volcador de camiones tiene una capacidad de 80 ton para carbón, ángulo de elevación 55 grados y rendimientos de volcado de 6 camiones por hora, lo que permite recibir un mínimo de 200 ton promedio por hora, es decir, 4000 toneladas por día en una operación de 20 horas en promedio. Dentro de los componentes más importantes y costosos se encuentra el aceite hidráulico, la Bomba, los cilindros de levante, las válvulas y el motor; Estos inciden directamente en la pérdida de la función del sistema hidráulico de un volcador de carbón SAUR.

Según los datos registrados desde el 2012 se evidencian elevados costos de mantenimiento y gran volumen de tareas no programadas los cuales no han sido efectivos, generando situaciones inesperadas que refleja un deficiente plan de mantenimiento.

Lo anterior plantea un problema en la productividad de la empresa debido a los altos niveles de contaminación ya sea por partículas o químicos en el aceite hidráulico, uso de bomba diferente al seleccionado en el diseño, cilindros con tasa de fallas frecuentes y fugas constantes generan un impacto negativo de costos de mantenimiento.

Para aumentar la fiabilidad del volcador de camiones y mantener los indicadores de disponibilidad sobre el 94% según los objetivos trazados por la gerencia de mantenimiento se requiere diseñar un plan de mantenimiento implementando una metodología basada en mantenimiento centrado en confiabilidad o RCM aplicado a los componentes identificados como críticos.

Dentro de este contexto se ha seleccionado la bomba M2006A del volcador de camiones con código del equipo VC101A como objeto de estudio, resultado de un análisis de Pareto. El diseño de la metodología basada en RCM establecerá actividades programadas de modo que le permita a la empresa optimizar los costos de mantenimiento, resaltar el compromiso con el medio ambiente y mejorar la seguridad e integridad mecánica de la máquina.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad a la Bomba M2006A del Volcador de carbón SAUR VC101A identificando sus funciones, estándares de funcionamiento y actividades que hacen que su operación genere valores elevados de mantenibilidad , con el propósito de plantear una metodología de mantenimiento que cambie de manera proactiva su valores de desempeño y funcionamiento.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Establecer los estándares de funcionamiento y el contexto operativo de la Bomba.
- b) Realizar un análisis de criticidad y sus consecuencias de los modos y efectos de falla de la bomba como componente crítico.
- c) Actualización del árbol de decisión y las actividades de mantenimiento que permitirán identificar fallas y un proceso de compresión de la bomba.
- d) Disminuir el derrame de aceite en un 10% sobre el suelo para generar un impacto ambiental positivo en el interior de la empresa mejorando su imagen ante los trabajadores y visitantes.
- e) Definir recomendaciones que permitan disminuir los niveles de criticidad de consecuencias económicas altas en la operación de recibo de carbón.
- f) Diseño de un plan de mantenimiento preventivo basado en RCM para la bomba M2006A.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

En los últimos años Carbosan Ltda. Ha tenido que enfrentarse a diferentes tipos de contingencias en la prestación de servicio de recibo del carbón, generando así un excesivo uso de mantenimiento correctivo, siendo el sistema hidráulico del volcador SAUR el de mayor incidencia, las cuales agotan el tiempo de su vida útil. Esto es debido a una mala metodología de mantenimiento donde prácticamente no había una planeación acorde al proceso; elevando los costos de mantenimiento, mano de obra y produciendo un impacto negativo al personal, los clientes y el medio ambiente.

La realidad descrita anteriormente motiva a la elaboración del proyecto en busca de optimizar los costos de mantenimiento, haciendo uso del diseño de una metodología de mantenimiento para poder mantener el indicador inherente en un 94% mejorando la confiabilidad del servicio e ingreso a un mantenimiento de clase mundial.

## 4. MARCO REFERENCIAL

### 4.1. MARCO CONTEXTUAL

**4.1.1. POLÍTICA INTEGRAL DE LA EMPRESA.** La empresa Carbosan Ltda. Ubicada en la sociedad portuaria regional de Santa Marta y filiales, presta los servicios portuarios y logísticos multipropósito en lineamiento con la planeación estratégica y el contexto de la organización, buscando la satisfacción de sus clientes, partes interesadas, la preservación del medio ambiente y la promoción de un ambiente de trabajo seguro para sus trabajadores, usuarios y clientes, fomentando la responsabilidad social empresarial. Los valores de la compañía son la responsabilidad, respeto, colaboración, calidad y dignidad.

En lineamiento con lo anterior, declaramos nuestro compromiso con:

- ✓ Le mejora continua de nuestros sistemas de gestión y su desempeño.
- ✓ La satisfacción de nuestros clientes mediante el cumplimiento de los requisitos predefinidos, revisados y aprobados bajo estándares de calidad internacional.
- ✓ El incremento de la competitividad con la optimización de la infraestructura aumento la capacidad de almacenamiento, mejores ratas en el manejo de cargas e incursión en nuevos negocios.
- ✓ Identificación y valoración de riesgos, peligros, aspectos e impactos ambientales asociados a nuestro proceso y la determinación de sus controles.
- ✓ La protección al medio ambiente, incluida prevención de la contaminación, minimización de emisiones atmosféricas, disminución de consumo de agua y energía y la generación de residuos sólidos.
- ✓ Garantizar ambientes de trabajo seguros a través de la prevención de lesiones personales, accidentes, enfermedades laborales, daños en la propiedad y el impacto socio-ambiental, por tal motivo empleados, contratista y usuarios del puerto deberán cumplir las normas de seguridad integral.
- ✓ Promoción de un comercio seguro cumpliendo los estándares de la norma BASC y código PBIP.
- ✓ Prevención de actividades ilícitas y mejora continua de las condiciones de seguridad de la instalación portuaria y sus zonas de almacenamiento.

- ✓ Desarrollar las competencias de nuestros colaboradores y promover un adecuado clima organizacional con el fin de contar con un talento humano orientado al cumplimiento de objetivos organizacionales.
- ✓ El cumplimiento de los requisitos legales, regulaciones en seguridad, salud ocupacional y ambiente y demás aspectos normativos que la organización suscriba como necesarios para el desarrollo de una operación.
- ✓ El respaldo económico de la organización, para atender los objetivos propuestos en términos de calidad, seguridad, salud ocupacional ambiente y responsabilidad social.

Esta política será comunicada, entendida y aplicada dentro de la organización y estará disponible para las partes interesadas pertinentes, su cumplimiento es un compromiso adquirido por todos los trabajadores de la organización de manera independiente de su forma de contratación o vinculación.

#### **4.1.2. VALORES DE LA COMPAÑÍA**

- ✓ Responsabilidad.
- ✓ Respeto.
- ✓ Colaboración.
- ✓ Calidad.
- ✓ Dignidad.

**4.1.3. MISIÓN.** Prestar servicios portuarios y logísticos multipropósito a la medida de las necesidades de nuestros clientes, prestando servicios especializados ambientalmente sostenibles maximizando la generación de valor para sus accionistas y la sociedad en general.

**4.1.4. VISIÓN.** En el 2018, la SPSM (Sociedad Portuaria de Santa Marta) deberá estar operando las subterminales especializadas, así: Carbón 6 mm ton, líquidos 7,7 mm Brr, gráneles 1,9 mm ton y contenedores 320 m TEUS.

## **4.2. GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO**

**4.2.1 ¿QUÉ ES MANTENIMIENTO?** Habitualmente se define el mantenimiento como una consecuencia de técnicas para conservar instalaciones y equipos en servicio el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento<sup>1</sup>.

**4.2.2 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO.** Durante la historia del mantenimiento éste ha tenido una evolución conforme las necesidades del hombre, por lo que dicha evolución se clasifica por generaciones, donde en éstas categorías el mantenimiento cada vez es más detallado.

La evolución del mantenimiento se ha dado a través de diferentes etapas, siendo la primera de ellas el Mantenimiento reactivo, el cual consistía en realizar reparaciones en caso de averías. Solo se inspeccionaba el equipo cuando se presentaba algún tipo de falla, sin realmente hacer el estudio de ocurrencia de esa falla. Posteriormente, se da lugar al origen del mantenimiento preventivo, el cual, consistía en intervenir las maquinas antes de presentarse la falla, estableciendo intervalos fijos de duración de componentes. Aproximadamente, en los años sesenta se da origen a una nueva etapa de mantenimiento, el mantenimiento productivo, el cual, incluía principios del mantenimiento preventivo, teniendo como valor agregado la inclusión de planes de mantenimiento para toda la vida útil del equipo. Lo cual, básicamente era la optimización de recursos destinados a mejorar la fiabilidad y mantenibilidad de los equipos. Finalmente, sobre los años setenta se

---

<sup>1</sup> GARCIA GARRIDO, Santiago. Organización y gestión integral del mantenimiento. Manual práctico para la implementación de sistemas de gestión avanzados de mantenimiento industrial 2003.

da el origen del mantenimiento productivo total (TPM). El cual incorpora un nuevo concepto, a los anteriores mencionados, y es el mantenimiento autónomo, el cual era realizado por los mismos operarios de producción, logrando una participación activa de todos los empleados en una compañía, incursionando nuevas herramientas e índices de seguimiento a los planes de mantenimiento como lo fueron el Mantenimiento basado en el tiempo y el mantenimiento basado en condiciones. Se ha logrado tener una integración de diferentes conceptos en las etapas de diseño de un elemento como lo son la confiabilidad y la mantenibilidad, resaltando el costo de ciclo de vida desde el diseño hasta la disposición final de activo<sup>1</sup>.

---

<sup>2</sup> VERGARA, Jaime. Introducción conceptos de mantenimiento-gestión de activos, 2012, página 7.

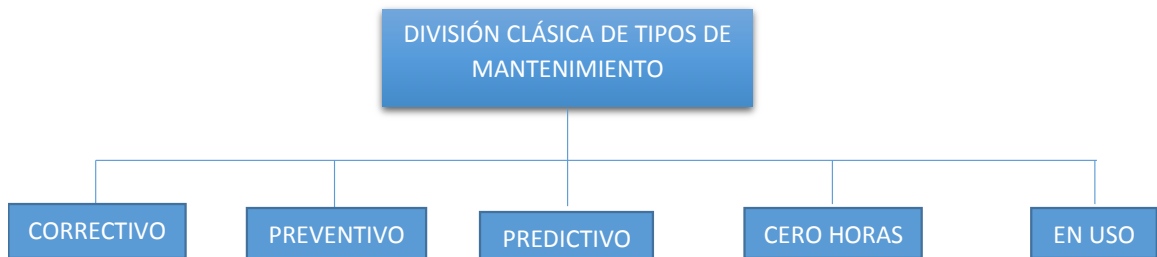
Figura 1 Evolución del mantenimiento.



Fuente: tomada de las notas de clases.

**4.2.3 TIPOS DE MANTENIMIENTO.** Tradicionalmente, el mantenimiento se ha caracterizado por cinco clases que se diferencian entre sí por la importancia de tareas que incluyen.

Figura 2 Tipos de mantenimiento.



