

**MODELO, PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD  
(RCM), PARA MAQUINARIA QUE REALIZA MANTENIMIENTO VIAL EN EL  
MUNICIPIO DE LA UNIÓN DE SUCRE**

**JULIAN EDGARDO SUÁREZ PEREZ  
JOSÉ RAFAEL RICARDO ARRIETA**

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

**2014**

**MODELO PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD  
(RCM), PARA MAQUINARIA QUE REALIZA MANTENIMIENTO VIAL EN EL  
MUNICIPIO DE LA UNIÓN DE SUCRE**

**JULIAN EDGARDO SUÁREZ PEREZ  
JOSÉ RAFAEL RICARDO ARRIETA**

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

**Director**

**HERWIN OLIMPO RINCÓN SOCHA**

**Ingeniero Mecátronico**

**Esp. Gerencia en Mantenimiento**

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

**2014**

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mis padres por ese apoyo y colaboración que me han brindado.*

*A Dios todopoderoso por permitirme la realización de mis metas.*

***Julian Edgardo Suarez Pérez***

## **DEDICATORIA.**

### **Dios.**

Por guiarme siempre por el camino del bien, por darme la salud, la cual me ha permitido concluir este logro en mi vida.

### **Mis padres.**

Abelardo Enrique Ricardo Cali y Olga de Jesús Arrieta Pérez por brindarme la confianza para poder llevar a cabo mis estudios.

### **A mi esposa.**

Vivian Vanessa Martínez guerrero, quien ha estado a mi lado estos últimos años y ha sido un apoyo incondicional para la realización de mis estudios.

### **A mi hijo.**

Sebastiann Ricardo Martínez, quien es una bendición de Dios y motivo de orgullo y meda fuerza para cumplir mis objetivos.

### **Mis hermanas.**

Ana Marcela, Carmen Celex, Lina María y mi sobrino Juan Diego.

### **Mis familiares.**

Por estar pendiente en todo momento en la realización de mis estudios.

### **José Rafael Ricardo Arrieta.**

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	19
1. GENERALIDADES DEL MUNICIPIO DE LA UNIÓN DE SUCRE	20
1.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y LÍMITES	20
1.2. DIVISIÓN POLÍTICO Y ADMINISTRATIVA	20
1.3. DESCRIPCIÓN VIAL DEL MUNICIPIO DE LA UNIÓN DE SUCRE	22
1.3.1. Redes terciarias del municipio de la Unión de Sucre	23
1.3.2. Descripción del plan de mantenimiento de las vías rurales de las veredas, La Esperanza, Las Alias y Piñalito	24
1.3.2.1 Situación actual de la malla vial vereda Piñalito	24
1.3.2.2 Situación actual de la malla vial vereda La Esperanza	26
1.3.2.3 Situación actual de la malla vial, vereda Las Alias	28
2. MAQUINARIAS UTILIZADAS PARA EL MANTENIMIENTO VIAL DEL MUNICIPIO DE LA UNIÓN DE SUCRE	31
2.1. PROCESO DE MANTENIMIENTO VIAL - LA UNIÓN SUCRE	31
2.1.1. Excavación	31
2.1.2. Acarreo	32
2.1.3. Extendido	33
2.1.4. Humectación	34
2.1.5. Compactación.	34
2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	36
2.3. OBJETIVOS	38
2.3.1. Objetivo General	38
2.3.2. Objetivos Específicos	38
2.4. JUSTIFICACIÓN	39
3. MARCO TEÓRICO	40
3.1. MODOS DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO	40
3.1.1. Mantenimiento Proactivo	41
3.1.2. Mantenimiento Correctivo	42
3.1.3. Mantenimiento Con Proyecto	42

3.1.4. Mantenimiento Preventivo	42
3.1.5. Mantenimiento Basado en Condición	45
3.1.5.1. Monitoreo puntual	46
3.1.5.2. Monitoreo en línea	46
3.1.6. Mantenimiento Predictivo	48
3.1.7. Mantenimiento Productivo Total	48
3.1.8. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad	48
4. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM	49
4.1. HISTORIA	49
4.2. DEFINICIÓN DE RCM	49
4.3. PREGUNTAS DE RCM ACERCA DEL EQUIPO Y SU DINÁMICA	50
4.4. HERRAMIENTAS DE SOPORTE PARA CONTESTAR LAS SIETE PREGUNTAS DE RCM	51
4.4.1. AMEF ( <i>Análisis de los Modos y Efectos de Fallas</i> )	51
4.4.1.1. Método de evaluación de riesgo de AMEF	51
4.4.1.1.1. Numero prioridad de riesgo <i>NPR</i>	51
4.4.1.1.1.1. Número de severidad <i>G</i>	51
4.4.1.1.1.2. Número de frecuencias <i>F</i>	51
4.4.2. Árbol Lógico de Decisión	53
4.5. DIAGRAMA DE FLUJO DE RCM	55
4.5.1. Taxonomía y Fronteras	55
4.5.2. Contexto Operacional	56
4.5.3. Funciones	56
4.5.4. Modos de Falla	57
4.5.5. Efectos	57
4.5.6. Toma de decisiones a partir del índice de riesgo	58
4.5.6.1. Aceptación del Riesgo de la Falla.	58
4.5.6.2. Instalación de Unidad Redundante.	58
4.5.6.3 Tareas de Mantenimiento Preventivo	59
4.5.6.4 Tareas de Mantenimiento Predictivo	59
4.5.6.5. Rediseño del Sistema	59
5. MASTER PLAN	60
5.1. ANÁLISIS DE CRITICIDAD	62
5.2. RETROEXCAVADORA – CARGADORA <i>MF-86</i>	65
5.2.1. Transmisión Hidráulica Power Shuttle	69
5.2.1.1 Caja de Cambios	69
5.2.1.2 Conversor de Torque	70

5.2.1.3. Embrague	72
5.2.2. Ejes	73
5.2.2.1. Eje Delantero	73
5.2.2.2. Eje Trasero	73
5.2.3. Sistema Hidraulico Principal	74
5.2.4. Sistema Hidráulico de la Transmisión y Dirección	76
5.2.5. Chasis	78
5.2.5.1. Conjunto Retroexcavadora	78
5.2.5.2. Cargador Frontal	78
5.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE LAS FALLAS DE LA RETRO EXCAVADORA CARGADORA <i>MF - 86</i>	79
5.4 PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM PARA LA MAQUINA DE MAYOR CRITICIDAD UTILIZADA EN EL MANTENIMIENTO VIAL DEL MUNICIPIO DE LA UNIÓN DE SUCRE	86
5.4.1. Funciones principales de la retroexcavadora cargadora <i>MF - 86</i>	86
5.4.2. Fallas funcionales de la retroexcavadora cargadora <i>MF - 86</i>	87
5.4.3. Modos de falla de la retroexcavadora cargadora <i>MF - 86</i>	88
5.5. ANÁLISIS DE CRITICIDAD MODO DE FALLA COMPONENTE.	107
5.6. ANÁLISIS 5W + 1H	109
5.7. ANÁLISIS CAUSA RAÍZ RCA	111
5.7.1. Métodos de análisis causa raíz RCA.	111
5.7.2. Árbol lógico de decisión.	112
6. PROPUESTA DE UN ÁREA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN LA ALCALDÍA DE LA UNIÓN DE SUCRE	118
6.1. ESTUDIO TÉCNICO	120
6.1.1. Mano de Obra	120
6.1.2. Materia Prima e Insumos	122
6.1.3. Repuestos	123
6.2. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO TÉCNICO	128
7. CONCLUSIONES	129
BIBLIOGRAFÍA	130
ANEXOS	131

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. División política y administrativa de La Unión de Sucre	21
Figura 2. Malla vial de la vereda Piñalito	25
Figura 3. Situación actual de la malla vial vereda Piñalito.	25
Figura 4. Malla vial vereda La Esperanza	27
Figura 5. Situación actual de la malla vial de la vereda La Esperanza	27
Figura 6. Malla vial de la vereda Las Alias	29
Figura 7. Situación actual de la malla vial de la vereda Las Alias	29
Figura 8. Proceso de excavación	32
Figura 9. Proceso de Extendido	33
Figura 10. Proceso de humectación	34
Figura 11. Proceso de compactación	35
Figura 12. Estado de la vía en época invernal	36
Figura 13. Motoniveladora Mitsubishi MG - 300T	37
Figura 14. Los grandes procedimiento del mantenimiento siglo XXI	43
Figura 15. Análisis Termografico	47
Figura 16. Árbol Lógico de Decisión	54
Figura 17. Diagrama de Flujo de RCM	55
Figura 18. Usos de la Retroexcavadora en Trabajos de Grúa	63
Figura 19. Retroexcavadora Cargadora MF - 86	65
Figura 20. Sistemas de la retroexcavadora cargadora MF - 86	68
Figura 21. Caja de cambios de reversión automática de la retroexcavadora cargadora MF - 86	70
Figura 22. Convertidor de torque de la retroexcavadora cargadora MF - 86	71
Figura 23. Embragues reversores de la retroexcavadora cargadora MF - 86	73
Figura 24. Eje trasero de la retroexcavadora cargadora MF - 86	74
Figura 25. Sistema hidráulico principal de la retroexcavadora cargadora MF - 86	75
Figura 26. Bomba de engranajes del sistema hidráulico de la transmisión y dirección de la retroexcavadora cargadora MF - 86	76
Figura 27. Sistema hidráulico de la transmisión y dirección	77
Figura 28. Diagrama de Pareto de las fallas de los sistemas de la MF - 86	80
Figura 29. Diagrama de Pareto de las fallas de los componentes del sistema hidraulico principal MF - 86	82
Figura 30. Diagrama de Pareto de las fallas de los componentes del sistema electrico MF - 86	84
Figura 31. Matriz de criticidad modo de falla componente	108

Figura 32. RCA de la bomba de engranajes del sistema hidráulico principal de la retroexcavadora cargadora MF - 86	113
Figura 33. Volqueta Chevrolet modelo 91	119

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Distancia, tiempo y velocidad de la cabecera municipal a otros municipios	22
Tabla 2. Distancias en kilómetros de la cabecera municipal a los principales corregimientos y veredas	23
Tabla 3. Modos de gestión del mantenimiento	41
Tabla 4. Fuente tradicional para determinar las frecuencias MP	44
Tabla 5. Fuentes para determinar las frecuencias de mantenimiento preventivo y mantenimiento basado en condición	45
Tabla 6. Severidad de las Fallas	52
Tabla 7. Probabilidad de Ocurrencia de las Fallas	53
Tabla 8. Severidad de las Fallas	53
Tabla 9. Master Plan	61
Tabla 10. Análisis de criticidad por medio la matriz de creps	64
Tabla 11. Ficha técnica de la retroexcavadora cargadora MF – 86	66
Tabla 12. Condiciones operacionales de la retroexcavadora cargadora MF - 86.	67
Tabla 13. Reportes de fallas de los sistemas de la MF - 86	79
Tabla 14. Reportes de las fallas de los componentes del sistema hidráulico principal de MF - 86	81
Tabla 15. Reportes de las fallas de los componentes del sistema eléctrico de la MF - 86	83
Tabla 16. Funciones principales y secundarias de la MF - 86	87
Tabla 17. Fallas funcionales de la MF - 86	88
Tabla 18. Modos de falla de la MF - 86	89
Tabla 19. Modos de falla del motor	90
Tabla 20. Modos de falla del sistema de alimentación de combustible y del sistema de lubricación del motor	91
Tabla 21. Modos de falla del sistema de enfriamiento	92
Tabla 22: Modos de falla de la transmisión Power Shuttle	94
Tabla 23. Modos de fallas del sistema hidráulico principal	96
Tabla 24. Modos de fallas del sistema hidráulico de la transmisión y dirección	99
Tabla 25. Modos de fallas del sistema eléctrico	102
Tabla 26. Evaluación de consecuencias y selección de tareas de mantenimiento.	104
Tabla 27. Análisis 5W + 1H a la bomba de engranaje del sistema hidráulico principal	110
Tabla 28. Intervalos de rutinas de mantenimiento preventivo	115

Tabla 29. Intervalos de rutinas de mantenimiento preventivo	116
Tabla 30. Tareas de mantenimiento según su complejidad	117
Tabla 31. Inversiones realizadas en el mantenimiento de las vías de las veredas La Esperanza, Piñalito y Las Alias.	119
Tabla 32. Inversiones realizadas en el mantenimiento de las maquinas del municipio de La Unión De Sucre	120
Tabla 33. Nomina del personal del departamento de mantenimiento	122
Tabla 34. Lista de insumos de la volqueta Dodge y la retroexcavadora cargadora MF - 96.	123
Tabla 35: Lista de los repuestos de la retroexcavadora cargadora <i>MF - 86</i>	124
Tabla 36. Lista de los repuestos de la volqueta Dodge	125
Tabla 37. Lista de los repuestos del tractor Ursus 6014.	126
Tabla 38. Costo por hora para maquinaria pesada	127
Tabla 39. Inversiones realizadas al contratar el Bulldozer, Compactador y Motoniveladora	127

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Formato para registro de equipos	131
Anexo B. Formato para especificaciones de mantenimiento preventivo	131
Anexo C. Formato para cambio de piezas	132
Anexo D. Formato de seguimiento	132
Anexo E. Formato de lubricación	133
Anexo F. Formato análisis de repuestos reparables	134
Anexo G. Formato para análisis de daño accidente en máquinas	135
Anexo H. Actitudes y destrezas del técnico	136
ANEXO I. Conocimiento del mecánico en reparón de maquinaria.	136
Anexo J. Maquinaria perteneciente a la alcaldía de la Unión de Sucre (Volqueta Dodge 68)	137
Anexo K. Maquinaria perteneciente a la alcaldía de la Unión de Sucre (Volqueta Dodge 70)	137
Anexo L. Maquinaria perteneciente a la alcaldía de la Unión de Sucre (Góndola de almacenaje Stara)	138
Anexo M. Maquinaria perteneciente a la alcaldía de la Unión de Sucre (Tractor Massey Ferguson)	138
Anexo N. Maquinaria perteneciente a la alcaldía de la Unión de Sucre	139

## RESUMEN

**TITULO:** MODELO, PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM), PARA MAQUINARIA QUE REALIZA MANTENIMIENTO VIAL EN EL MUNICIPIO DE LA UNIÓN DE SUCRE.\*

**AUTORES:** JULIAN EDGARDO SUÁREZ PEREZ.

JOSÉ RAFAEL RICARDO ARRIETA.