Fuente: Manual práctico para la implementación de sistemas de gestión avanzados de mantenimiento industrial.2003.

- **Mantenimiento Correctivo:** Es un conjunto de tareas destinadas a corregir de manera inmediata los defectos o fallas que se presentan en los distintos equipos y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios mismos.
- **Mantenimiento preventivo:** Es el mantenimiento que tiene como principal tarea mantener un nivel de servicio óptimo en los equipos, programando las correcciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno.
- **Mantenimiento predictivo:** Es el mantenimiento que busca conocer e informar de manera permanente el estado y operatividad de las instalaciones y equipos a través de mediciones de variables determinadas representativas de su funcionamiento. Para aplicar este tipo de mantenimiento es necesario identificar variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo.
- **Mantenimiento cero horas:** Es el conjunto de tareas cuya dirección es revisar los equipos cada cierto tiempo antes de que aparezca algún fallo. Consiste en dejar el equipo acero horas, de funcionamiento, es decir, como si el equipo fuera nuevo.
- **Mantenimiento en uso:** Es el mantenimiento básico de un equipo realizado por los usuarios del mismo. Consiste en una serie de tareas elementales (toma de datos, inspecciones visuales, limpieza, lubricación, reapriete de tornillos) para las que no es necesario una gran formación, sino tan solo un entrenamiento breve.

## **4.3 GENERALIDADES MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD**

**4.3.1 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD.** Es una técnica para la elaboración de un plan de mantenimiento basado en fiabilidad. Se Comienza a usarse en el sector de la aviación, donde el elevado costo de mantenimiento a causa de sustituciones de piezas amenazaba con la rentabilidad de las diferentes compañías aéreas. Al obtener excelentes resultados dentro de esta industria, fue implementada en el campo industrial<sup>1</sup>.

Mantenimiento centrado en confiabilidad no solo es una metodología de alta aplicación en la industria donde los activos requieren de una alta disponibilidad y optimización de los costos de operación, sino también con el fin de atender las mayores exigencias que cada día se tiene en aspectos de seguridad y preservación del medio ambiente.

**4.3.2 LAS SIETE PREGUNTAS.** La norma SAE JA1011 dice que un mantenimiento centrado en confiabilidad nos garantiza cuales son las tareas de inspección adecuadas para cualquier activo físico, pero debe cumplir 7 preguntas básicas para poder denominarlo como RCM<sup>2</sup>:

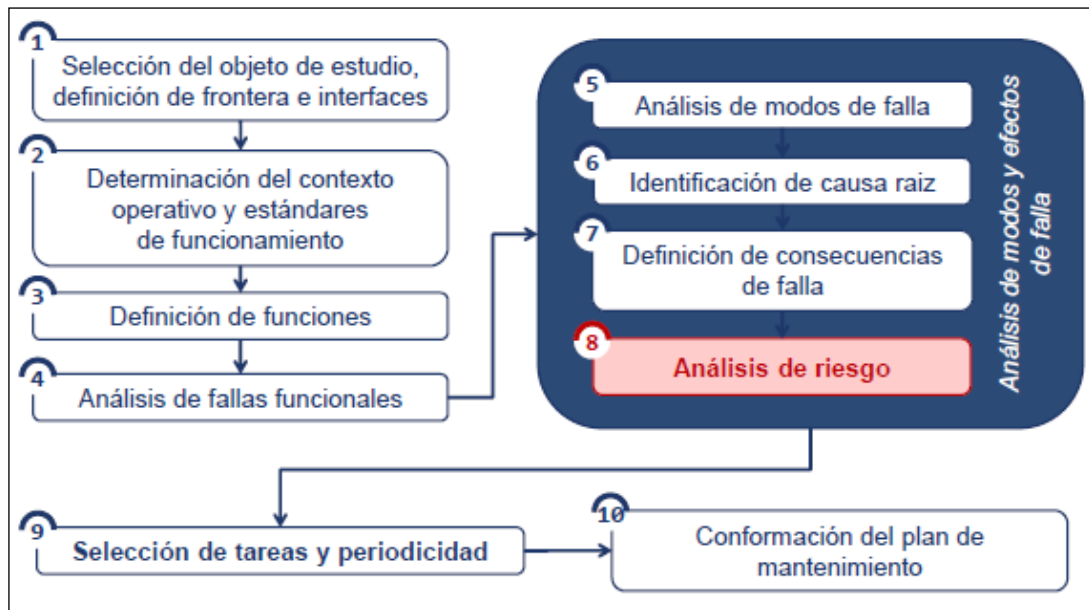
1. ¿Cuáles son las funciones o estándares de ejecución deseados para el equipo que se está analizando?
2. ¿Cuáles son las fallas funcionales del equipo?
3. ¿Cuáles son las posibles causas de las fallas funcionales?
4. ¿Cuáles son los efectos de cada una de las fallas?
5. ¿Cuáles son las consecuencias de cada una de las fallas?
6. ¿Qué se puede hacer para predecir o prevenir la falla?
7. ¿Qué puede hacerse si no se conoce una tarea para evitar la falla?

---

<sup>1</sup> GARCIA GARRIDO, Santiago. Organización y gestión integral del mantenimiento. Manual práctico para la implementación de sistemas de gestión avanzados de mantenimiento industrial 2003.

<sup>2</sup> Norma SAE JA1011. Criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrado en confiabilidad.

Figura 3 Diagrama de flujo de RCM.



Fuente: ORTIZ, daniel. El metodo: Diagrama de flujo del RC.



Teniendo en cuenta la definición planteada, surge el concepto de estándar de funcionamiento, el cual, se define de la siguiente manera:

- ✓ Definir las funciones que el usuario quiere que realice el activo.
- ✓ Definir la capacidad propia del activo.

Existen tres tipos de funciones las cuales se ajustan de acuerdo al contexto operacional en que sean requeridas. Las funciones, son el principal paso para la realización de un mantenimiento basado en confiabilidad y se definen así:

**4.4.1 FUNCIÓN PRIMARIA.** Se define como función primaria por ser la razón más importante por la que es adquirido el activo físico, es decir, son las razones por las cuales existe el activo, por lo general son variables identificables con el nombre de éste. Para la mayoría de los activos, se relaciona con función primaria términos como velocidad, capacidad de almacenamiento y volumen<sup>10</sup>.

**4.4.2 FUNCIÓN SECUNDARIA.** Las funciones secundarias son aquellas menos obvias pero que su falla puede originar grandes consecuencias, en ocasiones hasta más severas que la pérdida de una función principal<sup>11</sup>.

**4.4.3 FUNCIONES COMUNES DE PROTECCIÓN.** Son funciones que se asignan como prevención, mediante la anticipación a situaciones peligrosas. Generalmente, son alarmas o avisos generados en el equipo, como muestra de que algo no anda bien.

---

<sup>10</sup> ORTIZ, Daniel. El método, Diagrama del flujo de RCM. Especialización gerencia de mantenimiento. Barranquilla. Universidad Del Santander.

<sup>11</sup> NOWLAN, F.STANLEY. Reliability-Centered Maintenance. United Airlines San Francisco, California.

**4.4.4 FALLA FUNCIONALES.** La norma SAE JA1011 define una falla como el estado de un activo en el cual no puede realizar una función determinada con un nivel de desempeño deseable.

#### **TIPOS DE FALLA FUNCIONAL**

**PÉRDIDA TOTAL DE LA FUNCIÓN.** Es la capacidad del activo que se deteriora lo suficiente como para caer debajo del funcionamiento óptimo.

**PÉRDIDA PARCIAL DE LA FUNCIÓN.** Es la situación en la que el activo, habiéndose deteriorado significativamente, aun esta sobre el nivel de funcionamiento requerido por el usuario.

**FUNCIONAMIENTO ERRÓNEO.** Estado en el cual el activo se encuentra funcionando bien, no ha corrido a falla pero sus resultados no son los esperados.

**4.4.5 MODOS DE FALLAS.** Los modos de fallas suelen definirse como un evento que puede ocasionar la falla funcional de un activo físico. Es de resaltar, que para toda manifestación de los modos de fallas, deben ser manejados antes de que ocurra, o por lo menos deben saber cómo debería ser manejado. una vez un modo de falla ha sido identificado es posible considerar que sucede cuando ésta ocurre, evaluar consecuencias y decidir si debiera hacerse algo para anticipar, prever, detectar, corregir o hasta rediseñar.

#### **CATEGORIAS DE MODO DE FALLAS**

- ✓ Cuando la capacidad cae por debajo del funcionamiento detectado
- ✓ Cuando el funcionamiento deseado se eleva encima de la capacidad inicial
- ✓ Cuando desde el comienzo el activo físico es capaz de hacer lo que se quiere.

**EFFECTOS DE FALLA.** Los efectos de la fallas describen que sucede cuando ocurre un modo de falla. La descripción de estos efectos debe incluir toda la información necesaria con la finalidad de aportar en la investigación de una falla. Al describir los efectos de una falla, debe estar presente la siguiente información<sup>12</sup>:

- ✓ La evidencia de que se ha producido una falla.
- ✓ Registros de que la falla puede convertirse en una amenaza para la seguridad o medio ambiente.
- ✓ La manera en que se afecta la falla el contexto operacional.
- ✓ Los daños físicos producidos por la falla.
- ✓ Pasos a seguir para reparar la falla.

Los efectos de las falla debe ser bien descritos, para permitirle a las personas encargadas del RCM, si en condiciones normales de operación, es evidente para el equipo de trabajo observar la perdida de una función a causa del modo de falla.

**CONSECUENCIA DE FALLA.** La consecuencia de falla genera una afectación a la compañía debido a que incrementa costos operativos debido a que se afecta la producción, calidad del producto, un cliente, la seguridad, el medio ambiente. Una consecuencia de falla se define como la descripción de cómo y cuánto importa la afectación de un proceso. Si la consecuencia es seria, entonces se realizan esfuerzos para evitar, eliminar i minimiza las consecuencias. Por otro lado, si la consecuencia es menor, simplemente una vez ocurra la falla se realiza la respectiva reparación. Dentro de un RCM para cada consecuencia, debe existir una tarea proactiva que sea físicamente posible de realizar, con el fin de reducir esa consecuencia y no se vea afectada la integridad de la compañía.

Existen diferentes tipos de consecuencias de acuerdo al tipo de función evidente u oculta que se presente. A continuación se presenta la relación de cada una:

- ✓ Consecuencia a raíz de una falla oculta

---

<sup>12</sup> MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad.2000.

- ✓ Consecuencia para la seguridad y el medio ambiente
- ✓ Consecuencia operacionales
- ✓ Consecuencias no operacionales

**4.4.6 ANALISIS DE CRITICIDAD.** Las fallas tienen algún efecto, grande o pequeño pero siempre lo tiene. No existe nada gratis o algo que no genere alguna consecuencia.

El análisis de efectos inicia con una descripción de que le sucede al equipo que falla. Con ésta descripción se puede analizar la importancia de cada falla y determinar cuáles son los modos de falla críticos que merecen la pena una tarea de mantenimiento o, incluso, un rediseño inmediato.