**PALABRAS CLAVES:** Mantenimiento, Confiabilidad, Gestión de activos, Estrategia y Criticidad.

**DESCRIPCIÓN:** Esta monografía explica la realización de una propuesta de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para las maquinas que realizan el mantenimiento vial en el municipio de La Unión De Sucre, primero se describen las generalidades del municipio: localización geográfica, limites, división política y administrativa, segundo se explica el proceso de mantenimiento vial y su respectiva descripción de su ejecución y el tipo de máquinas que se utilizan para llevar acabo los planes de mejoramiento de las vías que comunican a la cabecera municipal con las veredas y pueblos próximos al municipio. Antes de entrar en el desarrollo del RCM se establece el marco teórico de la monografía, donde se habla de los modos de gestión sobre las diferentes formas de llevar a cabo una estrategia de mantenimiento encaminadas a mantener la confiabilidad y disponibilidad de las máquinas que integran un proceso productivo, posteriormente se realiza la revisión bibliohemerografica de la estrategia de mantenimiento a proponer, donde se exponen los conceptos y pasos para llevar a cabo la implementación de la metodología de RCM, comenzando: con la selección del equipo por medio de un análisis de criticidad, se establecen los parámetros de funcionamiento, se definen las funciones principales y secundarias, las fallas funcionales, se plantean los modos de fallas y efectos, todo esto con el fin de escoger la tarea de mantenimiento más adecuada para mantener la capacidad operativa de las maquinas que realizan el proceso de mantenimiento vial en el municipio de La Unión, además se explican los procedimientos e investigaciones que se deben seguir para elaborar el plan de mantenimiento originado a partir del RCM.

---

\*Monografía.

\*\*Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.  
Director: Herwin Olimpo Rincón Socha.

## SUMMARY

**TITLE:** MODEL, PLAN OF RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) FOR MACHINES THAT PERFORM ROAD MAINTENANCE IN THE MUNICIPALITY OF LA UNION DE SUCRE.

**AUTHORS:** JULIAN EDGARDO SUÁREZ PEREZ.

JOSÉ RAFAEL RICARDO ARRIETA.

**KEY WORDS:** Maintenance, Reliability, Availability, Management Modes, Strategy and Criticality.

**DESCRIPTION:** This monograph explains the realization of a proposal of a plan of Reliability Centered Maintenance (RCM) to the machines that perform the road maintenance in the municipality of La Union De Sucre, first is described the generalities of the municipality: geography locate, limits, political division and administrative, second is explained the process of road maintenance and its respective description of its execution and the type of machines that is used to carry out the plans of improvement of the roads that communicate to the municipal seat with the sidewalks and villages next to the municipality. Before to come into the development of the RCM is established the theoretical mark of the monograph, where is spoke of the management modes about the different forms of carry out a maintenance strategy directed to maintain the reliability and availability of the machines that integrate a productive process, later is performed the revision bibliohemerografica of the strategy maintenance to propose, when is exposed the concepts and steps for carry out the implementation of the methodology of RCM, beginning with the selection of the equipment through criticality analysis, is established the operating parameters, is defined the primary functions and secondary, the functional failures, modes failure and effects, all this with the objective of choosing the maintenance homework more appropriate to maintain the capacity operative of the machines that perform the process of road maintenance in La Union De Sucre, besides is explained the proceedings and investigations that must be followed to develop the maintenance plan, originated to start out from RCM.

---

\*Monograph.

\*\*Faculty of Mechanical Engineering Physics. Specialization in Maintenance Management.  
Director: Herwin Olimpo Rincón Socha.

## INTRODUCCION

A medida que pasa el tiempo han surgido con la ayuda de los avances tecnológicos nuevas máquinas y herramientas que optimizan y mejoran su capacidad de producción y la intervención de las personas es muy poca. Es por ello que surge la necesidad de que el mantenimiento evolucione hacia la optimización y mejora en el cuidado de los activos, sin dejar a un lado la seguridad, la operación, economía y el cuidado del medio ambiente.

Como surgen nuevas formas de mantenimiento, surge también la competencia de muchas empresas por tener lo último en técnica de la gestión de mantenimiento ayudando a la mejora de la eficiencia y la productividad.

El RCM como confiabilidad, inicia hacia la década de los sesenta y a través de los años ha dado muy buenos resultados en la gestión de los activos.

Resultado de su aplicación en lo que lleva su desarrollo ha llevado a que la alcaldía del municipio de La Unión de Sucre en conjunto con la secretaria de planeación, en mirar de que la flota de la maquinaria propia y contratada tipo pesada, la cual se utiliza para el mantenimiento de las vías de acceso que comunican al municipio con los pueblos vecinos y con las veredas aledañas, tengan un estado de funcionamiento confiable tratando que su vida útil se extienda al mínimo costo posible, que se hace gracias a los conocimientos y herramientas que se relacionan con el mantenimiento.

Lo que se quiere con esta monografía es realizar un análisis de los equipos con alta criticidad mediante herramientas del RCM, que nos permitan determinar cuál de ellos es el más crítico y cómo puede perder sus funciones en un estado de operación y el posible plan de mantenimiento que ayude a mitigar estas fallas que puedan presentarse.

Del resultado obtenido, se puede aumentar la confiabilidad de cada una de las máquinas y mejorar la relación hombre-máquina.

## 1. GENERALIDADES DEL MUNICIPIO DE LA UNIÓN DE SUCRE

### 1.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y LÍMITES

El municipio de La Unión De Sucre está ubicado al suroeste del Departamento de Sucre en la Subregión del San Jorge, Región Caribe Colombiana.

Se encuentra localizado a los  $8^{\circ} 51' 38''$  de latitud norte y a  $75^{\circ} 16' 50''$  de longitud oeste, tiene una extensión de  $234 \text{ km}^2$  y una altura de  $65 \text{ m.s.n.m}$ , con temperatura promedio de  $27,8$  a  $32^{\circ}\text{C}$ ; con humedad relativa  $84\%$  anual y una precipitación de  $800$  y  $1500 \text{ mm}$ . Limita al norte con el municipio de Chinú en el departamento de Córdoba, por el sur con el municipio de San Marcos Sucre, por el oriente con el Municipio de Caimito Sucre y por el occidente con el municipio de Sahagún en el Departamento de Córdoba<sup>1</sup>.

### 1.2. DIVISIÓN POLÍTICO Y ADMINISTRATIVA

La división político - administrativa del Municipio de La Unión de Sucre está conformada por la cabecera municipal, cinco corregimientos y 29 veredas.

**Corregimiento de Las Palmitas:** Buenos Aires, La Balsa, Rabolargo, La Libertad, Villa Libia, La Esperanza, Museque.

**Corregimiento de Cayo Delgado:** El Jobo, Chivato, Los Conguitos, Vijagual, Las Toluas, Las Cruces.

**Corregimiento de Sabaneta:** Las Piñuelas, Piñalito, Villa Fátima, Las Garitas, Boca Negra, Castañal, Barro Blanco.

**Corregimiento de Pajarito:** El Paisaje, La Victoria, Las Margaritas, Las Alias, Pueblo Rizo.

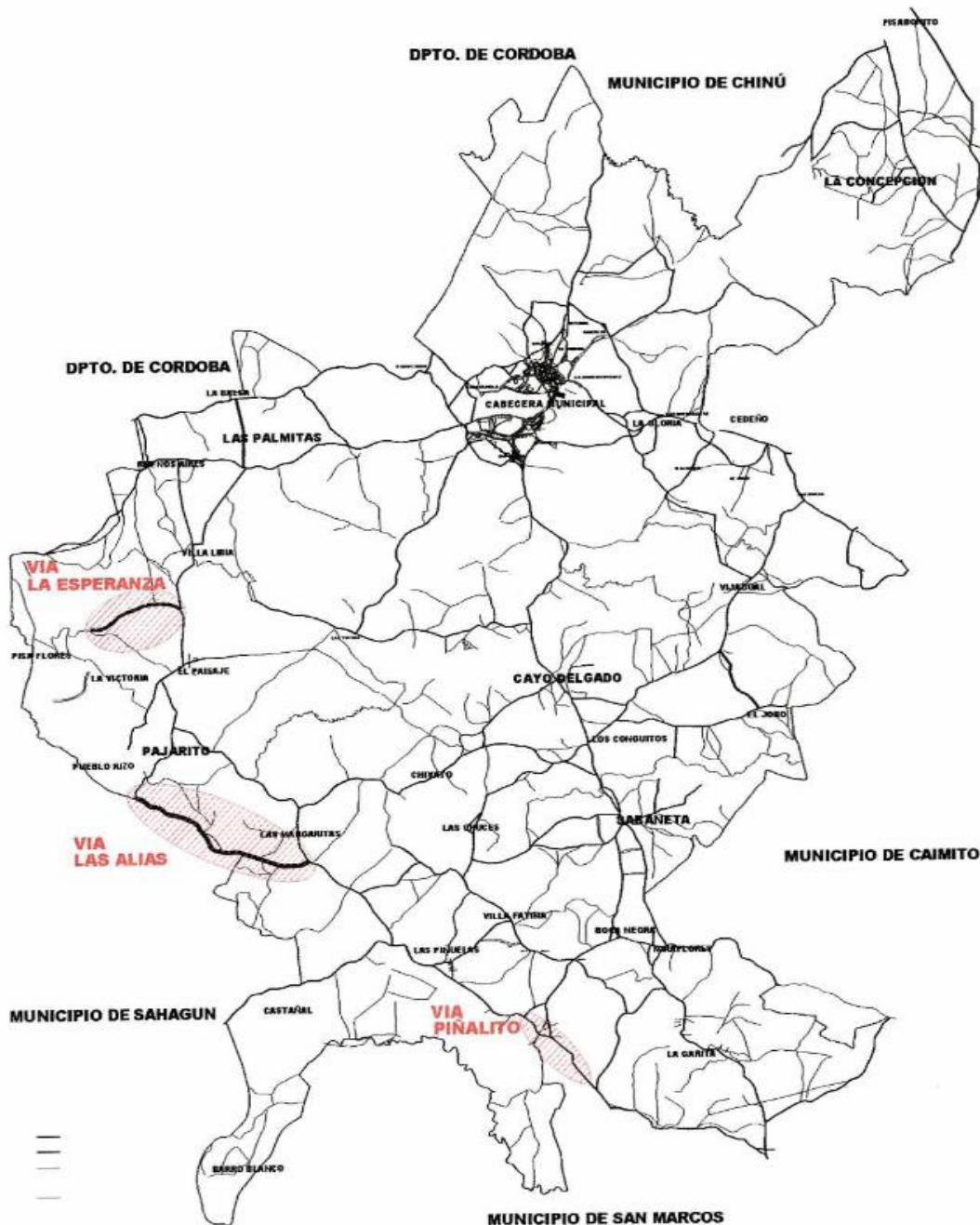
**Corregimiento de La Concepción:** Las Mulas, El Perú, La Gloria, Las Querellitas. Es importante anotar que este corregimiento está por fuera del

---

<sup>1</sup>Instituto Geográfico Agustín Codazzi [Consultado el 10 de diciembre de 2013]. Disponible en < <http://www.igac.gov.co/>>.

anillo vial, impidiendo una comunicación intercorregimental total y aislando relativamente a estas poblaciones. (Ver figura 1)

**Figura 1. División política y administrativa de La Unión De Sucre**



**Fuente: Secretaria de Planeación - Alcaldía de La Unión Sucre.**

### 1.3. DESCRIPCIÓN VIAL DEL MUNICIPIO DE LA UNIÓN DE SUCRE

El Municipio de La Unión Sucre presenta un buen sistema de intercomunicación vial, regionalmente porque presenta vías intermunicipales que lo comunican con los municipios de Sahagún (Córdoba) vía Catalina y vía Sabaneta, Chinú (Córdoba) vía Santa Rosa, a Caimito, La Villa y San Marcos en Sucre permitiéndole una buena intercomunicación con sus municipios vecinos.

El sistema vial de la cabecera municipal con sus corregimientos y veredas está determinado por un anillo vial que lo comunica rápido y fácilmente. Su recorrido comienza en la cabecera urbana - Cayo Delgado - Sabaneta - Boca Negra - Piñalito - La Colonia - Las Alias - Pajarito - El Paisaje - Villa Libia - Las Palmitas y finaliza en la cabecera nuevamente.

Las tablas 1 y 2, muestran las distancias y el tiempo en el recorrido del Municipio a otros municipios, las distancias de la cabecera municipal a los principales corregimientos y veredas y la distancia y principales conexiones intercorregimental y veredales.

**Tabla 1. Distancia, tiempo y velocidad de la cabecera municipal a otros municipios**

<b>DE</b>	<b>A</b>	<b>DISTANCIA (km)</b>	<b>TIEMPO (min)</b>	<b>VELOCIDAD (km/h)</b>
<i>Cabecera Municipal</i>	San Marcos	35	45	46.6
	Sahagún	27	45	36
	Sincelejo	92	105	52.5
	Chinú	32	45	42.6
	Caimito	23	27.6	50

**Fuente: Secretaria de Planeación - Alcaldía de La Unión Sucre.**

**Tabla 2. Distancias en kilómetros de la cabecera municipal a los principales corregimientos y veredas**

<i>DE</i>	<i>A</i>	<i>DISTANCIA (km)</i>
<b>Cabecera municipal</b>	Cayo Delgado	8
	Sabaneta	15
	Boca Negra	20
	Piñalito	22
	La Colonia	19
	Las Alias	17
	Pajarito	12
	El Paisaje	10
	La Concepción	17
	Villa Libia	9
	Las Palmitas	7

**Fuente: Secretaria de Planeación - Alcaldía de La Unión Sucre.**

### **1.3.1. Redes terciarias del municipio de la Unión de Sucre**

Las redes terciarias están compuestas por caminos vecinales, que son aquellos caminos de penetración que comunican la cabecera municipal con una o varias veredas o aquel que une varias veredas entre sí.