Sin embargo, cuando se expresa lo más completa posible puede llegar a reñir con lo más práctico, si no se tiene cuidado. Decir completo no quiere decir alta precisión en los valores de las consecuencias sino identificar la mayor cantidad de efectos con la magnitud del impacto definido en niveles preconcebido, tal como se aplica en las matrices de valoración de riesgos.

Cuadro 1 Ejemplo Matriz de Criticidad.

OCURRENCIA		Nivel de Riesgo					
Catastrófico	1	10	20	40	60	80	100
Critico	2	8	16	32	64	64	80
Marginal	3	4	8	16	32	32	60
Insignificante	4	2	4	8	16	16	40
Ninguno	5	1	2	4	6	8	10
		Consecuencia					

*Fuente:* GARCIA GARRIDO, Santiago. Manual práctico para la implementación de sistemas de gestión avanzados de mantenimiento industrial 2003.

Además, La valoración del riesgo se realiza con los siguientes datos

$$\text{Riesgos} = \text{Ocurrencia (probabilidad)} \times \text{severidad (consecuencias)}$$

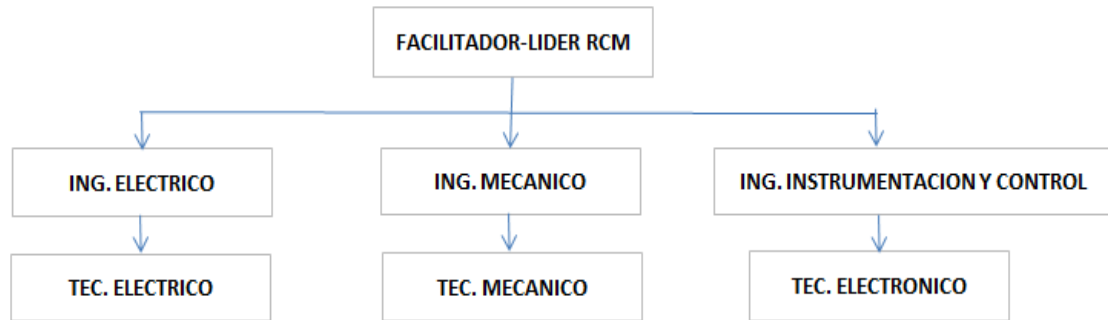
## **5. METODOLOGIA MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD**

Básicamente la metodología se trata de responder a las 7 preguntas en su orden, pero cada respuesta conlleva de diferentes tareas y tener conocimiento de los equipos o sistemas a analizar. En primera instancia se requiere la conformación de un equipo de trabajo, donde se define que se quiere alcanzar con la aplicación del RCM, además Se necesita la obtención de la información operativa del sistema hidráulico del volcador SAUR, a través de los manuales de partes y operación, para así conocer toda la información técnica y las condiciones de operación de los diferentes elementos. Para el diseño del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad se usara la metodología AMEF, donde se comienza por establecer los límites del sistema hidráulico, para organizar las entradas y salidas del subsistema a trabajar. En seguida se desglosa ese subsistema para así determinar el nivel de criticidad.

### **5.1 PREPARACIÓN DEL ESTUDIO**

Para caracterizar las funciones y parámetros de funcionamiento del equipo, y así establecer un estándar de funcionamiento, en primera instancia se conformara un grupo multidisciplinario de 7 personas en representación de la compañía, compuesto por Ingenieros especialistas en mantenimiento y técnicos con mínimo 7 años de experiencia, las cuales aportaran su conocimiento, vivencias y realizaran la recolección de información técnica y operativa de la Bomba en el desarrollo del proyecto. En la figura 1 se presenta un esquema del equipo sugerido.

Figura 3 Organigrama del grupo RCM.



Fuente: Los autores de la monografía.

Cuadro 2 Matriz de Habilidades y Conocimientos del Grupo RCM.

HABILIDADES Y CONOCIMIENTOS REQUERIDAS		NIVEL DE COMPETENCI	Descripcion del Nivel	LIDER RCM	ING. ELECTRIC	ING. ELECTRONI	ING. MECANIC	TEC. MECANIC	TEC. ELECTRICIST	TEC. ELECTRONIC
T E C N I C A M E N T E	• HIDRAULICA	Nivel 0	No Sabe							
		Nivel 1	Sabe							
		Nivel 2	Hace Acompañado							
		Nivel 3	Hace Solo							
		Nivel 4	Enseña/Mejora							
	• ELECTROTECNIA	Nivel 0	No Sabe							
		Nivel 1	Sabe							
		Nivel 2	Hace Acompañado							
		Nivel 3	Hace Solo							
		Nivel 4	Enseña/Mejora							
	• CONTROL E INSTRUMENTACION INDUSTRIAL	Nivel 0	No Sabe							
		Nivel 1	Sabe							
		Nivel 2	Hace Acompañado							
		Nivel 3	Hace Solo							
		Nivel 4	Enseña/Mejora							
	• MANTENIMIENTO - METODOLOGIA RCM	Nivel 0	No Sabe							
Nivel 1		Sabe								
Nivel 2		Hace Acompañado								
Nivel 3		Hace Solo								
Nivel 4		Enseña/Mejora								

Fuente: Los autores de la monografía.

## 5.2 RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

Actualmente el área de mantenimiento de la empresa carbosan Ltda. No tiene un plan de mantenimiento, con insuficientes históricos de fallas de las Bombas tipo

Paleta de los volcadores de camiones SAUR. Como Repuesta ante algún problema en el sistema Hidráulico del Volcador de camiones el departamento de mantenimiento aplica mantenimiento correctivo una vez el componente llega a la falla y dispone de mínimo una bomba en su almacén para reemplazar la que salió de funcionamiento. La bomba retirada es dada de baja como activo.

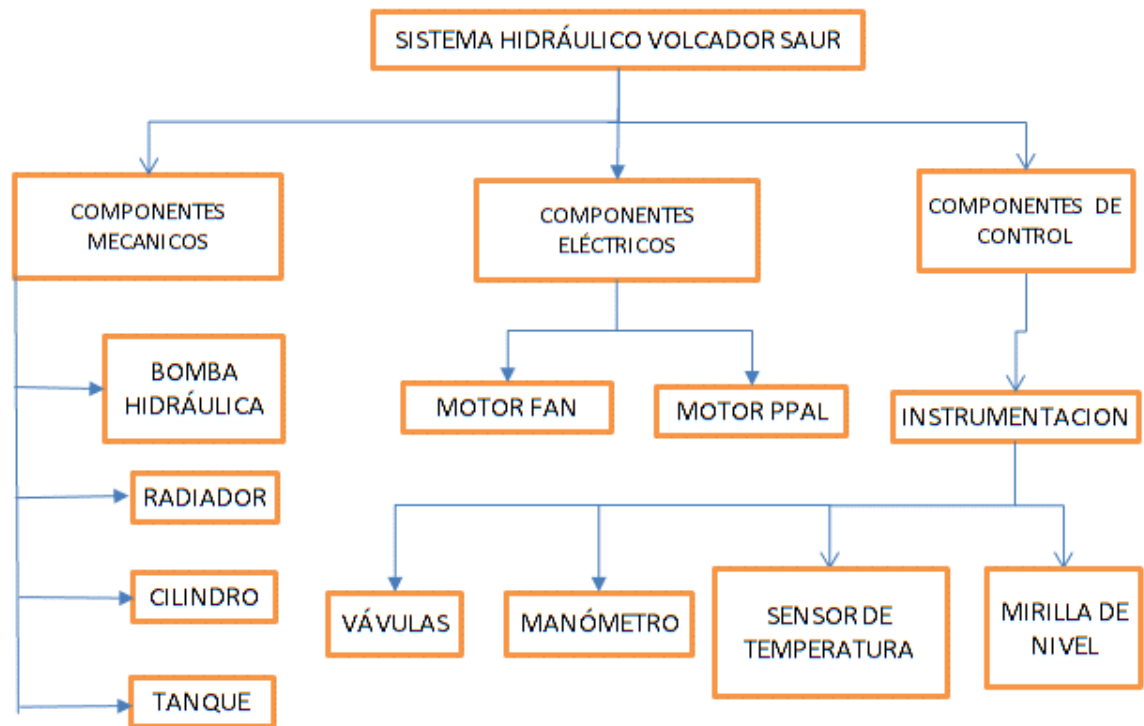
A la fecha, no se ha realizado un estudio que evalúe la criticidad de los componentes del activo y por tanto establezca la periodicidad de sustituciones programadas, tareas a condición o reacondicionamientos cíclicos con base al funcionamiento y vida útil de los componentes. Pero se tiene disponible datos de diseños y operación del sistema:

- ✓ Manual del Volcador SAUR
- ✓ Hoja de Especificaciones Técnicas de la Bomba Hidráulica 45 VQ 50GL Marca: PARKER / VICKERS CON EJE DE 1"1/2.
- ✓ Esquemas y planos del circuito hidráulico de un Volcador SAUR.
- ✓ Disponibilidad de Repuestos en almacén
- ✓ Cotización y tiempo de entrega de la Bomba
- ✓ Evaluación de competencias del personal de mantenimiento en bombas hidráulicas tipo paletas.
- ✓ Especificaciones técnicas del Aceite hidráulico.
- ✓ Especificaciones técnicas del Motor Eléctrico.

### **5.3 TAXONOMIA DEL VOLCADOR SAUR**

El volcador de camiones SAUR tiene un sistema hidráulico para su funcionamiento, se agrupa como subsistemas: componentes mecánicos, componentes eléctricos y componentes de control, en los componentes mecánicos se destaca la bomba hidráulica ya que es el elemento de estudio de la presente monografía.

Figura 4 Diagrama Jerárquico del sistema del volcador de camiones SAUR.

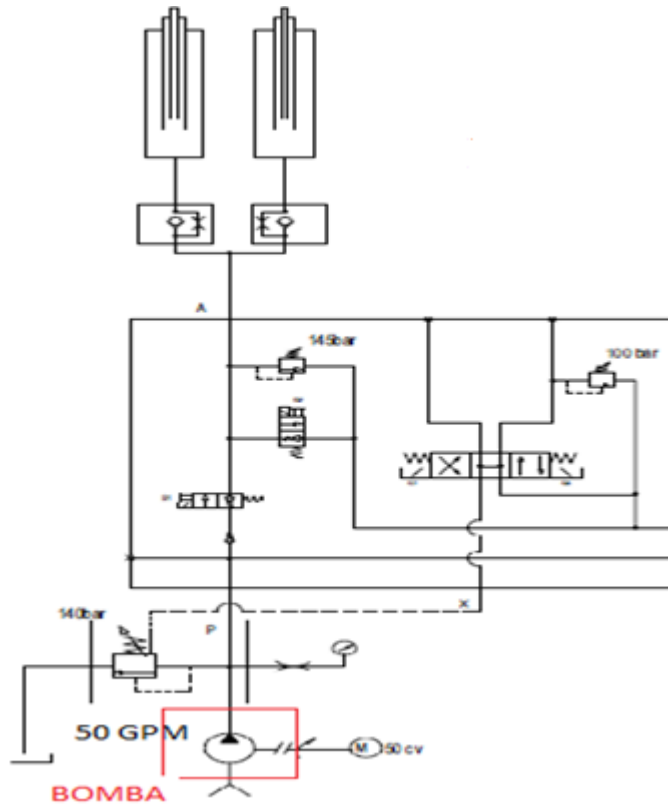


*Fuente: Los autores de la monografía.*

#### 5.4 DEFINICIÓN DE FRONTERAS DEL SISTEMA HIDRAULICO

En la figura 8 se muestra la frontera de trabajo del circuito hidráulico del volcador de camiones SAUR. Como se ha definido a lo largo de la presente monografía el objeto de estudio es la bomba hidráulica, objeto obtenido previamente como uno de los más críticos a través de un análisis de Pareto el cual presentaba mayor alto de intervención mecánica según los pocos históricos de fallos e intervenciones.

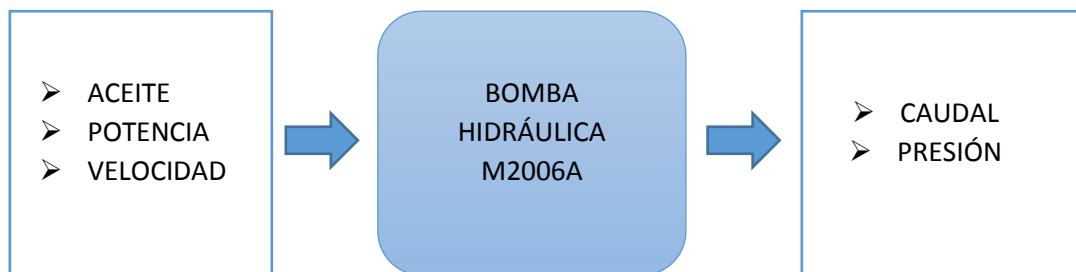
Figura 5 Circuito hidráulico del volcador SAUR.



Fuente: Manual técnico del volcador SAUR.

Se procede a definir las entradas y salidas de la bomba hidráulica.

Figura 6 Diagrama de entradas y salidas de la bomba de estudio.

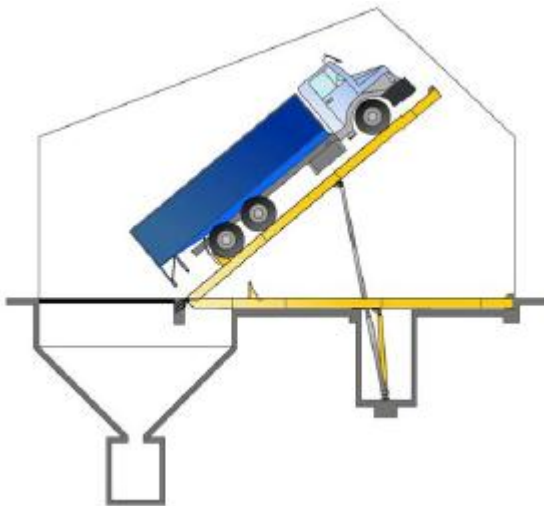


Fuente: Los autores de la monografía.

### 5.5 CONTEXTO OPERACIONAL DE LA BOMBA DE UN VOLCADOR SAUR

El volcador de camiones SAUR posee una plataforma de descarga, conocida como tumbador, ha sido diseñado para descargar con rapidez, eficiencia y seguridad camiones con eje sencillo o doble. El proceso de descarga es efectuado en aproximadamente 4 minutos, lo que se reduce considerablemente la espera de los camiones por descarga en la empresa carbosan Ltda.

Figura 7 Plataforma de descarga.



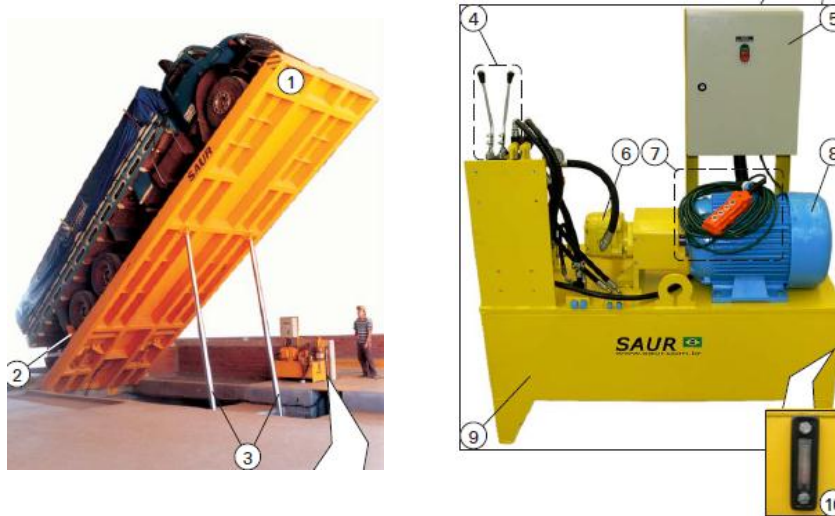
Fuente: Manual técnico del volcador de camiones SAUR.

Identificación general de componentes:

1. Plataforma de descarga.
2. Traba de las ruedas.
3. Cilindros hidráulicos.
4. Mandos por palancas del sistema de descarga.
5. Tablero eléctrico.
6. Bomba hidráulica.
7. Control remoto del sistema de descarga.

8. Motor eléctrico.
9. Deposito del sistema hidráulico.
10. Visor de nivel y temperatura de aceite hidráulico.
11. Bocal de llenado del sistema hidráulico.

Figura 8 Elementos Volcador SAUR.



Fuente: Manual técnico del volcador SAUR.

Por otro lado las Bombas funcionan en promedio de 20 horas por día los 7 días de la semana, operados en 2 turnos de 12 horas cada uno, con supervisores e ingenieros que controlan la operación, operadores en el cuarto de control y mecánicos de turno disponibles. La bomba determina el rendimiento operacional de recibo de carbón permitiendo volcar 6 mulas/hora lo que implica que el proceso de descarga de mulas con carbón es efectuado en ciclos aproximadamente de 4 minutos, lo que reduce considerablemente la espera de los camiones. Por su criticidad se tiene una medida arbitraria de disponibilidad mínimo 1 unidad en Stock-almacén.

Las Bombas hidráulicas se encuentran instaladas y operativas en la intemperie donde la temperatura ambiente son superiores a 30 grados centígrados, lluvias y vientos salinos por la cercanía al mar, expuestos a la corrosión, Humedad y Polvillo de carbón. Deben Garantizar Hermeticidad para evitar derrames de aceite hidráulico que ocasione daños a las personas y al ecosistema (suelo terrestre y marino).

El mal funcionamiento o paradas no programadas del equipo impactan negativamente la producción lo que conlleva a retrasos e incumplimiento reflejados en multas por parte de los clientes, afectando directamente los indicadores operacionales y de mantenimiento. A continuación se presenta un cuadro donde resume las condiciones operacionales de la bomba hidráulica.

Cuadro 3 Condiciones operacionales.

<b>CONDICIONES OPERACIONALES</b>		
<b>ACTIVIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>
Caudal	64	Gal/min
Presión	125	BAR
Tiempo de Operación	20	H
Temperatura Ambiente	35	c
Aceite Hidráulico	Móvil DTE26	-
Velocidad Máxima	1775	RPM

Fuente: Los autores de la monografía.

## 5.6 FUNCIONES Y ESTANDARES DE FUNCIONAMIENTO

Todos los elementos de estudio tienen por sí mismos una función que cumplir dentro de cualquier proceso. Su pérdida llega a afectar la disponibilidad con la consecuente pérdida económica, daño a las personas o afectación al medio ambiente.

La norma IEC 60300 define función como la “acción normal característica de un ítem”. Pero esto solo indica su función principal por la cual se adquirió o por la que se identifica.

En la definición y análisis la regla de redacción de las funciones debe cumplir con la siguiente definición:

*Verbo + Sujeto (Cerrar flujo, contener fluido, transmitir señal, comprimir aire, bombear agua) + Complemento cualitativo / cuantitativo*

Según lo anterior se definen las funciones y estándares de funcionamiento de la bomba hidráulica, la cual se tiene que las funciones principales son bombear el aceite hidráulico dentro de las condiciones de operación, es decir, debe ser mínimo 55 galones por minutos a una velocidad de rotación y presión de 1775 RPM y 125 Bar respectivamente, además debe contener el aceite de manera hermética para no tener caída de presión y por supuesto cero contaminación del medio ambiente y así garantizar la seguridad de los empleados.

Cuadro 4 Definición de función principal de la bomba.

COMPONENTE	INFORMACION TÉCNICA	FUNCION-ESTANDARES DE FUNCIONAMIENTO
<p>BOMBA HIDRAULICA M2006A</p>	<p>Entrega US 50 gpm (189L/min) a 1200 RPM-7 Bar. Velocidad máx. 2200 RPM Presión Max : 175 Bar(2500 PSI) Entrega 79 gpm (303,8 L/min) a máx. Velocidad y Max Presión. Entrada Potencia 105,2 KW (141HP) a máx. Velocidad y máx. Presión. Peso : 34 Kg (75 lb) tipo : Paletas Referencia : 45VQ50A</p>	<p>Bombear aceite hidráulico por encima de 55 gpm a 1775 RPM de Velocidad con una presión en un rango de 125 a 140 Bar y contener aceite hidráulico.</p>

Fuente: Los autores de la monografía.

**5.6.1 CLASIFICACIÓN Y LISTADO DE LAS FUNCIONES.** Una vez Definida las funciones de la bomba hidráulica y sus respectivos estándares de funcionamiento, se procede a clasificar y listar dichas funciones en dos categorías: funciones primarias y secundarias, para mayor comprensión. Cabe resaltar que las funciones secundarias normalmente son menos obvias que las funciones primarias, pero la pérdida de una función secundaria también puede tener graves consecuencias, en ocasiones más serias que la pérdida de la función primaria, alguna situación catastrófica.

Dentro del análisis se lista de manera consecutiva y ordenada las funciones de la bomba hidráulica M2006A partiendo de las primarias seguidas de las secundarias,

y nombrando para cada sistema una numeración de la función sucesiva identificada por la letra F. Se definen las funciones secundarias con base a la principal, es decir, la función principal de la bomba está dada en el cuadro anterior, ahora se define dicha función principal en dos partes, una donde la función es bombear con las características enunciadas anteriormente y otra es contener el aceite herméticamente y su respectiva función secundaria donde se especifica de mejor manera dicha actividad.

Cuadro 5 Funciones primaria y secundaria de la bomba.