El buen estado de estas vías es de gran importancia para la economía de los habitantes del área rural como los del casco urbano pues la mayoría de los productos básicos de la canasta familiar provienen de estas zonas.

La falta de mantenimiento en las vías da lugar a problemas de funcionalidad y seguridad que pueden ser graves limitaciones de carga en: restricciones de paso, accidentes e interrupciones de la red vial.

El mantenimiento periódico es una labor sustantiva que debe ampliarse para evitar que crezca el deterioro de las vías.

El programa de mantenimiento vial está basado sobre tres componentes: el físico, el social y el territorial. La administración municipal de La Unión

adelanta sobre la malla vial los estudios, diseños y mantenimiento preventivo y correctivo de las vías para garantizar el óptimo desempeño en cuanto al transporte.

El flujo vehicular es de un 80% representados en camperos y automóviles livianos, el 1% buses, con presencia constante de camiones de 1 y 2 ejes en un 10% y tractores con góndolas en un 9%, estos últimos resultan perjudiciales para el carretable en periodo de invierno, al estar la superficie abierta sin ningún tipo de afirmado.

### **1.3.2. Descripción del plan de mantenimiento de las vías rurales de las veredas, La Esperanza, Las Alias y Piñalito**

Las dificultades de transporte que enfrentan los habitantes de la zona rural de las veredas La Esperanza, Las Alias y Piñalito, se presenta por el mal estado de la vía del anillo vial y de las vías terciarias que comunican a este; dicho problema se presenta especialmente en época de invierno, haciendo casi imposible el tráfico vehicular por estas zonas del municipio.

Las dificultades de transporte que enfrentan los habitantes del sector imposibilita el sacar sus productos a los diferentes puntos del municipio y sus distancia oscilan entre los 18 y 22 kilómetros aproximadamente vía terrestre.

#### **1.3.2.1 Situación actual de la malla vial vereda Piñalito**

Este tramo de la vía inicia en la apartada Boca Negra – Las Piñuelas. Anillo vial vía principal con acceso a la zona urbana de La Unión, 14 km hacia el sur, entre las coordenadas geográficas *1.458.537 latitud norte* y *1.197.909 longitud este* y finaliza en el corregimiento de Piñalito con coordenadas geográficas *1.457.103 latitud norte* y *1.199.341 longitud este*. Dando como resultado una longitud total de todo el tramo de 2.08 km para afirmar.

Al realizar el recorrido de la ruta, encontramos que se favorecen directa o indirectamente los siguientes pueblos: La Garita, Boca Negra y Las Piñuelas tal como se muestra en las figuras 2 y 3.

**Figura 2. Malla vial de la vereda Piñalito**



**Fuente: Secretaria de Planeación - Alcaldía de La Unión Sucre.**

**Figura 3. Situación actual de la malla vial vereda Piñalito.**



**Fuente: Secretaria de Planeación - Alcaldía de La Unión De Sucre.**

En la figura anterior se observa que la vía no se encuentra afirmada, hundimiento de la banca y baches continuos por la falta de drenajes, represamiento del agua en el centro de la vía. El terreno natural es arcilloso, el cual se encuentra en mal estado para el tráfico vehicular y se ve la necesidad de afirmarla con material compactado.

### **1.3.2.2 Situación actual de la malla vial vereda La Esperanza**

Este tramo de la vía inicia en la apartada Villa Libia – El Paisaje. Anillo vial, vía principal con acceso a la zona urbana de La Unión, 10 km hacia el sur – oeste, entre las coordenadas geográficas 1.467.127 latitud norte y 1.190.490 longitud este y llega hasta el final del corregimiento de La Esperanza entre las coordenadas geográficas 1.466.745 latitud norte y 1.188.641 longitud este. Dando como resultado una longitud total de todo el tramo de 2 km, para afirmar.

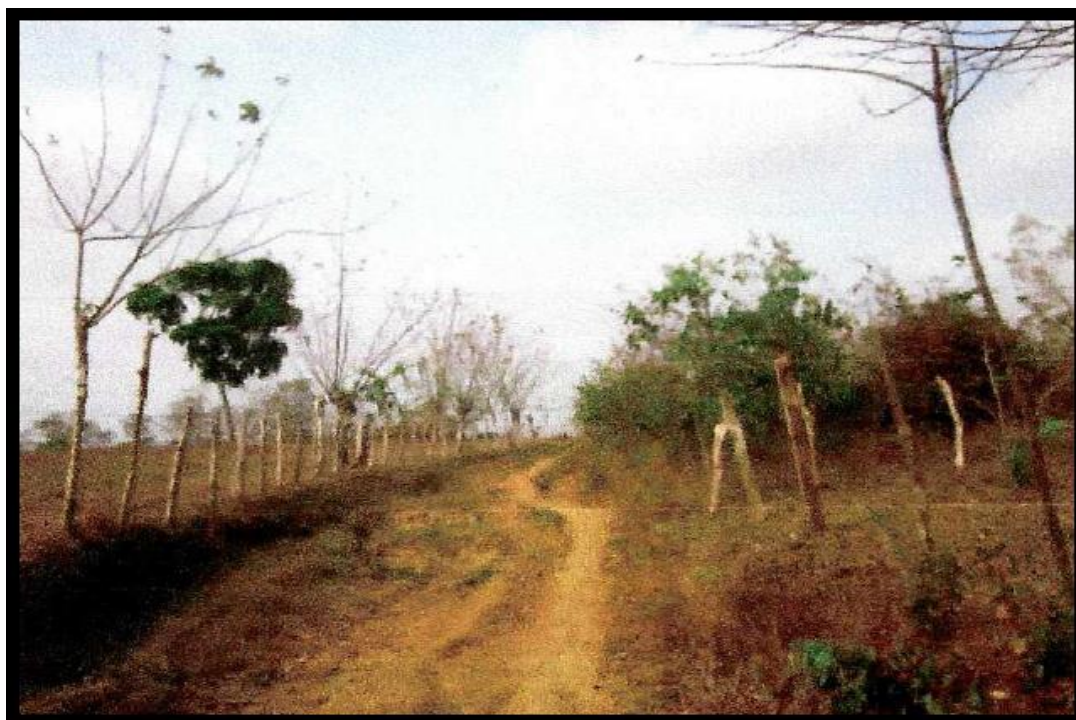
Al realizar el recorrido de la ruta, encontramos que se favorecen directa o indirectamente los siguientes pueblos: Villa Libia, El Paisaje, La Victoria, Pisa Flores, San Francisco y El Bongo tal como se muestra en la figuras 4 y 5.

Figura 4. Malla vial vereda La esperanza



Fuente: Secretaria de Planeación - Alcaldía de La Unión Sucre.

Figura 5. Situación actual de la malla vial de la vereda La Esperanza



Fuente: Secretaria de Planeación - Alcaldía de La Unión Sucre.

De la figura anterior figura se observa que la vía carece de canales de drenajes y hace que las aguas lluvias y de escorrentías corran pendiente abajo a través del terreno contribuyendo a la formación de surcos y flujo de material, por ello se recomienda perfilar la vía con material de afirmado.

### **1.2.2.3 Situación actual de la malla vial, vereda Las Alias**

Este tramo de la vía inicia en la apartada Pajarito – Piñalito. Anillo vial vía principal con acceso a la zona urbana de La Unión, 14 km hacia el sur – oeste, entre las coordenadas geográficas 1.462.053 latitud norte y 1.193.201 longitud este y llega hasta el corregimiento de Las Alias entre las coordenadas geográficas 1.463.355 latitud norte y 1.189.364 longitud este. Dando como resultado una longitud total de todo el tramo de 4.1 km, para afirmar.

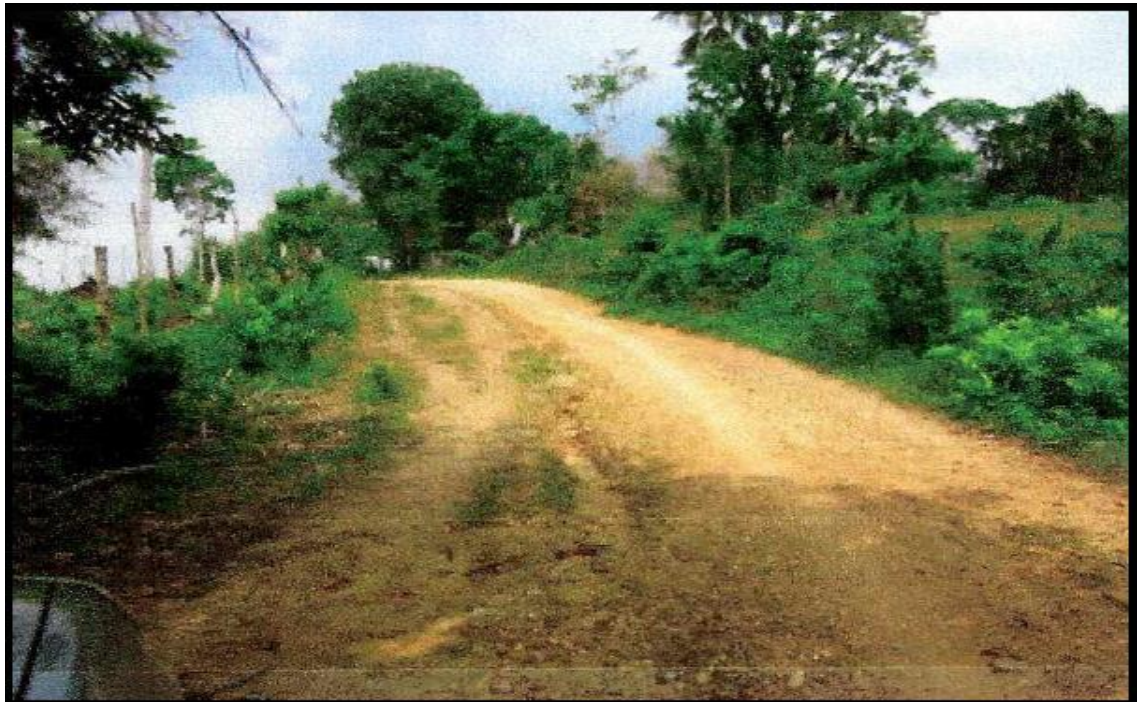
Al realizar el recorrido de la ruta, encontramos que se favorecen directa o indirectamente los siguientes pueblos: Las Margaritas, pajarito, Pueblo Erizo, Patio Bonito, Nueva Esperanza, El Bongo, tal como se muestran en las figuras 6 y 7.

**Figura 6. Malla vial de la vereda Las Alias**



**Fuente: Secretaria de Planeación - Alcaldía de La Unión Sucre.**

**Figura 7. Situación actual de la malla vial de la vereda Las Alias**



**Fuente: Secretaria de Planeación - Alcaldía de La Unión Sucre.**

De la figura anterior se observa que la vía no se encuentra afirmada, el terreno natural es arcilloso y la falta de canales de drenajes hace que las aguas lluvias corran pendiente abajo a través del terreno contribuyendo a la formación de surcos.

## **2. MAQUINARIAS UTILIZADAS PARA EL MANTENIMIENTO VIAL DEL MUNICIPIO DE LA UNIÓN DE SUCRE**

En este capítulo tiene como objetivo hacer una breve descripción de la función que cumple cada máquina en el proceso de mantenimiento de las vías de acceso que comunican al municipio de La Unión con las veredas y pueblos vecinos.

Como se mencionó en el plan propuesto, son maquinaria pesada con motores diésel, con sistemas de tracción sobre las llantas y con herramientas y accesorios que son controlados por sistemas mecánicos, hidráulicos y eléctricos, mediante los cuales le permite realizar las diferentes actividades que forman parte del mantenimiento vial.

Sobre este tipo de maquinaria, se va elaborar el plan de mantenimiento basado en la metodología de RCM, en el desarrollo de la presente monografía.

### **2.1. PROCESO DE MANTENIMIENTO VIAL - LA UNIÓN SUCRE**

El proceso de mantenimiento vial que se desarrolla en el municipio de La Unión Sucre para carreteras destapadas está compuesto por cinco pasos: excavación, acarreo, extendido, humectación y compactación.

Dichos procesos están reglamentados por normas y artículos del INVIAS (Instituto Nacional de Vías).

#### **2.1.1. Excavación**

La excavación es el primer paso que se realiza en un proyecto de mantenimiento vial, éste empieza con el desmonte, en el cual se prepara el terreno para la explanación mediante el retiro de árboles, arbustos y demás materiales que puedan obstaculizar las demás actividades que se realizan en la vía. Estas actividades se ejecutan con Bulldozer Caterpillar, que mediante su fuerza y posición de la hoja retiran toda la capa vegetal, orgánica y escombros del lugar de trabajo.

Este trabajo también consiste en el conjunto de actividades de excavar y cargar hasta el límite de acarreo el material seleccionado para el afirmado de la vía. Este trabajo se realiza con la retroexcavadora Massey Ferguson, tal como se muestra el figura 8.

**Figura 8. Proceso de excavación**



**Fuente: Secretaria de Planeación - Alcaldía de La Unión Sucre.**

### **2.1.2. Acarreo**

Esta actividad consta en cargar y transportar el material seleccionado para el afirmado de la vía (balastro) desde la fuente de influencia del material hasta el lugar donde se va a desarrollar la obra, este trabajo se realiza con volquetas Dodge modelo 70.

El Constructor deberá acarrear y verter el material de tal modo, que no se produzca segregación, ni se cause daño o contaminación en la superficie existente. Cualquier contaminación que se presentare, deberá ser subsanada antes de proseguir el trabajo.