COMPONENTE	INFORMACION TECNICA	CÓD. FUNCION	FUNCIÓN PRIMARIA	FUNCIÓN SECUNDARIA
BOMBA HIDRAULICA M2006A	Entrega US 50 gpm (189L/min) a 1200 RPM-7 Bar. Velocidad máx. 2200 RPM Presión Max : 175 Bar(2500 PSI) Entrega 79 gpm (303,8 L/min) a máx. Velocidad y Max Presión. Entrada Potencia 105,2 KW (141HP) a máx. Velocidad y máx. Presión. Peso : 34 Kg (75 lb) tipo : Paletas Referencia : 45VQ50A	F1	Bombear aceite hidráulico por encima de 55 gpm y 1775 RPM de Velocidad	Bombear aceite hidráulico por encima de 55 gpm a 1775 RPM de Velocidad y presión en un rango de 125 a 140 Bar
		F2	Contener aceite hidráulico de forma hermética	Contener el aceite hidráulico Móvil DTE26 herméticamente (CERO FUGAS)

Fuente: Los autores de la monografía.

## **5.7 CRITICIDAD, MODOS Y EFECTOS DE FALLA DEL EQUIPO**

Para dar cumplimiento a los Objetivo del proyecto se procede a realizar el método de análisis de modos y efectos de la falla (AMEF) partiendo del listado previo de fallos funcionales, el cuál contesta a la segunda pregunta de la metodología RCM: ¿De qué maneras puede fallar el activo al cumplir sus funciones?.

**5.7.1 ANÁLISIS DE FALLAS FUNCIONALES.** Para un correcto análisis de fallas funcionales, fue necesario tener en cuenta dos aspectos adicionales que resalta la norma SAE- JA1012, los cuales son:

**5.7.2 FALLA TOTAL Y PARCIAL.** Las fallas funcionales que representan la falla total de la función son relativamente fáciles de identificar. En el cuadro 6, la función “Bombear 64 gpm de aceite hidráulico a 1775 RPM y presión de 125-140 bar.”: puede presentar dos fallas funcionales diferentes, una falla total, en donde el equipo no bombea aceite hidráulico en lo absoluto deteniendo por completo la operación e impactando de manera negativa en lo económico y una falla parcial que refleja una disminución de la capacidad del componente o del sistema que para éste caso es menor que 55 gpm. Por otro lado, la función de contener aceite herméticamente no presenta falla parcial, únicamente se puede presentar la función total de que no puede contener el aceite herméticamente debido a que no importa si la fuga es pequeña o grande no está cumpliendo con su función principal.

Las fallas parciales necesitan identificarse separadamente porque ellas son causadas casi siempre por modos de falla diferentes de las fallas totales, y porque las consecuencias casi siempre son también diferentes. En el siguiente cuadro, número 6, se observa las fallas funcionales parciales y totales de la bomba hidráulica.

Cuadro 6 Fallos funcionales de la bomba.

Cód. Func.	Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional
<b>F1</b>	Bombear aceite hidráulico por encima de 55 gpm a 1775 RPM de Velocidad y presión en un rango de 125 a 140 Bar	1A	Bombear menos de 55 GPM a 1775 RPM de velocidad y una presión por debajo de 125 BAR
<b>F1</b>	Bombear aceite hidráulico por encima de 55 gpm a 1775 RPM de Velocidad y presión en un rango de 125 a 140 Bar	1B	No Bombea
<b>F2</b>	Contener aceite hidráulico	2A	No contiene el aceite hidráulico herméticamente

Fuente: Los autores de la monografía.

**LÍMITES SUPERIORES E INFERIORES.** Los estándares de desempeño asociados con algunas funciones incorporan límites superiores e inferiores. Estos límites implican que el activo ha fallado si opera por encima del límite superior o por debajo del límite inferior dentro de su contexto operacional. En estos casos, la demarcación del límite superior necesita ser documentada de manera aislada con respecto a la demarcación del límite inferior. Esto es porque los modos de falla y/o consecuencias asociados cuando se excede el límite superior son generalmente diferentes que cuando se está por debajo del límite inferior.

En el cuadro 7, se muestran las fallas funcionales con límites superiores e inferiores de funcionamiento para el caso de la Bomba Hidráulica donde no se considera límite superior debido al análisis de su operación, es decir, si los gpm de la bomba se encuentran en un rango de 55 hasta 79 que es la máxima, esto no afectaría la operación debido a que sería mucho más rápido el sistema de descargue de los camiones, lo único en consideración es que no sobrepase las rpm para evitar sobrecalentamiento en el conjunto bomba motor; en cambio el

límite inferior se da cuando la bomba deja de bombear menos de 55 gpm por que entra en fallo funcional de acuerdo con su función principal.

Cuadro 7 Fallos funcionales de la bomba.

<b>Cód. Func.</b>	<b>Función</b>	<b>Cód. FF</b>	<b>Descripción Falla Funcional</b>
<b>F1</b>	Bombear aceite hidráulico por encima de 55 gpm a 1775 RPM de Velocidad y presión en un rango de 125 a 140 Bar	1 <sup>a</sup>	Bombear menos de 55 GPM a 1775 RPM de velocidad y una presión por debajo de 125 BAR

Fuente: Autores de la monografía.

## **5.8 MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)**

Según el paso a paso de la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad, siguen las preguntas ¿cuál es la causa de cada falla funcional? y ¿qué pasa cuando ocurre cada falla? las cuales se pueden resolver siguiendo el siguiente proceso.

**5.8.1 MODOS DE FALLA DE BOMBA HIDRAULICA M2006A.** La descripción del modo de falla debe tener como mínimo un sustantivo y un verbo más una descripción del mecanismos de falla. Debido al conocimiento que se tiene del equipo se analizan los modos de fallas más probables que ocurren.

Se tiene un modo de falla para cada falla funcional, debido a que una falla funcional puede tener distintos tipos de modos de falla y se pueden presentar en conjunto o simplemente de manera individual. Para la función principal F1 según su falla funcional que es bombear menos de 55 gpm se pueden presentar 7 modos de fallas los cuales se tienen que tomar en cuenta para correcciones futuras; además para la segunda falla funcional 1B presenta 3 tipos de modo de falla y para la falla funcional 2A presenta 4 tipos de modo de fallas.

Cuadro 8 Modos de fallas de la bomba F1.

<b>Cód. Func.</b>	<b>Función</b>	<b>Cód. FF</b>	<b>Descripción Falla Funcional</b>	<b>Cód. MF</b>	<b>Modo de Falla</b>
<b>F1</b>	Bombear aceite hidráulico por encima de 55 gpm a 1775 RPM de Velocidad y presión en un rango de 125 a 140 Bar	1A	Bombear menos de 55 gpm a 1775 RPM de velocidad y una presión por debajo de 125 BAR	1A1	Sello mecánicos desgastado
<b>F1</b>	Bombear aceite hidráulico por encima de 55 gpm a 1775 RPM de Velocidad y presión en un rango de 125 a 140 Bar	1A	Bombear menos de 55 GPM a 1775 RPM de velocidad y una presión por debajo de 125 BAR	1A2	Paletas desgastadas

Fuente: Autores de la monografía.

Cuadro 9 Modos de fallas de la bomba F1 continuación.

<b>Cód. Func.</b>	<b>Función</b>	<b>Cód. FF</b>	<b>Descripción Falla Funcional</b>	<b>Cód. MF</b>	<b>Modo de Falla</b>
F1	Bompear aceite hidráulico por encima de 55 gpm a 1775 RPM de Velocidad y presión en un rango de 125 a 140 Bar	1A	Bompear menos de 55 GPM a 1775 RPM de velocidad y una presión por debajo de 125 BAR	1A3	Anillo Interno del estator desgastado
F1	Bompear aceite hidráulico por encima de 55 gpm a 1775 RPM de Velocidad y presión en un rango de 125 a 140 Bar	1A	Bompear menos de 55 GPM a 1775 RPM de velocidad y una presión por debajo de 125 BAR	1A4	Sellos mecánicos cristalizados

Fuente: Autores de la monografía.

Cuadro 10 Modos de fallas de la bomba F1 continuación.

<b>Cód. Func.</b>	<b>Función</b>	<b>Cód. FF</b>	<b>Descripción Falla Funcional</b>	<b>Cód. MF</b>	<b>Modo de Falla</b>
F1	Bompear aceite hidráulico por encima de 55 gpm a 1775 RPM de Velocidad y presión en un rango de 125 a 140 Bar	1A	Bompear menos de 55 GPM a 1775 RPM de velocidad y una presión por debajo de 125 BAR	1A5	Rotor desgastado
F1	Bompear aceite hidráulico por encima de 55 gpm a 1775 RPM de Velocidad y presión en un rango de 125 a 140 Bar	1A	Bompear menos de 55 GPM a 1775 RPM de velocidad y una presión por debajo de 125 BAR	1A6	Rodamiento en mal estado

Fuente: Autores de la monografía.

Cuadro 11 Modos de fallas de la bomba F1 continuación.

<b>Cód. Func.</b>	<b>Función</b>	<b>Cód. FF</b>	<b>Descripción Falla Funcional</b>	<b>Cód. MF</b>	<b>Modo de Falla</b>
<b>F1</b>	Bompear aceite hidráulico por encima de 55 gpm a 1775 RPM de Velocidad y presión en un rango de 125 a 140 Bar	1A	Bompear menos de 55 GPM a 1775 RPM de velocidad y una presión por debajo de 125 BAR	1A7	Eje desalineado
<b>F1</b>	Bompear aceite hidráulico por encima de 55 gpm a 1775 RPM de Velocidad y presión en un rango de 125 a 140 Bar	1B	No Bombea	1B1	eje de rotor partido

Fuente: Autores de la monografía.

Cuadro 12 Modos de fallas de la bomba F1 continuación

<b>Cód. Func.</b>	<b>Función</b>	<b>Cód. FF</b>	<b>Descripción Falla Funcional</b>	<b>Cód. MF</b>	<b>Modo de Falla</b>
<b>F1</b>	Bompear aceite hidráulico por encima de 55 gpm a 1775 RPM de Velocidad y presión en un rango de 125 a 140 Bar	1B	No Bombea	1B2	Paletas rotas
<b>F1</b>	Bompear aceite hidráulico por encima de 55 gpm a 1775 RPM de Velocidad y presión en un rango de 125 a 140 Bar	1B	No Bombea	1B3	Retenedores en mal estado

Fuente: Autores de la monografía.

Cuadro 13 Modos de fallas de la bomba F2.

<b>Cód. Func.</b>	<b>Función</b>	<b>Cód. FF</b>	<b>Descripción Falla Funcional</b>	<b>Cód. MF</b>	<b>Modo de Falla</b>
<b>F2</b>	Contener aceite hidráulico	2A	No contiene el aceite hidráulico herméticamente	2A1	carcaza rota
<b>F2</b>	Contener aceite hidráulico	2A	No contiene el aceite hidráulico herméticamente	2A2	TORNILLOS MAL AJUSTADOS

Fuente: Autores de la monografía.

Cuadro 14 Modos de fallas de la bomba F2 continuación.

<b>Cód. Func.</b>	<b>Función</b>	<b>Cód. FF</b>	<b>Descripción Falla Funcional</b>	<b>Cód. MF</b>	<b>Modo de Falla</b>
<b>F2</b>	Contener aceite hidráulico	2A	No contiene el aceite hidráulico herméticamente	2A3	sellos mecánicos desgastados
<b>F2</b>	Contener aceite hidráulico	2A	No contiene el aceite hidráulico herméticamente	2A4	Retenedores en mal estado

Fuente: Autores de la monografía.

**5.8.2 EFECTOS DE LAS FALLAS.** El proceso o metodología del RCM indica que el siguiente paso es contestar a la cuarta pregunta: ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla? En este punto procede a analizar los anteriores modos de falla y se describe las consecuencias que ocurre cuando estos se materializan.

Se debe tener en cuenta que uno de los objetivos principales de este paso es establecer si es necesario el mantenimiento proactivo del equipo, por ello dentro del proceso de descripción de los efectos se hace constar los múltiples aspectos que tiene una consecuencia directa en una evaluación de los riesgos. Para ello en colaboración con el grupo multidisciplinar de RCM, se describen de la manera más objetiva posible, los efectos que tiene cada modo de falla y así establecer actividades y tareas de mantenimiento a realizar con el fin de buscar mitigarlos o eliminarlos completamente.

Un primer factor a tener en cuenta dentro del proceso de descripción de los efectos, es la evidencia de la falla, se debe permitir decidir si en circunstancias normales es evidente para los operarios la pérdida de función causada por ese modo de falla.

Es esencial incluir los efectos y riesgos que genera el modo de falla a la seguridad y al medio ambiente, teniendo en cuenta la normatividad o reglamento que se esté infringiendo. Este proceso se debe hacer sin prejuizar y usar declaraciones como “Riesgo para la seguridad o medio ambiente” ya que puede influir en el siguiente paso para la evaluación de las consecuencias.

Los efectos en la producción o daños subsecuentes que se presenten debido a determinado modo de falla, se deben considerar dentro de la descripción de los efectos, y a éstos se les denomina efectos operacionales e incluyen: cómo y cuánto se afecta la calidad del producto o el servicio al cliente, si éste efecto, origina la detención de cualquier otro equipo o actividad, si conlleva a un incremento de costos operativos (energía, materiales, etc.) y a daños secundarios causados por la falla.

En el siguiente cuadro se muestra descripciones del efecto según el modo de falla específico para la bomba hidráulica. Por ejemplo, para el primer modo de falla 1A1 se tiene que la descripción de sus efectos es baja presión en el sistema la cual es la evidencia, fuga de aceite hidráulico el cual puede suponer una amenaza para la seguridad y medio ambiente, disminución del rendimiento del equipo que es en que el modo de falla afecta la operación, riesgos de quemaduras al personal son considerados los daños físicos y por último el cambio de sello es la posible solución al fallo.

Cuadro 15 Descripción de los modos de fallas de la bomba F1.

<b>Cód. Func.</b>	<b>Función</b>	<b>Cód. FF</b>	<b>Cód. MF</b>	<b>Modo de Falla</b>	<b>Descripción Efectos</b>
<b>F1</b>	Bombear aceite hidráulico por encima de 55 gpm a 1775 RPM de Velocidad y presión en un rango de 125 a 140 Bar	1A	1A1	Sellos mecánicos desgastados	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Baja presión en el sistema</li> <li>▪Fuga de aceite hidráulico               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪Cambio del sello</li> <li>▪Afecta la operación disminuyendo el rendimiento del equipo</li> </ul> </li> <li>▪Riesgo de quemadura al personal por exposición al aceite hidráulico</li> </ul>
<b>F1</b>	Bombear aceite hidráulico por encima de 55 gpm a 1775 RPM de Velocidad y presión en un rango de 125 a 140 Bar	1A	1A2	Paletas desgastadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Baja presión en el sistema</li> <li>▪Ruido excesivo en el sistema</li> <li>▪No afecta el medio ambiente</li> <li>▪Contaminación del aceite hidráulico               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪Cambio de paletas</li> <li>▪ Afecta la operación disminuyendo el rendimiento del equipo</li> </ul> </li> </ul>

Fuente: Autores de la monografía.

Cuadro 16 Descripción de los modos de fallas de la bomba F1 continuación.

<b>Cód. Func.</b>	<b>Función</b>	<b>Cód. FF</b>	<b>Cód. MF</b>	<b>Modo de Falla</b>	<b>Descripción Efectos</b>
<b>F1</b>	Bombear aceite hidráulico por encima de 55 gpm a 1775 RPM de Velocidad y presión en un rango de 125 a 140 Bar	1A	1A3	Anillo Interno del estator desgastado	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Baja presión en el sistema</li> <li>▪Ruido excesivo en el sistema</li> <li>▪No afecta el medio ambiente</li> <li>▪Contaminación del aceite hidráulico</li> <li>▪Cambio de paletas</li> <li>▪ Afecta la operación disminuyendo el rendimiento del equipo</li> </ul>
<b>F1</b>	Bombear aceite hidráulico por encima de 55 gpm a 1775 RPM de Velocidad y presión en un rango de 125 a 140 Bar	1A	1A4	Sellos mecánicos cristalizados	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Baja presión en el sistema</li> <li>▪Ruido excesivo en el sistema</li> <li>▪No afecta el medio ambiente</li> <li>▪Contaminación del aceite hidráulico</li> <li>▪Cambio de paletas</li> <li>▪ afecta la operación disminuyendo el rendimiento del equipo</li> </ul>
<b>F1</b>	Bombear aceite hidráulico por encima de 55 gpm a 1775 RPM de Velocidad y presión en un rango de 125 a 140 Bar	1A	1A5	Rotor desgastado	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Baja presión en el sistema.</li> <li>▪Ruido excesivo en el sistema.</li> <li>▪No afecta el medio ambiente.</li> <li>▪Contaminación del aceite hidráulico.</li> <li>▪Cambio de paletas.</li> <li>▪Afecta la operación disminuyendo el rendimiento del equipo.</li> </ul>

Fuente: Autores de la monografía.

Cuadro 17 Descripción de los modos de fallas de la bomba F1 continuación parte 2.

<b>Cód. Func.</b>	<b>Función</b>	<b>Cód. FF</b>	<b>Cód. MF</b>	<b>Modo de Falla</b>	<b>Descripción Efectos</b>
<b>F1</b>	Bombear aceite hidráulico por encima de 55 gpm a 1775 RPM de Velocidad y presión en un rango de 125 a 140 Bar	1A	1A6	Rodamiento en mal estado	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Ruido excesivo en el sistema.</li> <li>▪No afecta el medio ambiente.</li> <li>▪Cambio de rodamiento.</li> <li>▪Afecta la operación disminuyendo el rendimiento del equipo.</li> </ul>
<b>F1</b>	Bombear aceite hidráulico por encima de 55 gpm a 1775 RPM de Velocidad y presión en un rango de 125 a 140 Bar	1A	1A7	Eje desalineado	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Ruido excesivo en el sistema.</li> <li>▪No afecta el medio ambiente.</li> <li>▪Genera Vibración.</li> <li>▪Afecta la operación disminuyendo el rendimiento del equipo.</li> </ul>
<b>F1</b>	Bombear aceite hidráulico por encima de 55 gpm a 1775 RPM de Velocidad y presión en un rango de 125 a 140 Bar	1B	1B1	eje de rotor partido	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪No hay presión en la salida de la bomba.</li> <li>▪Ruido excesivo</li> <li>▪Daño en acople y motor eléctrico.</li> <li>▪Cambio de Bomba o eje.</li> <li>▪Afectación de la operación de forma total.</li> </ul>

Fuente: Autores de la monografía.

Cuadro 18 Descripción de modos de fallas de la bomba F1 continuación parte 3.

<b>Cód. Func.</b>	<b>Función</b>	<b>Cód. FF</b>	<b>Cód. MF</b>	<b>Modo de Falla</b>	<b>Descripción Efectos</b>
<b>F1</b>	Bombear aceite hidráulico por encima de 55 gpm a 1775 RPM de Velocidad y presión en un rango de 125 a 140 Bar	1B	1B2	Paletas rotas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Baja presión en el sistema.</li> <li>▪Ruido excesivo en el sistema.</li> <li>▪No afecta el medio ambiente.</li> <li>▪Contaminación del aceite hidráulico.</li> <li>▪Cambio de paletas.</li> <li>▪Afecta la operación disminuyendo el rendimiento del equipo.</li> </ul>
<b>F1</b>	Bombear aceite hidráulico por encima de 55 gpm a 1775 RPM de Velocidad y presión en un rango de 125 a 140 Bar	1B	1B3	Retenedores en mal estado	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪No hay presión en la salida de la bomba.</li> <li>▪Fugas de aceite hidráulico.</li> <li>▪Cambio del retenedor.</li> <li>▪Afecta la operación.</li> <li>▪Afectación al personal riesgo de quemadura con aceite caliente.</li> </ul>

Fuente: Autores de la monografía.

Cuadro 19 Descripción de los modos de fallas de la bomba F2.

<b>Cód. Func.</b>	<b>Función</b>	<b>Cód. FF</b>	<b>Cód. MF</b>	<b>Modo de Falla</b>	<b>Descripción Efectos</b>
<b>F2</b>	Contener aceite hidráulico	2ª	2A1	carcaza rota	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Fuga de aceite hidráulico.</li> <li>▪Riego de accidente del personal que transita por el área.</li> <li>▪Cambio de Bomba.</li> <li>▪Afecta la operación.</li> </ul>
<b>F2</b>	Contener aceite hidráulico	2ª	2A2	TORNILLOS MAL AJUSTADOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Fuga de aceite hidráulico.</li> <li>▪Riego de accidente del personal que transita por el área.</li> <li>▪Cambio de Bomba.</li> <li>▪Afecta la operación.</li> </ul>
<b>F2</b>	Contener aceite hidráulico	2ª	2A3	sellos mecánicos desgastados	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪Fuga de aceite hidráulico.</li> <li>▪Riego de accidente del personal que transita por el área.</li> <li>▪Cambio de Bomba.</li> <li>▪Afecta la operación.</li> </ul>
<b>F2</b>	Contener aceite hidráulico	2ª	2A4	Retenedores en mal estado	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪No hay presión en la salida de la bomba.</li> <li>▪Fugas de aceite hidráulico.</li> <li>▪Cambio del retenedor.</li> <li>▪Afecta la operación.</li> <li>▪Afectación al personal riesgo de quemadura con aceite caliente.</li> </ul>

Fuente: Autores de la monografía.

## **5.9 ANÁLISIS DE CRITICIDAD EN LA BOMBA HIDRÁULICA Y CONSECUENCIAS DE SUS FALLAS**

Una vez definido el análisis de modo y efectos de falla (AMEF, por sus siglas en inglés) para el sistema seleccionado que en este caso es la bomba hidráulica M2006A, se procede a evaluar los efectos en una matriz de criticidad explicada en el marco teórico, para así identificar los componentes y fallas más importantes y establecer las actividades que ameritan medidas más rigurosas con el fin de responder a la pregunta 5 de la metodología RCM: ¿De qué manera es importante cada falla?