La colocación del material sobre la capa subyacente se hará en una longitud que no sobrepase los mil quinientos metros (1500 m) de las operaciones de mezcla, conformación y compactación del material.

Los materiales y escombros provenientes de los lugares de trabajo son transportados a los sitios de disposición y desecho, en muchos casos con tractores Ursus, cuando las distancias son cortas; aunque estas máquinas son utilizadas en la mayoría de los casos en la realización de proyectos agroindustriales.

### **2.1.3. Extendido**

Estas actividades se ejecutan con motoniveladoras Caterpillar y Mitsubishi, que son usadas para nivelar el terreno donde se realizara la obra, también son utilizadas para remover el balastro que es depositado por las volquetas, a lo largo y ancho de toda la vía tal como se muestra en la figura 9.

**Figura 9. Proceso de Extendido**



**Fuente: Secretaria de Planeación - Alcaldía de La Unión Sucre.**

#### **2.1.4. Humectación**

Esta actividad se realiza con un tanque aspersor para riego vial, el cual consiste en humedecer el balastro de tal manera que el agua penetre entre las capas del mismo para ocupar espacios con aire y así evitar el rozamiento entre las mismas para que este se adhiera a la vía con mayor facilidad durante el proceso de compactación tal como se muestra en la figura 10.

**Figura 10. Proceso de humectación**



**Fuente: Secretaria de Planeación - Alcaldía de La Unión Sucre.**

#### **2.1.5. Compactación.**

Una vez que el material tenga la humedad apropiada y este conformado debidamente, se compactara con el equipo apropiado hasta lograr la densidad específica.

La compactación se efectúa longitudinalmente comenzado por los bordes exteriores y avanzando hacia el centro, traslapando en cada recorrido un ancho no menor de un tercio del ancho del rodillo compactador. En las zonas peraltadas<sup>2</sup>, la compactación se hará del borde inferior al superior tal como se muestra en la figura 11.

**Figura 11. Proceso de compactación**



**Fuente: Secretaria de Planeación - Alcaldía de La Unión Sucre.**

---

<sup>2</sup> PLANEACIÓN, SECRETARIA, Especificaciones técnicas. La Unión de Sucre. 34P.

## 2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La alcaldía del municipio de La Unión de Sucre, en conjunto con la secretaria de planeación, cuenta con una flota de maquinaria propia y contratada tipo pesada, la cual se utiliza para el mantenimiento de las vías de acceso que comunican al municipio con los pueblos vecinos y con las veredas aledañas. Las vías que comunican al municipio con los distintos lugares próximos a él son destapadas, razón por la cual las maquinas utilizadas para su mantenimiento tienen que contar con excelente disponibilidad especialmente en épocas de lluvias, en donde las vías sufren el mayor deterioro imposibilitando el tránsito vehicular tal como se muestra en la figura 12.

**Figura 12. Estado de la vía en época invernal**



**Fuente: Secretaria de Planeación - Alcaldía de La Unión De Sucre.**

En cuanto al mantenimiento de las máquinas, el problema radica que el mantenimiento que se le realiza a los equipos es de tipo reactivo, se ejecuta hasta que un elemento de la maquina falle o no se ejecuta en el momento oportuno por la severidad de la falla (*Ver figura 13*), ya que el municipio no cuenta con un área de mantenimiento que se encargue de llevar acabo las actividades de manera programada y que garantice la disponibilidad de los equipos.

**Figura 13. Motoniveladora Mitsubishi MG - 300T**



**Fuente: Secretaria de Planeación - Alcaldía de La Unión Sucre.**

Otro problema que se presenta es que la alcaldía no cuenta con formatos, guías o plan de mantenimiento para los elementos de las máquinas críticas,

razón por lo cual estos elementos están sometidos a una probabilidad de falla mayor a la especificada por el fabricante.

## **2.3. OBJETIVOS**

### **2.3.1. Objetivo General**

Plantear un modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (*RCM*), para la máquina de mayor criticidad que realiza el mantenimiento vial del municipio de La Unión de Sucre.

### **2.3.2. Objetivos Específicos**

- ✓ Identificar la línea de maquinaria crítica por medio de un análisis de criticidad, haciendo una representación taxonómica de los elementos del sistema, a los cuales se le va aplicar la metodología del RCM.
- ✓ Identificar y clasificar las funciones principales y secundarias de la maquinaria crítica seleccionada, registrar sus modos de falla, describir sus efectos e instaurar el plan mantenimiento originado, al aplicar las herramientas de soporte del RCM.
- ✓ Diseñar y elaborar formatos de toma de datos de equipos durante el desarrollo del mantenimiento preventivo, con el fin de proponer a la secretaria de planeación de la Unión de Sucre, la creación de un área de mantenimiento, teniendo como punto de partida el desarrollo del segundo objetivo específico, con el fin de garantizar la mayor seguridad, disponibilidad y confiabilidad de las maquinarias que realizan el mantenimiento vial del municipio de la Unión de Sucre.

## 2.4. JUSTIFICACIÓN

Esta monografía tiene como meta plantear un modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (*RCM*) para los activos que integran el área de mantenimiento vial del municipio de La Unión de Sucre con las siguientes justificaciones:

- La alcaldía de La Unión de Sucre en conjunto con la secretaria de planeación, contara con un plan de mantenimiento donde se explicara la función del activo, los modos de fallos y efectos a los cuales van estar sometidos dichos activos, dándole una idea al secretario de planeación de distribuir de forma efectiva los recursos a la gestión del mantenimiento tomando en cuenta la importancia de los equipos dentro de su contexto operacional.
- Dentro del plan de mantenimiento, también se explicara la frecuencia y el tipo de tarea a realizar a cada elemento de máquina, garantizando la disponibilidad y confiabilidad, para que dichos activos operen de forma eficiente dentro su contexto operacional, permitiéndoles cumplir con la función por las cuales fueron diseñados.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. MODOS DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

Se entiende por gestión del mantenimiento a la realización de diligencias encaminadas a determinar, organizar y administrar los recursos del mantenimiento, con el objeto de lograr la más alta disponibilidad de los equipos con sano criterio económico.

La gestión puede realizarse científicamente o en forma improvisada y entonces:



La siguiente clasificación (*Ver tabla 3*), como la mayoría de las clasificaciones que se hacen sobre las diferentes formas de gestión del mantenimiento, son esencialmente académicas por cuanto en la empresa “mantenimiento es un sistema” ya que en la empresa, el mantenimiento está constituido por una o varias formas de gestión, para los diferentes equipos y aun para un mismo equipo. Así, un equipo tiene actividades de mantenimiento correctivo, actividades de mantenimiento preventivo, etc.

Por ejemplo: a un motor determinado se le hará la lubricación (*Mantenimiento Preventivo Periódico*); si lo requiere, se le harán mediciones de temperatura y vibraciones (*Mantenimiento Predictivo*); quizás se le haga una puesta a punto anual (*Overhaul*); y se le hagan reparaciones de las averías que vayan surgiendo (*Mantenimiento Correctivo*). La mezcla más idónea de todos estos tipos de mantenimiento la dictaran estrictas razones ligadas a la seguridad, al impacto ambiental y al costo de las pérdidas de producción; en una parada de ese equipo, al costo de reparación y a la calidad del producto o servicio entre otras.

El asunto, entonces es estudiar en detalle cada una de las características teóricas de los diferentes modelos de gestión del mantenimiento, para que a

través de la ingeniería de mantenimiento, se escoja el mejor modo ante la situación presentada y se diseñen las estrategias gerenciales para lograr el mejor costo eficacia de las intervenciones.

**Tabla 3. Modos de gestión del mantenimiento**

<b>MODOS DE GESTION DEL MANTENIMIENTO</b>	<b>CARACTERISTICAS PRINCIPALES</b>
Mantenimiento Correctivo ( <i>MC</i> )	Acciones reactivas; actuar después de...
Mantenimiento con proyecto mejorativo	Ingeniería de proyecto o diseño o rediseño.
Mantenimiento Preventivo ( <i>MP</i> )	Técnicas, metodologías; actuar antes de...
Mantenimiento basado en condición ( <i>CBM</i> )	Tecnologías y metodología; determina el estado.
Mantenimiento Predictivo ( <i>MPd</i> )	Tecnología; redice la condición.
Mantenimiento Productivo Total ( <i>TPM</i> )	Estrategia empresarial; reducir perdidas.
Mantenimiento Centrado en Confiabilidad ( <i>RCM</i> )	Estrategia y táctica ingenieril; costo más eficaz.
Mantenimiento Proactivo ( <i>MPa</i> )	Actuar antes de...; resolver la causa raíz.
Mantenimiento Integral	Terotecnología; combinación de lo mejor, gestión de activos y confiabilidad.
Mantenimiento Detectivo	Búsqueda de fallas ocultas.

**Fuente: Especialización en Gerencia de Mantenimiento, clase de Mantenimiento Preventivo, Carlos Ramón Gonzales.**

### **3.1.1. Mantenimiento Proactivo**

Es una técnica enfocada en la identificación y corrección de las causas que originan las fallas en equipos, componentes e instalaciones industriales; esta técnica implementa soluciones que atacan las causas de los problemas no los efectos. La implementación de prácticas de mantenimiento proactivo, se enfocan en la identificación de la causa raíz de falla de casos recurrentes y en la detención de oportunidades de mejora que incrementen la vida de los activos.

Funciona bajo los siguientes principios: mejorar los procedimientos antes de que se causen fallas, evitar las paradas para mantenimiento correctivo, aumentar las frecuencias del mantenimiento preventivo.

### **3.1.2. Mantenimiento Correctivo**

Consiste en permitir que un equipo funcione hasta el punto en que no puede desempeñar normalmente su función. Se somete a reparación hasta corregir el defecto y se desatiende hasta que vuelva a tener una falla y así sucesivamente.

Es posible realizarlo siempre y cuando el equipo no afecta la producción, la realización del mantenimiento es fácil, se cuenta con un equipo gemelo, cuando se encuentra sin utilizar y fácilmente se puede costear un nuevo equipo.

### **3.1.3. Mantenimiento Con Proyecto**

Es el mantenimiento con eliminación de los defectos de una maquina o instalación actuando directamente sobre el mismo proyecto o diseño del equipo. Es un sistema de estudio de métodos y alternativas aplicables a los defectos a los equipos que exigen mantenimiento, con el objeto que no vuelvan a repetirse. También suele llamársele mantenimiento mejorativo o con diseño y este merece una atención especial en razón a que su resultados afectan sensiblemente: los registros técnicos de equipos, las frecuencias de inspección, el sistema de repuesto e inventarios y el programa de mantenimiento.

### **3.1.4. Mantenimiento Preventivo**

Entre los modos o tipos de gestión del mantenimiento más importantes está el mantenimiento preventivo. Este mantenimiento es una filosofía más que una técnica, que va desde el inicio del diseño del equipo, donde se establece su

eficiencia y mantenibilidad hasta que sea reemplazado debido a que sus costos de mantenimiento son altos.

El mantenimiento preventivo puede variar desde simples rutas de lubricación, inspección o limpieza hasta el más complejo sistema de monitoreo en tiempo real de las condiciones de operación de los equipos, pasando por programas ingenieriles de apriete de tuercas y tornillos (*con especificaciones de torques de apriete y sistemas de fijación para impedir aflojamientos*); programas de pintura especiales para grandes superficies y otros como se muestra en la figura 14.

**Figura 14. Los grandes procedimientos del mantenimiento siglo XXI**



**Fuente: Especialización en Gerencia de Mantenimiento, clase de Mantenimiento Preventivo, Carlos Ramón Gonzales.**

Bajo estas estas premisas se diseña un programa con frecuencia calendario o uso de equipo, para realizar cambios de sub-ensamble, cambio de partes, reparaciones, ajustes y cambio de aceite.

Uno de los problemas más importantes a resolver en el estudio del mantenimiento preventivo, es determinar las frecuencias con las cuales deben realizarse cada una de las actividades. Por ejemplo, cada cuanto tiempo debe inspeccionarse el nivel de aceite en el cárter de una determinada transmisión, cada cuanto tiempo debe cambiarse el aceite en un motor, cada cuanto tiempo deben hacerse mediciones por termografía y vibraciones.

Este tema es abordado de muy diversas formas por los autores del mantenimiento, según sus propios intereses. Antiguamente se utilizaba el esquema mostrado en la tabla 4, la filosofía consistía en utilizar todo lo que tengamos a mano; hoy en día se recomienda para el mantenimiento preventivo del siglo XXI, mostrado en la tabla 5.

**Tabla 4. Fuente tradicional para determinar las frecuencias MP**

<b>FUENTE PRIMARIA</b>	<b>APLICACION</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
<i>Catalogos, manuales del fabricante</i>	Vida util. Se aplica durante uno o dos años según garantía	Altos costos
<i>Conocimiento del personal</i>	Operador mantenedor	Subjetivo
<i>Bitacora y otros elementos</i>	Sistemas de informacion CMMS	Estadísticas, calculos de tiempo promedio entre fallas (TPEF)

**Fuente: Especialización en Gerencia de Mantenimiento, clase de Mantenimiento Preventivo, Carlos Ramón Gonzales.**

**Tabla 5. Fuentes para determinar las frecuencias de mantenimiento preventivo y mantenimiento basado en condición**

<b>DOCUMENTACION TECNICA TRADICIONAL</b>		
<b>FUENTE PRIMARIA</b>	<b>APLICACION</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
<i>Catalogos, manuales del fabricante</i>	Vida util. Se aplica durante uno o dos años según garantía	Altos costos
<i>Conocimiento del personal</i>	Operador mantenedor	Subjetivo
<i>Bitacora y otros elementos</i>	Sistemas de informacion CMMS	Estadísticas, calculos de tiempo promedio entre fallas (TPEF)
<b>FUNCION</b>		
<i>Estadísticas, curva de probabilidad de falla</i>	Componentes que satisfacen los modelos de falla en función de la edad	Son aquellos sometidos a desgaste
<i>Curvas PF, curvas <math>\lambda - t</math></i>	Componentes cuyo modelos de falla es o no función de la edad	La falla es aleatoria, componentes electrónicos y otros; también para desgaste
<i>Disponibilidad y confiabilidad</i>	Componentes de seguridad o alarmas, stand by o redundantes	Si la falla es oculta

**Fuente: Especialización en Gerencia de Mantenimiento, clase de Mantenimiento Preventivo, Carlos Ramón Gonzales.**

### **3.1.5. Mantenimiento Basado en Condición**

Los primeros programas de mantenimiento preventivo a principios de los años sesenta (60), estaban enfocados a realizar periódicamente unas series de actividades de remplazo overhaul con frecuencias basadas en el comportamiento histórico de las tasas de fallas de los equipos, lo que permitía reducir las fallas originadas en la zona de desgaste representadas en la curva de la bañera. Sin embargo, no paso mucho tiempo para que la gente de mantenimiento se diera cuenta que estas actividades no cubrían la zona de la curva donde ocurren la fallas de forma aleatoria, las cuales son responsables

de más del 80% de las paradas no programadas y que el modelo de falla representado por esta curva solo correspondía a muy pocos equipos y componentes instalados en una planta.

Fue así como en los años setenta (70), se empezaron a establecer programas de monitoreo de la condición de los equipos. Estos programas se basan en que todas las fallas están precedidas de signos o síntomas, llamadas también fallas potenciales. Detectar a tiempo esos síntomas constituye la esencia del mantenimiento basado en condición. Porque de no lograrlo, se llegaría tarde a la falla y se convertiría en mantenimiento correctivo indeseable.

El estado o condición del equipo, se determina mediante el monitoreo de variables físicas como lo son: análisis de aceites y demás fluidos, análisis de vibraciones en equipos rotativos, comportamiento de la temperatura, medición en aparatos eléctricos y electrónicos, espesor de paredes, análisis de gases de combustión, medición de presión y velocidad. (*Ver figura 15*)

Según la forma del monitoreo del estado o condición del equipo, puede ser:

#### **3.1.5.1. Monitoreo puntual**

Se realiza según una rigurosa planeación y un programa específico. Se efectúa en forma puntual en cada parte del equipo o maquinaria que se desea monitorear. Se establece una frecuencia (*intervalos de inspecciones*), un historial y se van realizando las actividades necesarias.

#### **3.1.5.2. Monitoreo en línea**

Se realiza según una rigurosa planeación y un programa específico, se efectúa en forma continua, es decir mientras el equipo está en funcionamiento, en cada parte del equipo o maquinaria que se desea monitorear. Se establece un historial y se van realizando las actividades necesarias.

**Figura 15. Análisis Termográfico**



**Fuente: [www.logismarket.es](http://www.logismarket.es)**

La aplicación de este mantenimiento tiene un costo elevado, pero la información obtenida es la base para la ejecución del mantenimiento preventivo.

Es utilizada en las grandes empresas, pero como mantenimiento tiene sus ventajas y desventajas

#### *Ventajas*

- ✓ Al inicio la inversión es grande, pero a la larga es económico.
- ✓ Se domina el proceso y a tener datos técnicos, llevando a un método científico.
- ✓ Disminuye el costo de la mano de obra, los repuestos y el tiempo en reparar.
- ✓ Mejora la calidad del mantenimiento.

### *Desventajas*

- ✓ Se destina personal adecuado para la realización de la lectura e interpretación periódica de los datos.
- ✓ Solo se implementa en equipos críticos que afectan la producción y generen grandes costos por su parada.

#### **3.1.6. Mantenimiento Predictivo**

Cuando a partir de los datos de la inspección o monitoreo de la condición del equipo, es posible y se logra determinar la tendencia del proceso de falla, se denomina mantenimiento predictivo. También se le denomina mantenimiento basado en condición, porque se supone que el sistema, aun presentado un estado de falla continua funcionando.

#### **3.1.7. Mantenimiento Productivo Total**

El mantenimiento productivo se basa en el principio fundamental de que toda persona cuyo trabajo tenga algo que ver con un equipo, debe estar involucrada en su mantenimiento y administración con el fin de mantener a los equipos en un punto de máxima efectividad operativa.

#### **3.1.8. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad**

El mantenimiento centrado en confiabilidad es una metodología sistemática para diseñar planes que eleven la confiabilidad operacional de los equipos con un mínimo de costo y riesgo, mediante acciones justificadas de manera técnica y económica<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> GONZALES, Carlos Ramón. Mantenimiento preventivo: Bucaramanga, Escuela de Ingeniería Mecánica UIS P. 17 - 32.

## **4. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM**

### **4.1. HISTORIA**

La primera vez que se acuñó el término Mantenimiento Centrado en Confiabilidad fue en diciembre 28 de 1978 por STANLEY NOWLAN y HOWARD F. HEAP, quienes realizaron un trabajo para la United Airlines como parte de la mejora que requería la aviación civil en los Estados Unidos de América.

Posteriormente, el concepto y la metodología fueron optimizados y adaptados a otros tipos de industria como lo fue la transmisión de energía eléctrica y la generación eléctrica en centrales nucleares, entre otros, con aportes como los realizados por John Moubray en su libro RCM II.

Debido a la proliferación de variaciones de la metodología, la Society of Automotive Engineers, Inc. (*Sociedad de Ingenieros Automotrices*) generó una norma que define los criterios para llamar a un proceso de mejoramiento del plan de mantenimiento como RCM. Esa norma es la *JA 1011* y la complementa la *JA 1012* para la guía de implementación.

Hoy en día, son muchos los sectores industriales que tienen implementada la metodología o alguna de sus variaciones. Pero aún hay mucho por recorrer en el mejoramiento del mantenimiento y de sus planes. Igualmente, la metodología es tan consistente que ya se han iniciado aplicaciones a otros sectores. Por ello, se puede decir que a pesar de lo ya escrito, todavía hay mucho por desarrollar y escribir.

### **4.2. DEFINICIÓN DE RCM**

Es la metodología de gestión, en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo, se encarga de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades

más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los activos perteneciente a dicho sistema, tomando en cuenta los posibles efectos que originaran los modos de fallas de estos activos, a la seguridad al ambiente y a las operaciones.

El objetivo principal de RCM es que los activos continúen realizando las funciones para las que fueron diseñados.

#### **4.3. PREGUNTAS DE RCM ACERCA DEL EQUIPO Y SU DINÁMICA**

La contestación adecuada a las preguntas listadas a continuación garantizará la comprensión y contextualización de la operación del equipo dentro de su entorno.

1. Cuáles son las funciones y los modelos ideales de rendimiento del recurso en el actual contexto operativo? (*Funciones*).
2. En qué formas no puede cumplir sus funciones el equipo o sistema (*Fallas Funcionales*).
3. En qué condiciones el equipamiento fallará, se trata de describir los modos de falla potenciales.
4. Qué ocasiona cada falla funcional (*Modos de falla*).
5. Qué sucede cuando ocurre cada falla funcional (*Efectos de la falla*).
6. Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla.
7. Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada.

## **4.4. HERRAMIENTAS DE SOPORTE PARA CONTESTAR LAS SIETE PREGUNTAS DE RCM**

### **4.4.1. AMEF (*Análisis de los Modos y Efectos de Fallas*)**

Herramienta que permite identificar los efectos o consecuencias de los modos de fallos de cada activo. A partir de esta técnica se obtienen las respuestas de las preguntas de la uno a la cinco<sup>4</sup>.

#### **4.4.1.1. Método de evaluación de riesgo de AMEF**

Un típico AMEF incorpora algunos métodos para la evaluación del riesgo asociado con los problemas potenciales identificados en el análisis. El método más usado es el Número de Prioridad de Riesgo *NPR*.

##### **4.4.1.1.1. Numero prioridad de riesgo *NPR***

El *NPR* se considera como un método de evaluación del riesgo relativo a cada causa potencial. Se define como el producto del número de severidad de falla o gravedad de falla *G* y el número de frecuencia de falla *F*.

$$NPR = F * G$$

##### **4.4.1.1.1.1. Número de severidad *G***

La severidad es un valor, el cual mide la gravedad del efecto del modo de falla. La severidad es aplicada solamente a los efectos. La severidad es estimada en la escala del 1 al 10, tal como se muestra en la tabla 6.

##### **4.4.1.1.1.2. Número de frecuencias *F***

La frecuencia es un valor que corresponde a la proporción a la cual una causa de primer nivel y su modo de falla resultante ocurrirán sobre su vida de diseño del sistema o antes de cualquier adicional control de proceso es aplicado. La frecuencia de falla es estimada en una escala del 1 al 10 y es aplicada a los modos de falla<sup>5</sup>, tal como se muestra en la tabla 7.

---

<sup>4</sup> ORTIZ, Daniel. Mantenimiento centrado en confiabilidad MCC: Ortruiz consultores, P. 89.

<sup>5</sup> SILVA, Eduardo. Diseño de un sistema de mantenimiento para equipos móviles de transporte de carga terrestre. Trabajo de grado. [Consultado el 15 de enero de 2014].

**Tabla 6. Severidad de las Fallas**

<b>RANGO</b>	<b>EFEECTO</b>	<b>COMENTARIO</b>
1	Ninguno	La falla no tendrá efecto en el ambiente, la salud, la seguridad y la función del sistema.
2	Muy leve	Perturbación menor, funcionamiento posible, acción correctiva durante el funcionamiento.
3	Leve	Igual que la anterior, pero con una acción correctiva que puede durar mucho más.
4	Entre leve y moderado	Perturbación menos, probabilidad de reacomodar la función del sistema o demora del proceso.
5	Moderado	Demora del 100% del sistema o reacomodación total.
6	Entre moderado y alto	Se pierde una parte importante de la función del sistema, demora en la reparación.
7	Alto	Alta pérdida en la función del sistema, demoras mayores para restaurar el funcionamiento.
8	Muy alto	Se pierde la función, gran demora la reparación.
9	Riesgoso	Inconvenientes graves en cuanto a seguridad, salud y ambiente. La falla puede ser detectada.
10	Muy riesgoso	Igual que la anterior, la falla ocurrirá sin advertencia previa.

**Fuente: Carlos Eduardo Silva M.**

**Tabla 7. Probabilidad de Ocurrencia de las Fallas**

<b>RANGO</b>	<b>PROBABILIDAD</b>	<b>COMENTARIO</b>
1	Ocurrencia en más de 5 años	Probabilidad remota, no se espera falla.
2	Ocurrencia entre 3 y 5 años	Probabilidad baja, poco falla.
3	Ocurrencia entre 1 y 3 años	
4	Ocurrencia por año	Ocasional.
5	Ocurrencia cada 6 meses en 1 año	Moderada, ocasionalmente falla.
6	Ocurrencia cada 3 meses	
7	Ocurrencia por mes	Alta, continuamente falla.
8	Ocurrencia por semana	
9	Ocurrencia cada 3 o 4 días	Muy alta, la falla es casi inevitable.
10	Más de una ocurrencia por día	

**Fuente: Carlos Roberto Córdoba Morales.**

**Tabla 8. Severidad de las Fallas**

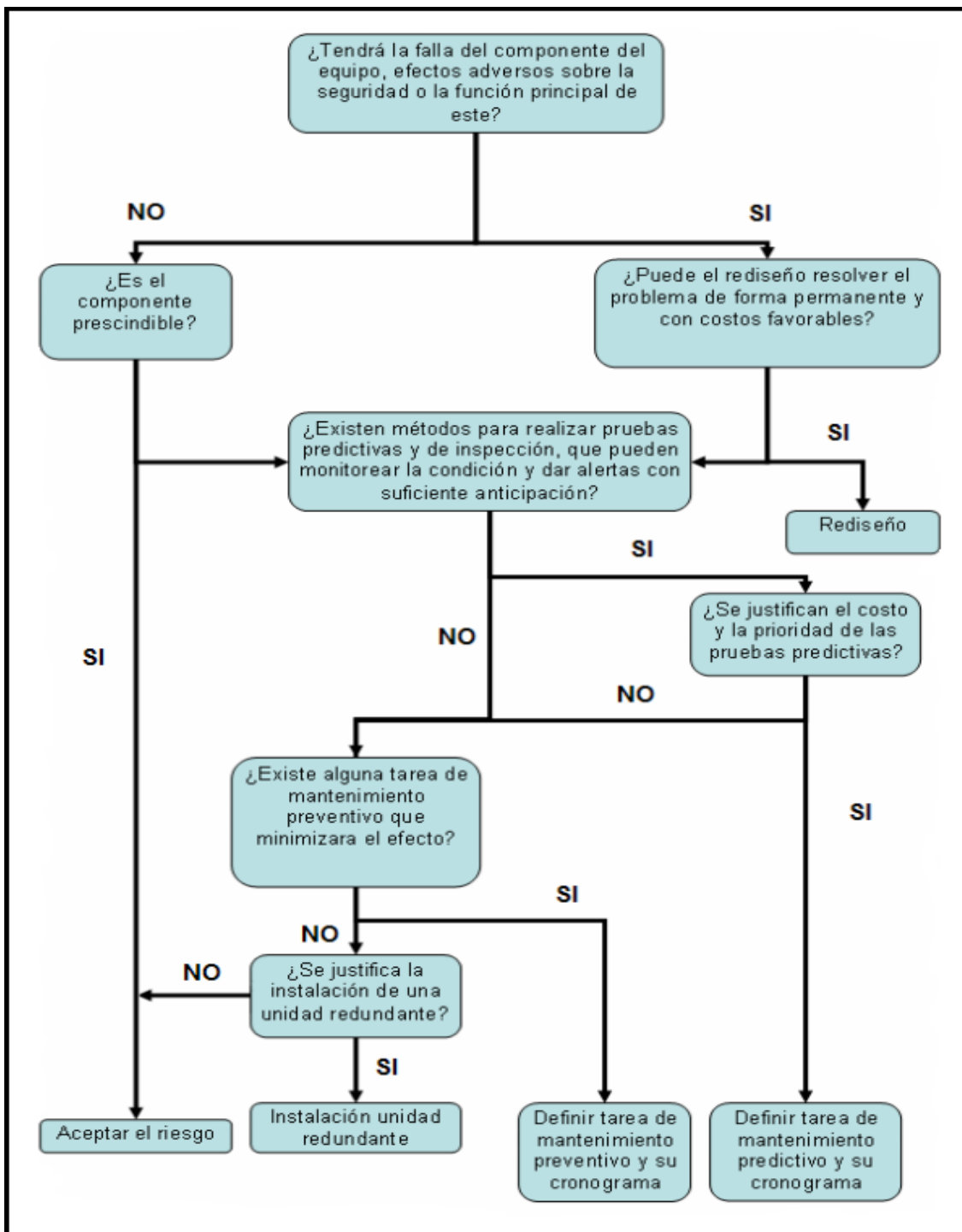
<b>COMPONENTE DEL NPR</b>	<b>CLASIFICACION</b>	<b>PESO</b>
<b>Índice de riesgo NPR</b>	Bajo	1 a 5
	Medio	5 a 10
	Alto	10 a 20
	Muy alto	20 a 100

**Fuente: Carlos Eduardo Silva M.**

#### **4.4.2. Árbol Lógico de Decisión**

Herramienta que permite seleccionar de forma óptima las actividades de mantenimiento según la filosofía de RCM, a partir de esta técnica se obtienen las respuestas de las preguntas seis y siete tal como se muestra en la figura 16.