Para esto, el Grupo de trabajo RCM acordó una matriz que cumpla con determinados criterios y que estuviera alineada de igual manera con las necesidades de la empresa. Se clasifica cada criterio y se categoriza en base a diversas consecuencias de impacto como son: Humanas, ambientales, costos, e imagen.

Cabe destacar que los efectos de falla y consecuencias no significa lo mismo, en efecto busca responder a la pregunta ¿Qué ocurre?, mientras que la consecuencia de falla responde a la pregunta ¿Qué importancia tiene? Además, las consecuencias de las fallas poseen una importante variable en la determinación de la criticidad, la cual es la probabilidad de que las fallas ocurran. Por tanto, se considera de vital importancia determinar los grados de probabilidad de ocurrencia, de acuerdo a la experiencia y al conocimiento de la Bomba hidráulica M2006A por parte del Grupo Multidisciplinario RCM.

La probabilidad y consecuencia de las fallas, definen el nivel de criticidad. Así, al multiplicar la ponderación otorgada a estas variables, el resultado para cada aspecto tiene un valor diferente y por tanto indica un nivel de criticidad determinado por criterio valorado.

En el cuadro 22 se observa las consecuencias que tiene nuestra matriz de criticidad las cuales van dirigidas hacia la humanidad, el ambiente, los costos e imagen de la empresa; va desde tener ninguna consecuencia hasta tener la mayor consecuencia que son denominadas catastróficos por su gran impacto.

Cuadro 20 Consecuencias matriz de criticidad.

<b>CONSECUENCIAS</b>			
<b>HUMANAS</b>	<b>AMBIENTALES</b>	<b>COSTOS</b>	<b>IMAGEN</b>
Más de un muerto	Efectos irreversibles	>100	Internacional
Incapacidad permanente	Efectos irreversibles en menos de 2 años	Entre 100M - 10M	Nacional
Incapacidad temporal	Efectos reversibles en menos de 6 meses	Entre 10 M- 1M	Regional
Lesiones	Efectos pueden ser controlados	Entre 1M-.05M	Local
Ninguna	No afecta el medio ambiente	<0.05M	Ninguno

Fuente: Autores de la monografía.

Los valores A, B, C, D y F de la matriz son estipulados por el grupo multidisciplinario del RCM, los colores significan el impacto que tienen donde el color rojo significa alto impacto, el color amarillo mediano impacto y el color verde bajo impacto.

Cuadro 21 Matriz de criticidad bomba hidráulica.

CONSECUENCIA	A	PROBABILIDAD					
		IMPOSIBL E	IMPROBABL E	REMOT O	OCASIONA L	MODERAD O	FRECUENTE
Catastrófico	1	A1	B1	C1	D1	E1	F1
Critico	2	A2	B2	C2	D2	E2	F2
Marginal	3	A3	B3	C3	D3	E3	F3
Insignificante	4	A4	B4	C4	D4	E4	F4
Ninguno	5	A5	B5	C5	D5	E5	F5
		> 10 Años	< 10 Años	< 5 Años	< 2 Años	< 6 Meses	± 1 Mes
		A	B	C	D	E	F

Fuente: Autores de la monografía.

En el cuadro 24, se muestra la criticidad que tiene la bomba hidráulica M2006A con respecto a todos los ítems mencionados anteriormente. Se puede observar que el mayor riesgo que presenta éste activo es un impacto económico bastante grave en el proceso de descargue u operación, esto se debe a que un fallo en la bomba no permite el funcionamiento del volcador para el descargue de los camiones que llevan el camión, es decir, detiene las toneladas por minutos de carbón que se debe descargar por lo que la produce una pérdida de dinero. Por otro lado se observa el impacto medio que tiene sobre el recurso humano debido a que un derrame de aceite puede ocasionar lesiones en éste ya sea por quemaduras o resbalones.

Cuadro 22 Riesgos de la bomba hidráulica debido al análisis de criticidad.

Cód. Func.	Cód. FF	Cód. MF	R. Ambiental	R. Humano	R. Económ	R. Imagen	Valor económico del riesgo (\$)
F1	1A	1A1	C4	D3	E2	C4	USD 47.040.000
F1	1A	1A2	C4	E5	E2	C4	USD 47.040.000
F1	1A	1A3	C4	E5	E2	C4	USD 47.040.000
F1	1A	1A4	C4	E5	E2	C4	USD 47.040.000
F1	1A	1A5	C4	E5	E2	C4	USD 47.040.000
F1	1A	1A6	C4	E5	E2	C4	USD 47.040.000
F1	1A	1A7	C4	E5	E2	C4	USD 47.040.000
F1	1B	1B1	C4	E5	E2	C4	USD 47.040.000
F1	1B	1B2	C4	E5	E2	C4	USD 47.040.000
F1	1B	1B3	C4	D3	E2	C4	USD 47.040.000
F2	2A	2A1	C4	D3	E2	C4	USD 47.040.000
F2	2A	2A2	C4	D3	E2	C4	USD 47.040.000
F2	2A	2A3	C4	D3	E2	C4	USD 47.040.000
F2	2A	2A4	C4	D3	E2	C4	USD 47.040.000

Fuente: Autores de la monografía.

## **6 DETERMINACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO**

De acuerdo al Objetivo general de la presente monografía se definen las actividades con frecuencia y recursos para el plan de mantenimiento con lo cual se pretende mejorar los indicadores y costos asociados a esto, la cual es la razón de este proyecto, optimizar los costos de mantenimiento creando la presente metodología de trabajo ya que no existía un plan de mantenimiento.

### **6.1 ÁRBOL LÓGICO DE DECISIONES (ALD)**

El árbol lógico de decisiones, se usa para seleccionar y agrupar en diferentes categorías, las actividades de mantenimiento más adecuadas para mitigar las fallas asociadas al activo, en este caso la bomba hidráulica, y con ello contestar las últimas dos preguntas de nuestra metodología RCM: ¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla? y ¿qué se debe hacer si una tarea proactiva que conviene no está disponible? Para el proceso de categorización de las actividades, primero, se debe definir factibilidad técnica de cada tarea y después evaluar si vale la pena realizarla. Una tarea es técnicamente factible, si físicamente es posible realizarla y además, reduce las consecuencias de la falla a un punto en que es tolerable para el operario del activo, merece la pena si reduce las consecuencias del modo de falla a un grado tal que justifique los costos directos e indirectos de hacerla.

### **6.2. HOJA DE DECISIONES DE RCM**

La hoja de decisiones permite consignar la respuesta a las preguntas formuladas en el árbol de decisiones, para ello se debe dar respuesta a:

- ✓ Qué actividades de mantenimiento preventivo o predictivo se realizarán de acuerdo a la factibilidad técnica, con qué frecuencia y quienes serán los responsables de hacerlas.
- ✓ Casos en los que no se encuentre una actividad adecuada y deba optarse por una acción a falta de.
- ✓ Casos en los que se toma la decisión de dejar que las fallas ocurran.

Cuadro 23 Hoja de decisiones para algunos MF de F1.

<b>Cód. Func.</b>	<b>Cód. FF</b>	<b>Cód. MF.</b>	<b>TIPO DE DECISIÓN</b>
<b>F1</b>	1A	1A1	Monitoreo y cambio -Inspección visual -Comprobación de caudal entrada o salida -Comprobación de presiones de salida
<b>F1</b>	1A	1A2	Monitoreo y cambio -Inspección visual -Comprobación de caudal entrada o salida -Comprobación de presiones de salida
<b>F1</b>	1A	1A3	Monitoreo y cambio -Inspección visual - Comprobación de caudal entrada o salida - Comprobación de presiones de salida

Fuente: Autores de la monografía.

Cuadro 24 Hoja de decisiones para algunos MF de F1 parte 2.

<b>Cód. Func.</b>	<b>Cód. FF</b>	<b>Cód. MF</b>	<b>TIPO DE DECISIÓN</b>
<b>F1</b>	1A	1A4	Monitoreo y cambio -Inspección visual - Comprobación de caudal entrada o salida -Comprobación de presiones de salida
<b>F1</b>	1A	1A5	Monitoreo y cambio -Inspección visual - Comprobación de caudal entrada o salida -Comprobación de presiones de salida -Termografía
<b>F1</b>	1A	1A6	Monitoreo y cambio - Comprobación de caudal entrada o salida -Comprobación de presiones de salida -Termografía -Vibraciones

Fuente: Autores de la monografía

Cuadro 25 Hoja de decisiones para algunos MF de F1 parte 3.

<b>Cód. Func.</b>	<b>Cód. FF</b>	<b>Cód. MF</b>	<b>TIPO DE DECISIÓN</b>
<b>F1</b>	1A	1A7	Monitoreo y cambio -Inspección visual - Análisis de vibraciones
<b>F1</b>	1B	1B1	Monitoreo y cambio -Inspección visual - Análisis de vibraciones
<b>F1</b>	1B	1B2	Monitoreo y cambio -Inspección visual - Comprobación de caudal entrada o salida -Comprobación de presiones de salida

Fuente: Autores de la monografía

Cuadro 26 Hoja de decisiones para algunos MF de F2.

<b>Cód. Func.</b>	<b>Cód. FF</b>	<b>Cód. MF</b>	<b>TIPO DE DECISIÓN</b>
<b>F1</b>	1B	1B3	Monitoreo y cambio -Inspección visual - Comprobación de caudal entrada o salida -Comprobación de presiones de salida
<b>F2</b>	2A	2A1	Monitoreo y cambio -Inspección visual - Comprobación de caudal entrada o salida -Comprobación de presiones de salida -Termografía
<b>F2</b>	2A	2A2	Monitoreo y cambio -Inspección visual

Fuente: Autores de la monografía.

Cuadro 27 Hoja de decisiones para algunos MF de F2 parte 2.

Cód. Func.	Cód. FF	Cód. MF	TIPO DE DECISIÓN
F2	2A	2A3	Monitoreo y cambio -Inspección visual - Comprobación de caudal entrada o salida -Comprobación de presiones de salida
F2	2A	2A4	Monitoreo y cambio -Inspección visual - Comprobación de caudal entrada o salida -Comprobación de presiones de salida

Fuente: Autores de la monografía.

### 6.3. ACTIVIDADES Y FRECUENCIAS DE MANTENIMIENTO

Se identificaron y definieron diferentes tipos de actividades, frecuencias y recursos de mantenimiento con base a la experiencia del Grupo multidisciplinario en el activo. Las cuales concuerdan con los resultados del ALD y la evaluación de las consecuencias de las fallas.

Para el proceso de selección de las actividades más adecuadas se tuvo en cuenta la relación entre la edad o vida útil de los componentes que se están considerando, la probabilidad de que fallen, la factibilidad técnica de las actividades y si merece o no la pena realizarlas. A continuación se relacionan las actividades, frecuencias y recursos para la bomba hidráulica.

Cuadro 28 Actividades, frecuencia y recursos para mantenimiento de la bomba hidráulica.