Figura 16. Árbol Lógico de Decisión

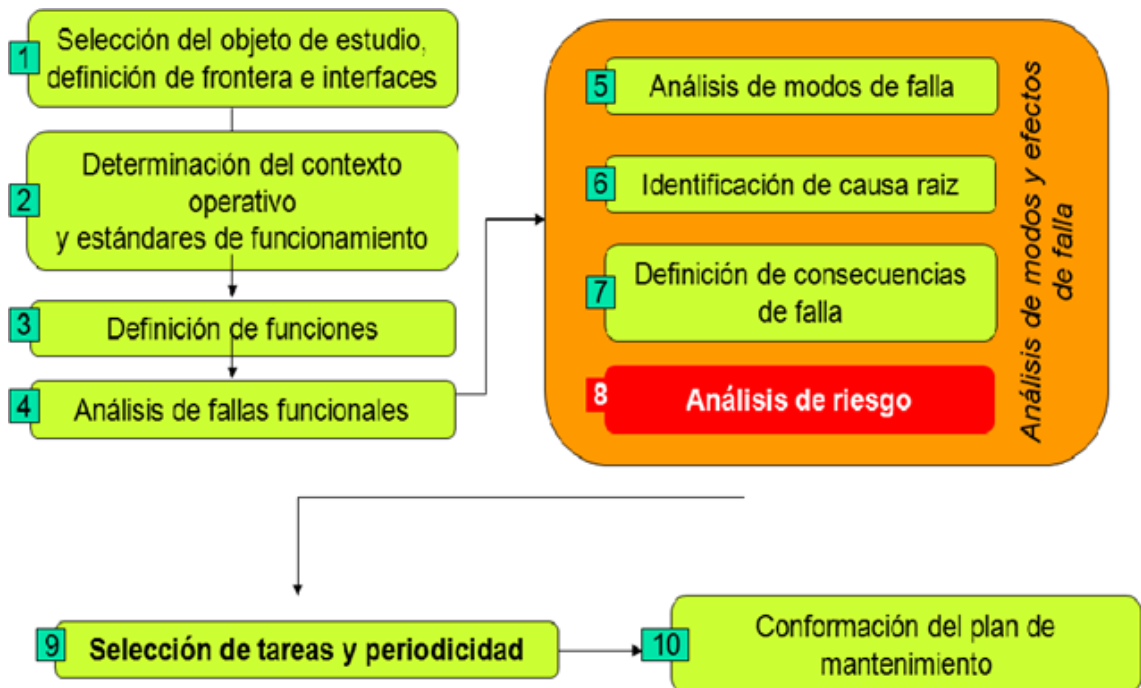


Fuente: Carlos Eduardo Silva.

## 4.5. DIAGRAMA DE FLUJO DE RCM

En forma general el diseño a utilizar para realizar el desarrollo de la presente monografía y contestar las siete preguntas de la metodología de RCM se resume en el siguiente diagrama de flujos, tal como se muestra en la figura 17.

Figura 17. Diagrama de Flujo de RCM



Fuente: Especialización en Gerencia de Manteniendo, clase de RCM, Daniel Ortiz Plata.

### 4.5.1. Taxonomía y Fronteras

Cuando se trata de resolver problemas, una de las claves es conocer y definir exactamente cuál es. De la misma manera, en esta metodología se requiere definir con precisión el elemento objeto de análisis. ¿Por dónde, entonces comenzar a la identificación del objeto de análisis? La respuesta es: La

taxonomía, definida como la “Ciencia que trata de los principios, métodos y fines de la clasificación”.

#### **4.5.2. Contexto Operacional**

El contexto operacional es una descripción del sistema a analizarse, desde lo más general hasta lo más específico, detallando la importancia del sistema para el negocio. Para el desarrollo del contexto operacional se debe tener en cuenta los siguientes factores: perfil de operación, ambiente de operación, alarmas, monitoreo de primera línea, disponibilidad de repuestos, herramientas y personal, disponibilidad de equipos de respaldo, reglamentos y normativas medio ambientales.

A partir del contexto operacional, se debe determinar las funciones que el usuario desea que un sistema realice.

#### **4.5.3. Funciones**

Las funciones son las acciones que el usuario requiere que el activo realice. Las funciones se componen mayor mente de un sustantivo, un verbo y un estándar de funcionamiento. Por ejemplo:

Detener la bomba a *300 psi*.

*Verbo + Sustantivo + Estándar de Funcionamiento.*

Las funciones se dividen en dos tipos, las funciones principales y las secundarias. Las funciones principales se encuentran relacionadas con las razones por las cuales se ha adquirido un activo, entre estas se encuentran la capacidad de producción, calidad del producto, capacidad de almacenamiento, entre otras.

Las funciones secundarias son aquellas características adicionales que permite al sistema cumplir con las funciones principales, están relacionadas con la

seguridad, el confort, el control, contención, integridad estructural, apariencia del activo, entre otras.

#### **4.5.4. Modos de Falla**

Los modos de falla son los eventos que pueden causar una pérdida de función o una falla funcional. Los modos de falla deben ser determinados bajo los siguientes factores:

- Deben ser razonablemente probables de ocurrir.
- Deben incluirse los modos de falla que han ocurrido previamente, los que son prevenidos con el plan de mantenimiento actual y los que no han ocurrido pero son razonablemente probables de ocurrir.
- Se debe incluir los modos de falla relacionados con el desgaste, defectos de diseño y errores humanos durante la operación y mantenimiento.

Las descripciones de los modos de fallas debe tener como mínimo un sustantivo y un verbo. Por ejemplo:

Motor quemado por sobre voltaje.

*Verbo + sustantivo.*

#### **4.5.5. Efectos**

Los efectos de las fallas, indican lo que pasaría si ocurriera cada modo de falla. Se debe considerar los siguientes factores cuando se describen los efectos de las fallas:

- Se debe describir el efecto de un modo de falla como si ninguna tarea específica se estuviera haciendo para anticiparse o prevenir la falla.
- Se debe incluir la evidencia de que el modo de falla se haya presentado.
- Se debe describir como podría el modo de falla poner en riesgo la seguridad de las personas y la integridad del medio ambiente.

- Se debe describir como podría el modo de falla tener un efecto adverso sobre la operación<sup>6</sup>.

#### **4.5.6. Toma de decisiones a partir del índice de riesgo**

Una vez calculados los NPR, se deben desarrollar planes de acción para eliminar o corregir el problema potencial, básicamente se responden preguntas del estilo ¿Qué debe hacerse para predecir o prevenir cada falla?, en este punto son de mucha ayuda los análisis causa-raíz o espina de pescado.

La teoría del RCM, propuesta y aplicada por la NASA, hace uso de una cadena de razonamiento lógico figura 16, en cuanto a la determinación del modo de proceder con respecto a los escenarios de falla encontrados, donde se llega por ultimo a cinco alternativas posibles: aceptar el riesgo de la falla, instalar unidades redundantes, definir actividades de mantenimiento preventivo, programar actividades de mantenimiento predictivo y proponer rediseño del sistema.

##### **4.5.6.1. Aceptación del Riesgo de la Falla.**

Cuando no resulta viable por razones de prioridad, costos y variabilidad de las frecuencias de falla. Se aplican tareas de mantenimiento correctivo, se asume el riesgo de la falla y se estudia la posibilidad de realizar un monitoreo constante del sistema, subsistema o componente.

##### **4.5.6.2. Instalación de Unidad Redundante.**

Consiste en proveer al sistema un equipo alternativo, el cual se ponga en marcha en caso de fallar algunos de los componentes y se realice un reemplazo temporal.

---

<sup>6</sup> POVEDA, Alejandro. Aplicación de la Metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para el Desarrollo de Planes de Mantenimiento [Consultado el 25 de diciembre de 2013]. Disponible en <[http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/20586/1/Articulo%20CIC  
YT%20APOVEDA%20RCM.pdf](http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/20586/1/Articulo%20CIC%20YT%20APOVEDA%20RCM.pdf)>.

#### 4.5.6.3 Tareas de Mantenimiento Preventivo

Corresponden al conjunto de tareas de revisión, inspección, ajuste, lubricación desarrolladas a unas ciertas frecuencias (*recomendadas por fabricantes o fruto de la experiencia y seguimiento del personal a cargo del mantenimiento*), sumado a las posteriores tareas de mantenimiento correctivo.

#### 4.5.6.4 Tareas de Mantenimiento Predictivo

Es común en el mantenimiento hacerse de métodos de predicción de fallas, como los análisis de vibraciones y cámaras termográficas.

#### 4.5.6.5. Rediseño del Sistema

Este tipo de propuesta, hace modificaciones de forma y funcionamiento en el sistema, las cuales son meritorias a través de los análisis de costos<sup>7</sup>.

Para poder aplicar la metodología de RCM a la máquina de mayor criticidad se procede a realizar el **MASTER PLAN**, donde se muestran los lineamientos de las actividades e investigación de mantenimiento que se deben seguir de manera organizada, para que el equipo se mantenga siempre en perfectas condiciones y por mucho más tiempo. La ejecución de las actividades del **MASTER PLAN** en los plazos previstos proporcionará mayor vida útil a la maquina con máxima eficacia operativa.

Sólo un buen mantenimiento podrá asegurar el máximo rendimiento al equipo. Además, evitará perjuicios y pérdidas de tiempo originarios de quiebras o desgaste prematuro.

---

<sup>7</sup> MONTILLA, Carlos. Caso de aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM, previa existencia de mantenimiento preventivo. Pereira. Universidad tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701. P. 273 - 278.

## **5. MASTER PLAN**

El master plan es el conjunto de acciones de mantenimiento a ejecutar con cierta periodicidad o frecuencia, a equipos, infraestructura e instalaciones y activos en general. Generalmente se elaboran para uno o dos años calendario. El master plan para nuestro caso en estudio se ilustra en la tabla 9.

Tabla 9. Master Plan

MASTER PLAN DE LA RETROEXCAVADORA CARGADORA MF - 86														
ÍTEM	ACCIONES	RESPONSABLE	ASISTENCIA	TRIMESTRE I			TRIMESTRE II			TRIMESTRE III			TRIMESTRE IV	
1	Análisis de criticidad por medio la matriz de creps al sistema	Ingeniero líder	Técnico II											
2	Desarrollo del principio de funcionamiento del equipo	Técnico II	Ingeniero junior											
3	Análisis de la información de la falla.	Ingeniero líder	-											
4	Realización del RCM	Equipo de RCM	Equipo											
5	Análisis matriz modo de falla componente.	Ingeniero líder	Ingeniero junior											
6	Análisis 5W + 1W	Equipo	-											
7	Identificación de la causa raíz	Equipo	-											
8	Programación de rutinas de mantenimiento	Ingeniero líder	Ingeniero junior											
9	Monitoreo de rutinas de mantenimiento	Técnico II	Técnico I											

Fuente: Autores.

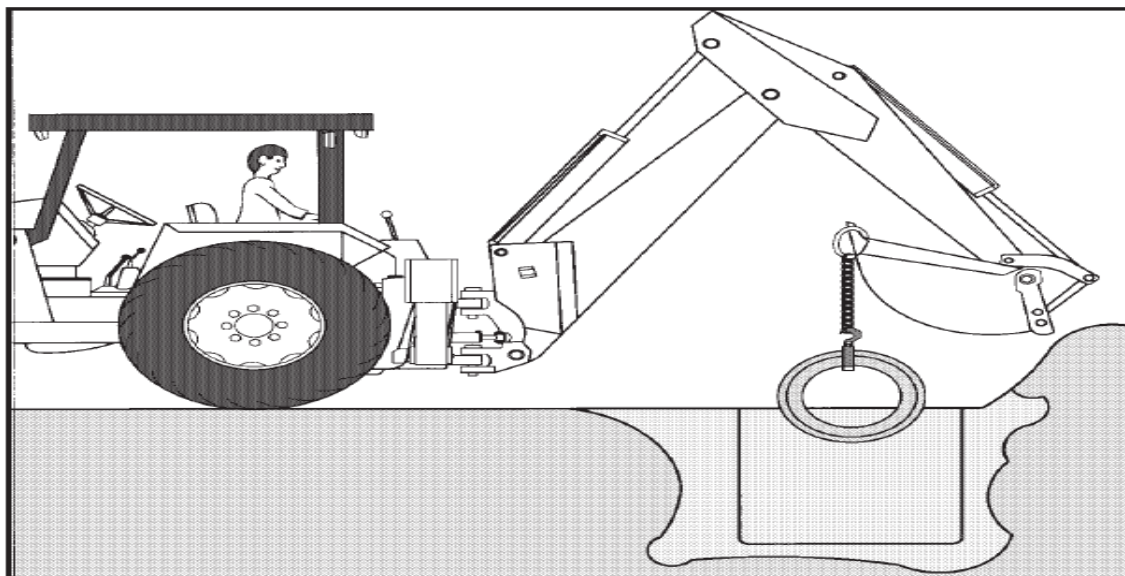
## 5.1. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Antes de iniciar el proceso de RCM es preciso hacer una selección del activo al cual se le va aplicar la metodología. Para esta selección, se debe hacer una evaluación del sistema encargado del proceso de mantenimiento vial, para así encontrar la maquina más crítica dentro del sistema.

La matriz de criticidad a utilizar en la evaluación del sistema encargado del proceso de mantenimiento vial es la matriz creps, la cual analizándolos los 5 criterios, nos dará como resultado la máquina que más afecta la operación. Esta matriz de priorización nos permite escoger entre varias opciones de forma sistemática, dando un puntaje de 3 a alto, 2 a medio y 1 a bajo, según los 5 criterios de evaluación tal como se muestra en la tabla 10.

Al aplicar el análisis por medio la matriz de creps se concluyó que la maquina más crítica es la retroexcavadora cargadora *MF-86*. Este resultado se puede explicar debido a las múltiples aplicaciones que tiene esta máquina; además de excavar y cargar el balastro a las volquetas también puede ser utilizada como grúa hidráulica. Una de las aplicaciones más usuales como grúa es en la colocación de tubos, tal como muestra a continuación. (*Ver Figura 18*)

**Figura 18. Usos de la Retroexcavadora en Trabajos de Grúa**



**Fuente: Manual del operador de la retroexcavadora cargadora MF – 86.**

**Tabla 10. Análisis de criticidad por medio la matriz de creps**

	<b>CRITERIOS</b>	<b>VOLQUETA DODGE 600 CHEVROLET 91</b>	<b>RETROEXCAVADORA CARGADORA MASSEY FERGUSON MF - 86</b>	<b>MOTONIVELADORA MITSUBISHI MG - 86</b>	<b>COMPACTADOR CATERPILLAR</b>	<b>BULLDOZER CATERPILLAR</b>	<b>TRACTOR MASSEY FERGUSON MF - 90 URSUS 6014</b>
<b>C</b>	Que impacto tiene este proceso de cara al cliente	3	3	3	3	3	1
<b>R</b>	Cual es el impacto del resultado del proceso	3	3	3	3	3	1
<b>E</b>	Cantidad de areas involucradas	3	3	3	1	1	3
<b>P</b>	Cantidad de problemas existentes en el proceso	2	3	1	2	2	1
<b>S</b>	Probabilidad de exito en la implementacion de mejoras en el proceso	3	3	3	2	2	1
	<b>TOTAL</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>7</b>

**Fuente: Autores.**

## 5.2. RETROEXCAVADORA – CARGADORA MF-86

La retroexcavadora MF-86 fabricada por AGCO (Ver Figura 19), es una de las máquinas de tipo pesado con que cuenta el municipio de la Union de Sucre, para llevar a cabo el proceso de mantenimiento vial, de las vias de acceso que comunican al municipio con las veredas y con los pueblos aledaños a el.

Su diseño le permite desarrollar diferentes actividades en las que se encuentran: primero excavar el material seleccionado (*balastro*) en la zona de influencia del material y segundo recoger material excavado por medio del cargador para luego depositarlo en las volquetas para posteriormente verterlo en la via donde se esta realizando el mantenimiento.

Las características técnicas y las condiciones operacionales de la retro excavadora cargadora MF-86 se registran en las tablas 11 y 12, con los sistemas que integran a dicha máquina, los cuales, hacen posible su funcionamiento durante el desarrollo de un trabajo. (Ver Figura 20)

**Figura 19. Retroexcavadora Cargadora MF - 86**



**Fuente: Secretaria de Planeación - Alcaldía de La Unión De Sucre.**

Tabla 11. Ficha técnica de la retroexcavadora cargadora MF – 86

<b>RETROEXCAVADORA CARGADORA MF - 86</b>	<b>MOTOR</b>	
	<i>Marca</i>	Perkins
	<i>Modelo</i>	P 4236
	<i>Tipo</i>	Diésel, 4 tiempos e inyección directa
	<i>Numero de cilindros</i>	4
	<i>Diámetros de los cilindros</i>	98.43 mm
	<i>Carrera del pistón</i>	127 mm
	<i>Relación de compresión</i>	16 : 1
	<i>Potencia máxima</i>	55.2 kW @ 2200 rpm
	<i>Para máximo</i>	275.6 N–m @ 1400 rpm
	<i>Tipo de camisas</i>	Secas y reemplazables
	<i>Sistema de lubricación</i>	A presión, bomba de aceite de engranajes con válvula de alivio incorporada
	<b>SISTEMA DE ALIMENTACION DE COMBUSTIBLE</b>	
	<i>Bomba elevadora de combustible</i>	De diafragma, accionada por el árbol de levas
	<i>Bomba inyectora</i>	Rotatoria, con regulador mecánico
	<i>Inyectores y portatoberas</i>	De baja inercia, 4 agujeros de pulverización
	<i>Presión de trabajo</i>	175 atm.
	<b>SISTEMA DE ENFRIAMIENTO</b>	
	<i>Tipo</i>	Presurizado, con bomba de agua
	<i>Radiador – tipo</i>	De tubos verticales y aletas horizontales
	<i>Ventilador</i>	Tipo aspirante, con 6 aletas
	<i>Bomba de agua</i>	Tipo centrifuga
	<b>TRANSMISION</b>	
	<i>Tipo</i>	Power Shuttle
	<i>Numero de marchas</i>	4 adelante – 4 atrás
	<i>Engranajes</i>	Sincronizado
	<i>Enfriamiento del aceite</i>	A través del radiador ubicado en frente del radiador del agua
	<b>SISTEMA HIDRAULICO</b>	
	<i>Bomba</i>	De engranajes
	<i>Caudal</i>	104 l/min @ 2200 rpm
	<i>Presión de alivio</i>	190 bar
	<b>SISTEMA ELECTRICO</b>	
	<i>Voltaje</i>	12 v
<i>Capacidad de alternador</i>	45 A	
<i>Batería</i>	90 A	
<b>SISTEMA DE DIRECCION</b>		
<i>Tipo</i>	Hidroestática	
<i>Bomba</i>	De engranajes	
<i>Caudal</i>	11 l/min @ 1000 rpm	
<i>Presión</i>	115 bar	

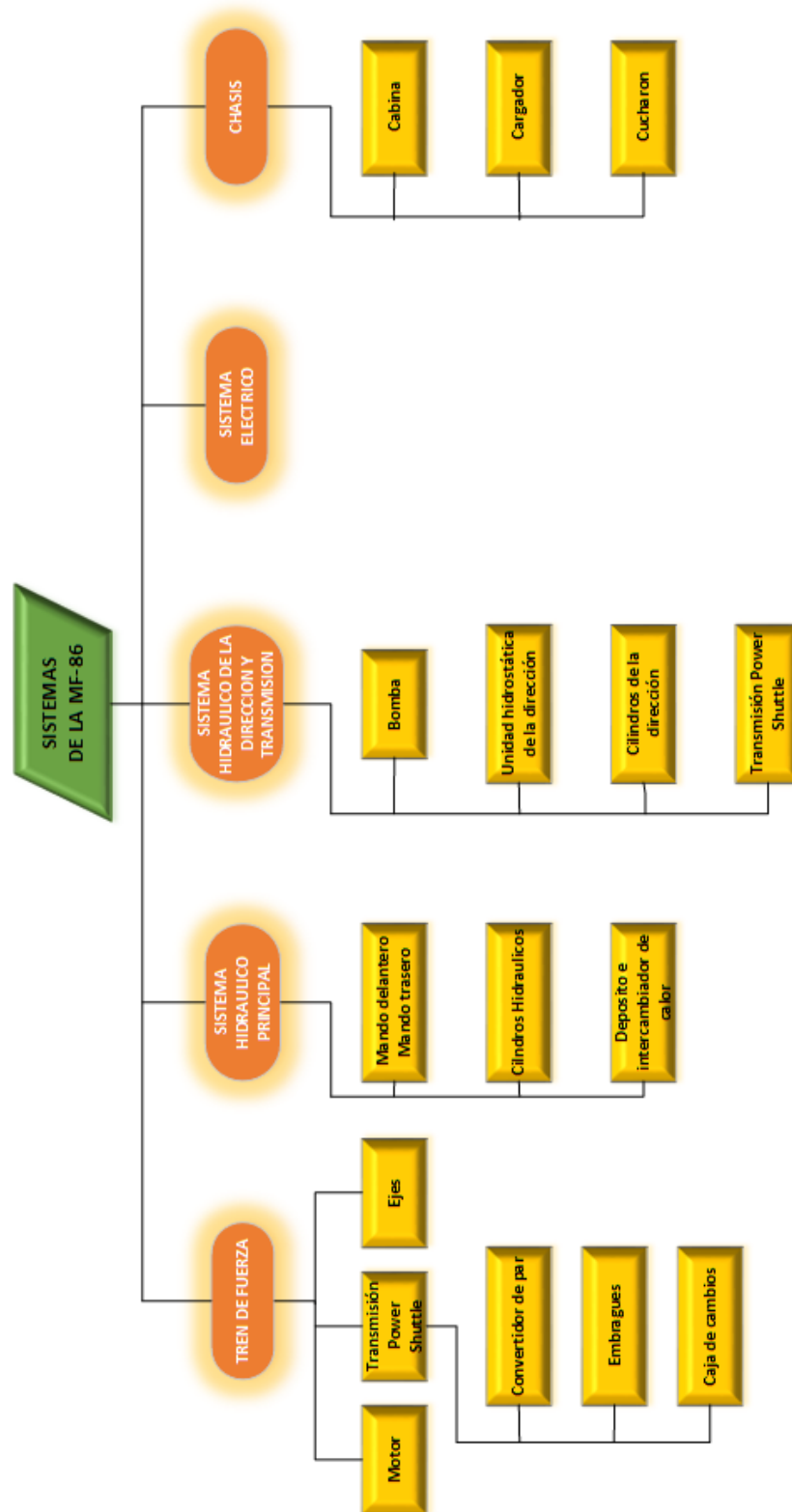
Fuente: Manual del operador de la retroexcavadora cargadora MF-86.

**Tabla 12. Condiciones operacionales de la retroexcavadora cargadora MF - 86.**

<b>RETROEXCAVADORA CARGADORA MF - 86</b>	<b>CARGADOR</b>	
	<i>Capacidad de levante a la máxima altura</i>	2550 kgf
	<i>Tiempo para elevarse a la máxima altura con carga</i>	4.36 seg.
	<i>Tiempo para elevarse a la máxima altura sin carga</i>	4.2 seg.
	<i>Tiempo de bajada con carga</i>	5.26 seg.
	<i>Tiempo de bajada sin carga</i>	2.52 seg.
	<i>Fuerza de excavación</i>	4335 kgf
	<i>Angulo de descarga</i>	53°
	<i>Tiempo de descarga</i>	1.44 seg.
	<i>Los datos hasta aquí, han sido determinados con una capacidad de 765 m<sup>3</sup> de carga volumétrica.</i>	
	<b>RETRO</b>	
	<i>Fuerza de excavación del cilindro de la tolva</i>	3562 kgf
	<i>Fuerza de excavación del cilindro de la lanza de profundidad</i>	3063 kgf
	<i>Capacidad de levantamiento de la lanza de profundidad</i>	2044 kgf
	<i>Capacidad de levantamiento de la columna</i>	718 kgf
	<i>Arco de giro</i>	176°
	<i>Rotación de la tolva</i>	160°
	<i>Distancia entre las zapatas de los estabilizadores (Posición de trabajo)</i>	3030 mm
	<i>Distancia entre las zapatas de los estabilizadores (Posición de transporte)</i>	2105 mm
	<i>Tiempo de levantamiento de la columna con carga</i>	5.3 seg
	<i>Tiempo de levante de la columna sin carga</i>	4.2 seg
	<i>Tiempo de descenso de la columna con potencia y con carga</i>	1.8 seg
<i>Tiempo de descenso de la columna sin potencia y sin carga</i>	1.4 seg	

**Fuente: Manual del operador de la retroexcavadora cargadora MF-86.**

Figura 20. Sistemas de la retroexcavadora cargadora MF - 86



Fuente: Manual de taller de la retroexcavadora cargadora MF - 86.

### **5.2.1. Transmisión Hidráulica Power Shuttle**

La transmisión power shuttle de la retroexcavadora *MF-86* es integrada por la caja de cambios, convertidor de torque y el embrague, a continuación se registran las descripciones de cada uno de estos elementos.

#### **5.2.1.1 Caja de Cambios**

La caja de cambios reversomatic permite cuatro velocidades para adelante y cuatro para atrás, la elección de las cuatro relaciones de engranaje se hace por acopladores del tipo sincronizado.