<b>Cód. Func.</b>	<b>Cód. FF</b>	<b>Cód. MF</b>	<b>DESCRIPCIÓN TAREA</b>	<b>FRECUENCIA (mes)</b>	<b>RECURSOS</b>	<b>Cód. Tarea</b>
<b>F1</b>	1A	1A1	Actividad Preventiva	Semanal	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Un Ingeniero</li> <li>▪ Dos Técnico</li> </ul>	T1
<b>F1</b>	1A	1A2	Actividad Preventiva	Semanal	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Un Ingeniero</li> <li>▪ Dos Técnico</li> </ul>	T1
<b>F1</b>	1A	1A3	Actividad Preventiva	Semanal	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Un Ingeniero</li> <li>▪ Dos Técnico</li> </ul>	T1
<b>F1</b>	1A	1A4	Actividad Preventiva	Semanal	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Un Ingeniero</li> <li>▪ Dos Técnico</li> </ul>	T1
<b>F1</b>	1A	1A5	Actividad Preventiva Y Predictiva	Preventiva : semanal Predictiva : mensual	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Un Ingeniero</li> <li>▪ Dos Técnico</li> </ul> cámara termo gráfica	T2
<b>F1</b>	1A	1A6	Actividad Preventiva Y Predictiva	Preventiva : semanal Predictiva : mensual	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Un Ingeniero</li> <li>▪ Dos Técnico</li> </ul> cámara termo gráfica	T2
<b>F1</b>	1A	1A7	Actividad Preventiva Y Predictiva	Preventiva : semanal Predictiva : mensual	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Un Ingeniero</li> <li>▪ Dos Técnico</li> </ul> cámara termo gráfica Analizador de vibraciones	T3

Fuente: Autores de la monografía.

Cuadro 29 Actividades, frecuencia y recursos para mantenimiento de la bomba hidráulica parte 2.

<b>Cód. Func.</b>	<b>Cód. FF</b>	<b>Cód. MF</b>	<b>DESCRIPCIÓN TAREA</b>	<b>FRECUENCIA (mes)</b>	<b>RECURSOS</b>	<b>Cód. Tarea</b>
<b>F1</b>	1B	1B1	Actividad Preventiva Y Predictiva	PREVENTIVA : SEMANAL PREDICTIVA : MENSUAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Un Ingeniero</li> <li>▪ Dos Técnico</li> </ul> Analizador de vibraciones	T4
<b>F1</b>	1B	1B2	Actividad Preventiva	SEMANAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Un Ingeniero</li> <li>▪ Dos Técnico</li> </ul>	T1
<b>F1</b>	1B	1B3	Actividad Preventiva	SEMANAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Un Ingeniero</li> <li>▪ Dos Técnico</li> </ul>	T1
<b>F2</b>	2A	2A1	Actividad Preventiva Y Predictiva	PREVENTIVA : SEMANAL PREDICTIVA : MENSUAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Un Ingeniero</li> <li>▪ Dos Técnico</li> </ul> cámara termo gráfica	T2
<b>F2</b>	2A	2A2	Actividad Preventiva	SEMANAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Un Ingeniero</li> <li>▪ Dos Técnico</li> </ul>	T1
<b>F2</b>	2A	2A3	Actividad Preventiva	SEMANAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Un Ingeniero</li> <li>▪ Dos Técnico</li> </ul>	T1
<b>F2</b>	2A	2A4	Actividad Preventiva	SEMANAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Un Ingeniero</li> <li>▪ Dos Técnico</li> </ul>	T1

Fuente: Autores de la monografía.

## 7. CONCLUSIONES

Se presenta como resultado de la metodología, el desarrollo de un plan de mantenimiento para la bomba hidráulica M2006A de un volcador SAUR, en la cual se indica los tipos de decisiones, la descripción de tareas y personas responsables en ejecutarlas con el fin de disminuir o evitar fallas identificadas en nuestro elemento de estudio.

La metodología RCM se desarrolla basada en uno de los componentes más críticos, la bomba hidráulica M2006A según registros de falla. La implementación de ésta metodología tiene como principal ventaja la facilidad en su desarrollo y que promueve un mantenimiento preventivo de manera eficaz, también permite la interacción entre mantenimiento y producción, lo cual promueve el mejoramiento continuo y así aumentar la confiabilidad de los activos.

Los resultados de la matriz de criticidad sometida a análisis por el grupo Multidisciplinario RCM concientiza al personal en general las consecuencias que pueden recaer en el personal y a la producción de la empresa por tal motivo se realizan una recomendaciones que generan valor en el diseño del sistema actual para disminuir los niveles de criticidad .

En la presente monografía se implementa la metodología RCM a la bomba hidráulica M2006A la cual se limita el análisis de estudio del sistema hidráulico, pero, existe la posibilidad de ampliar la metodología a todo el sistema hidráulico del volcador y así aumentar la confiabilidad de todo el sistema completo del volcador de camiones SAUR.

El seguimiento de los modos de fallas y las tareas asignadas para evitarlas conducen a un constante mejoramiento continuo con el fin de acercarse más a la excelencia en mantenimiento por lo que el impacto económico será reducido de manera notable. Las actividades, frecuencias y Recursos Humano e Insumos serán socializados con el personal encargado de realizar tal seguimiento.

## 8. RECOMENDACIONES

Para Disminuir el impacto negativo en la producción y optimizar los costos de mantenimiento mejorando la imagen en los clientes y los accionistas se recomienda utilizar un sistema de bombas redundante, es decir, se necesita instalar una segunda bomba en paralelo para que cuando una falle o necesite algún ajuste, la otra bomba empiece a funcionar y así no afectar la operación. Para este nuevo planteamiento se desarrolla el siguiente presupuesto:

Cuadro 30 Presupuesto para el sistema redundante.

PRESUPUESTO							
PROYECTO : IMPLEMENTACION DE BOMBAS EN PARALELO UNIDAD HIDRAULICA DEL VOLCADOR VC101A							
ITEM	DESCRIPCION	REFERENCIA	MARCA	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL
1	MECANICO-HIDRAULICO						
1.1	BOMBA HIDRAULICA VANES 45VQ DE 50 GLS	45VQ50A1C20	VICKER	1	UN	\$ 4.000.000	\$ 4.000.000
1.3	VALVULA ALIVIO	CT-10C30	PARKER	1	UN	\$ 3.000.000	\$ 3.000.000
1.4	VALVULA CHECK PARKER 65PSI 70GPM	C-2000-S	PARKER		UN	\$ 700.000	\$ -
1.5	MANOMETRO DE CARATULA CON GLICERINA; DIAMETRO : 2" ; RANGO DE PRESION 0 - 500 BAR ; conexión de proceso : 1/4" NPT		ASHCROFT	1	UN	\$ 80.000	\$ 80.000
1.6	ACCESORIOS (MANGUERAS ,BASES,FLANCHES RACORES , UNIONES			1	GLB	\$ 5.000.000	\$ 5.000.000
1.7	MANO DE OBRA MECANICO HIDRAULICO			1	GLB	\$ 6.000.000	\$ 6.000.000
2	ELECTRICO						
2.1	MOTOR ELECTRICO 75 HP-460VAC-1775 RPM;IEC 225SM FORM CONS		WEG	1	UN	\$ 12.000.000	\$ 12.000.000
2.2	CABLE DE POTENCIA + TUBERIA +ACCESORIOS			1	GLB	\$ 4.000.000	\$ 4.000.000
2.3	CONSTRUCCION DE ARRANQUE DIRECTO CON PROTECCIONES Y ELEMENTOS DE			1	GLB	\$ 200.000	\$ 200.000
2.4	MANO DE OBRA ELECTRICO			1	GLB	\$ 2.000.000	\$ 2.000.000
						SUBTOTAL	\$ 36.280.000
						IVA 19%	\$ 6.893.200
						TOTAL	\$ 43.173.200

Fuente: Autores de la monografía.

Por otro lado, se recomienda Diligenciar un formato de inspección donde se realizan actividades básicas para medir ciertas variables que ayuden a establecer el estado del activo, en el cuadro 33 se muestra dicho formato para el sistema hidráulico, Este formato se encuentra sujeto a hacer complementado una vez se siga aplicando RCM al resto del Sistema hidráulico del Volcador de camiones SAUR.

Cuadro 31 Formato de Inspección unidad hidráulica del volcador de camiones SAUR.

CODIGO :	<b>INSPECCIÓN UNIDADES HIDRAULICAS VOLCADOR DE CARBON SAUR</b>	
FECHA :		
		V1: 27/04/18

DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDAD	OPERATIVO		OBSERVACIONES	ACCIONES O SEGUIMIENTO*
	SI	NO		
1. Unidades Hidráulicas	Fugas			
	Temperatura			
	Nivel Aceite mayor a 55 cm			
	Limpieza			
	Verificar Filtros			
	Presion de trabajo (125-140 Bar)			
	Temp trabajo menor a 80°C			
	Tiempo Subida en Seg. Con carga			
	Tiempo Bajada en Seg. Con carga			

\_\_\_\_\_  
INSPECCIONÓ

\_\_\_\_\_  
OPERADOR TÉCNICO

Fuente: Autores de la monografía.

Para optimizar de mejor manera los costos de mantenimiento es necesario aplicar la metodología planteada a lo largo de la presente monografía a todos los subsistemas o componentes mostrados en la figura 6 y 7 ya que solo se ha tomado en cuenta la bomba hidráulica M2006A como elemento de estudio limitando el proceso.

Con la implementación de la metodología RCM se requiere mayor capacitación al personal y algo necesario es mayor responsabilidad en la seguridad del recurso humano y equipos para prevenir accidentes que generen lesiones en el personal de trabajo o daños de los activos.

Hacer uso de los EPI (Elemento de protección Individual) hacen parte de los sistemas de prevención ante riesgos además de los símbolos de advertencia; con respecto a la seguridad con relación al equipo se debe conservar siempre

distancias seguras entre el equipo y los cables de la red y jamás permanecer debajo o próximo a la carga erguida. Para la seguridad con relación al personal no debe operar el sistema volcador sin haber leído el manual de operación, no se debe permitir ingreso al campo de operación a personal no autorizado, utilizar ropa adecuada y alejarse de piezas en movimiento entre otras. A continuación se presenta los quipos de protección individual: Casco, gafas de protección, máscara descartable, protector de oídos, enterizo y bota antideslizante.

Figura 9 Equipos de protección.



Fuente: Manual del volcador SAUR:

## **BIBLIOGRAFÍA**

GARCIA GARRIDO, Santiago. Organización y gestión integral del mantenimiento. Manual práctico para la implementación de sistemas de gestión avanzados de mantenimiento industrial 2003.

MATAIX, Claudio. Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas.1993.

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad.2000.

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. Asheville, North Carolina: Ed. Aladon, P 204-205.

Norma SAE JA1011. Criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrado en confiabilidad.

NOWLAN, F.STANLEY. Reliability-Centered Maintenance. United Airlines San Francisco, California.

ORTIZ, Daniel. El método, Diagrama del flujo de RCM. Especialización gerencia de mantenimiento. Barranquilla. Universidad del Santander.

VERGARA, Jaime. Introducción conceptos de mantenimiento-gestión de activos, 2012, página 7.