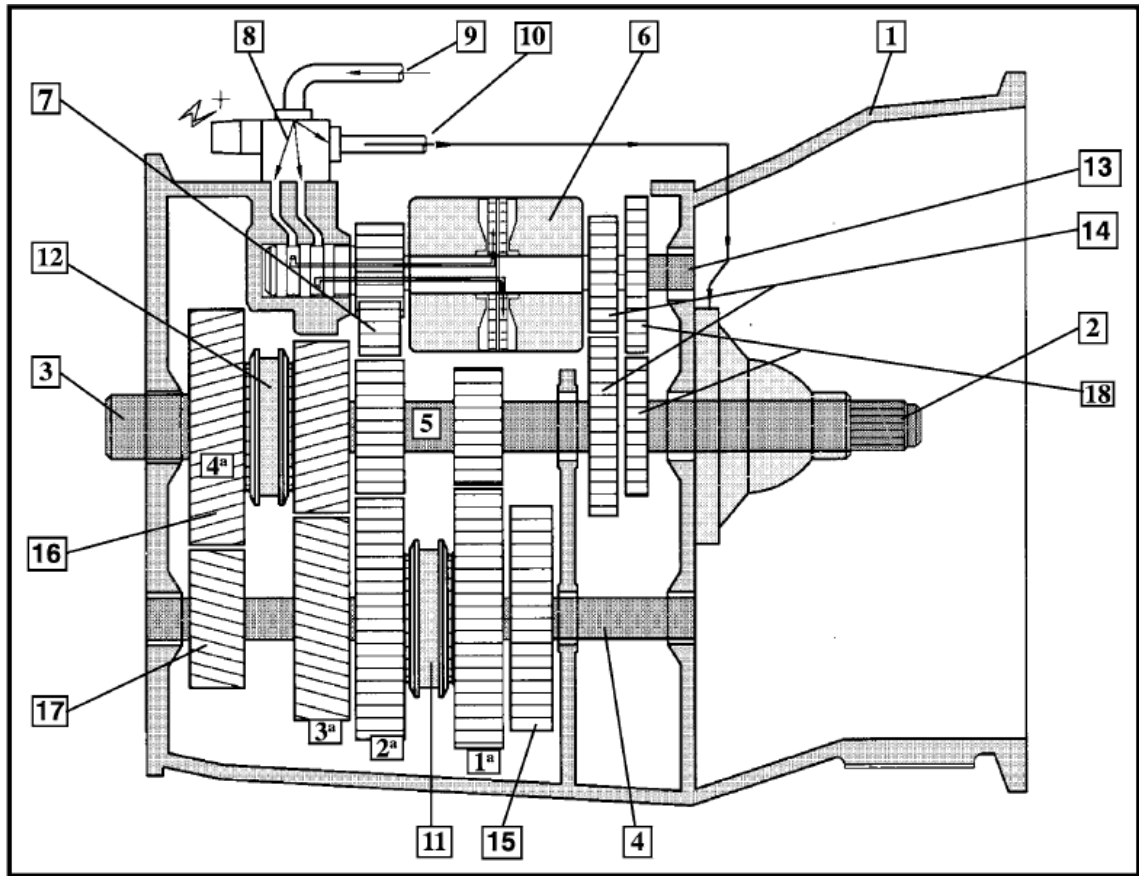
La potencia que viene del convertidor de torque pasa por el árbol de entrada 2 y sube hacia el árbol 13 de embragues reversores (*adelante – atrás*), a través del par de engranajes 18.

Al accionar el embrague delantero entran los cambios hacia adelante. El movimiento baja al árbol principal 5 a través del par de engranajes 14.

Si se acciona el embrague trasero del paquete se produce la inversión del movimiento a través del engranaje 7, es decir, con cualquier cambio engranado se consigue el desplazamiento de la máquina hacia atrás, ya que el movimiento del árbol principal 5 está invertido.

En 1ª, 2ª y 3ª, el movimiento va del árbol principal 5 al árbol secundario 4. En 4ª, la transferencia del movimiento es hecha al acoplar directamente el árbol principal 5, al árbol de salida 3, moviendo el acoplador 12 hacia atrás, tal como se muestra en la figura 21.

**Figura 21. Caja de cambios de reversión automática de la retroexcavadora cargadora MF - 86**



**Fuente: Manual de taller de la retroexcavadora cargadora MF - 86.**

### 5.2.1.2 Conversor de Torque

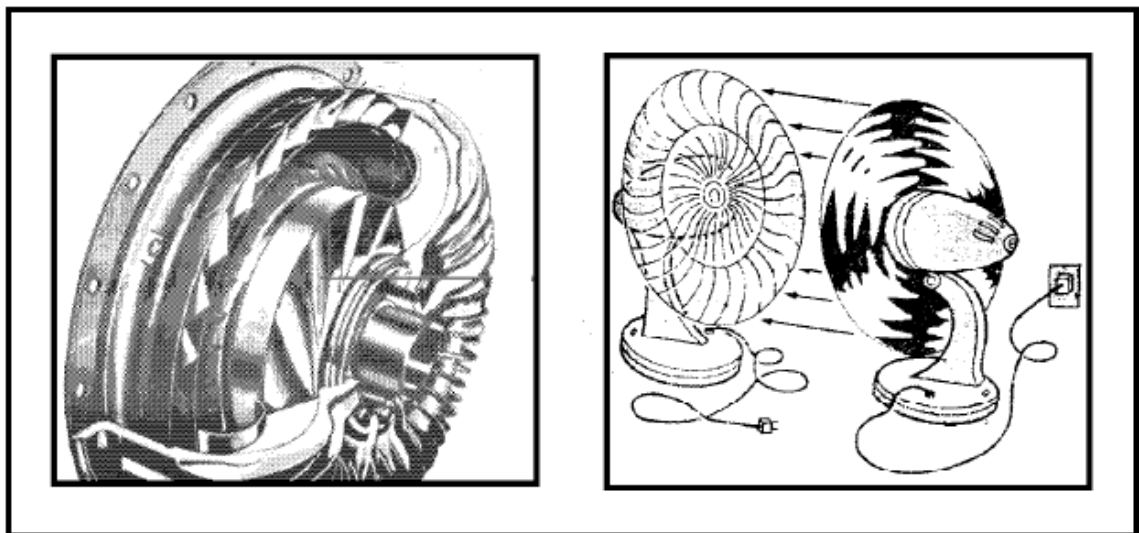
El convertor de torque es un componente mecánico que permite un acople entre el motor y la caja de cambios. Básicamente, está compuesto de dos rotores de paletas, uno frente al otro dentro de un comportamiento cerrado lleno de aceite tal como se muestra en la figura 22.

La rotación de uno de estos rotores (*impulsor - accionado por el motor*) arrastra el aceite, expulsándolo de su interior, haciéndolo incidir sobre las aletas del otro rotor (*impulsado – acoplado al árbol de entrada de la caja de cambios*).

Por analogía, podemos comparar el acople hecho por el convertidor de torque con dos ventiladores, uno frente al otro, uno encendido (*impulsor*) y otro apagado (*impulsado*). El flujo de aire generado por el ventilador encendido arrastra las paletas de las hélices del ventilador apagado. En el caso del convertidor de torque, el proceso es similar, solo que en lugar de aire se utiliza aceite, cuyo flujo puede transmitir un movimiento mucho mayor.

El convertidor de torque está constituido por componentes de geometría especial que permiten un mayor rendimiento, el rotor impulsor e impulsado y además de un tercer componente, el estator, que es el componente responsable por la multiplicación del torque del motor. Esta estático con respecto al impulsor e impulsado. Por su geometría, el estator dirige el flujo de aceite que sale del impulsor hacia las hélices del impulsado en un ángulo favorable. Sin el estator, el convertidor de torque solo transmitirá el torque generado por el motor.

**Figura 22. Convertidor de torque de la retroexcavadora cargadora MF - 86**



**Fuente: Manual de taller de la retroexcavadora cargadora MF - 86.**

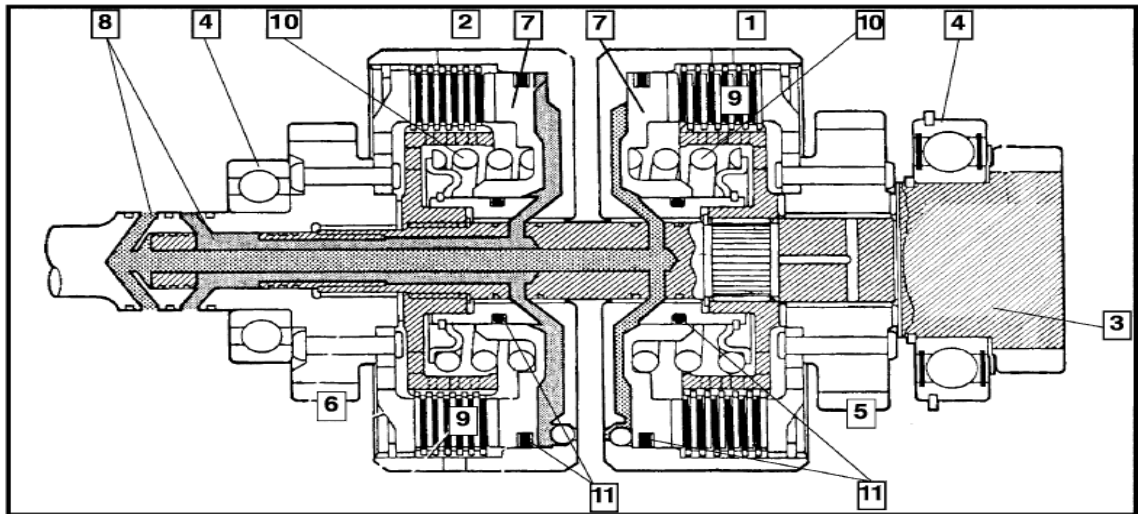
### **5.2.1.3. Embrague**

El conjunto del embrague esta constituido por un tambor dividido en dos partes. En la mitad frontal estan los elementos para los cambios hacia adelante; en la otra mitad estan los elementos para los cambios hacia atrás. Los componentes de ambas son basicamente los mismos, cambia el cubo de las marchas de adelante y atrás, y sus respectivos engranajes 5 y 6; de cada lado del tambor hay discos de acero que son accionadores intercalados por discos accionados unidos a los respectivos cubos de los engranajes.

Un elemento importante que compone al embrague es el piston 7 uno de cada lado del tambor que debido a la presión hidráulica dirigida hacia uno u otro lado, comprime a los discos accionadores 9, unidos al tambor contra los discos accionados. Entoces cuando el tambor gira, el engranaje del lado que esta el embolo bajo presion girara tambien, ya que la presion y el rozamiento hara que los discos accionadores unidos al tambor arrastren a los discos accionados unidos al cubo de engranaje.

Cuando no hay presión en ninguno de los lados del conjunto multidisco del embrague, la maquina queda en neutro por lo que el movimiento no se transmite a la caja de cambios. En este caso, cuando el eje del motor gira, los discos accionadores no arrastran a los discos accionados, por lo tanto los dos engranajes de los cambios adelante y atrás permanecen parados. Un resorte 10 de cada lado mantiene los respectivos pistones alejados de los discos accionados y accionadores.

**Figura 23. Embragues reversores de la retroexcavadora cargadora MF - 86**



**Fuente: Manual de taller de la retroexcavadora cargadora MF - 86.**

### 5.2.2. Ejes

El eje delantero y trasero son parte de la estructura de la máquina, sirviendo de apoyo a la misma y también para el pasaje del flujo de la fuerza a las ruedas.

Los ejes también actúan como absorbedor de impactos transmitidos por las ruedas, debido a los obstáculos e irregularidades del terreno durante la realización del trabajo.

#### 5.2.2.1. Eje Delantero

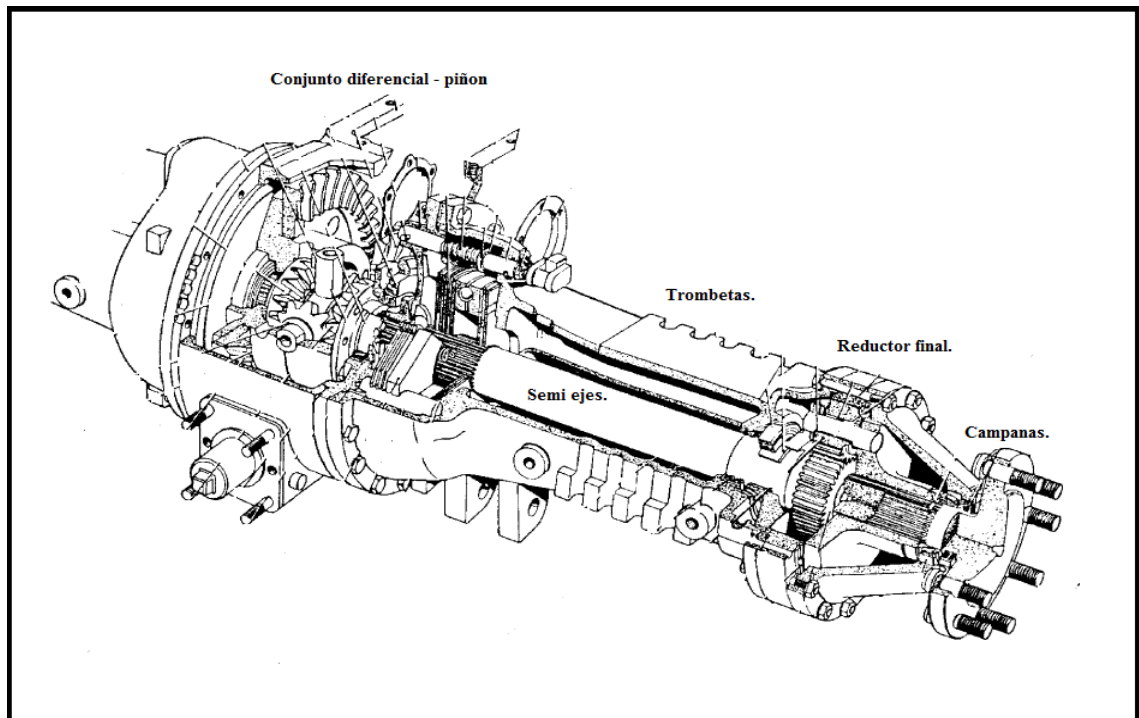
El eje delantero es de tracción simple compuesto por una viga enteriza tipo industrial, especial para servicios pesados.

#### 5.2.2.2. Eje Trasero

El eje trasero se compone básicamente por la carcasa central, trombetas, diferencial, y reductores finales. De manera general, se trata de un conjunto de ejes, engranajes y rodamientos.

En el eje trasero se aloja también el sistema de frenos. En la extremidad de las trombetas están los reductores finales, cuya función es la de multiplicar el torque proveniente del diferencial. (Ver figura 24)

**Figura 24. Eje trasero de la retroexcavadora cargadora MF - 86**



**Fuente: Manual de taller de la retroexcavadora cargadora MF – 86.**

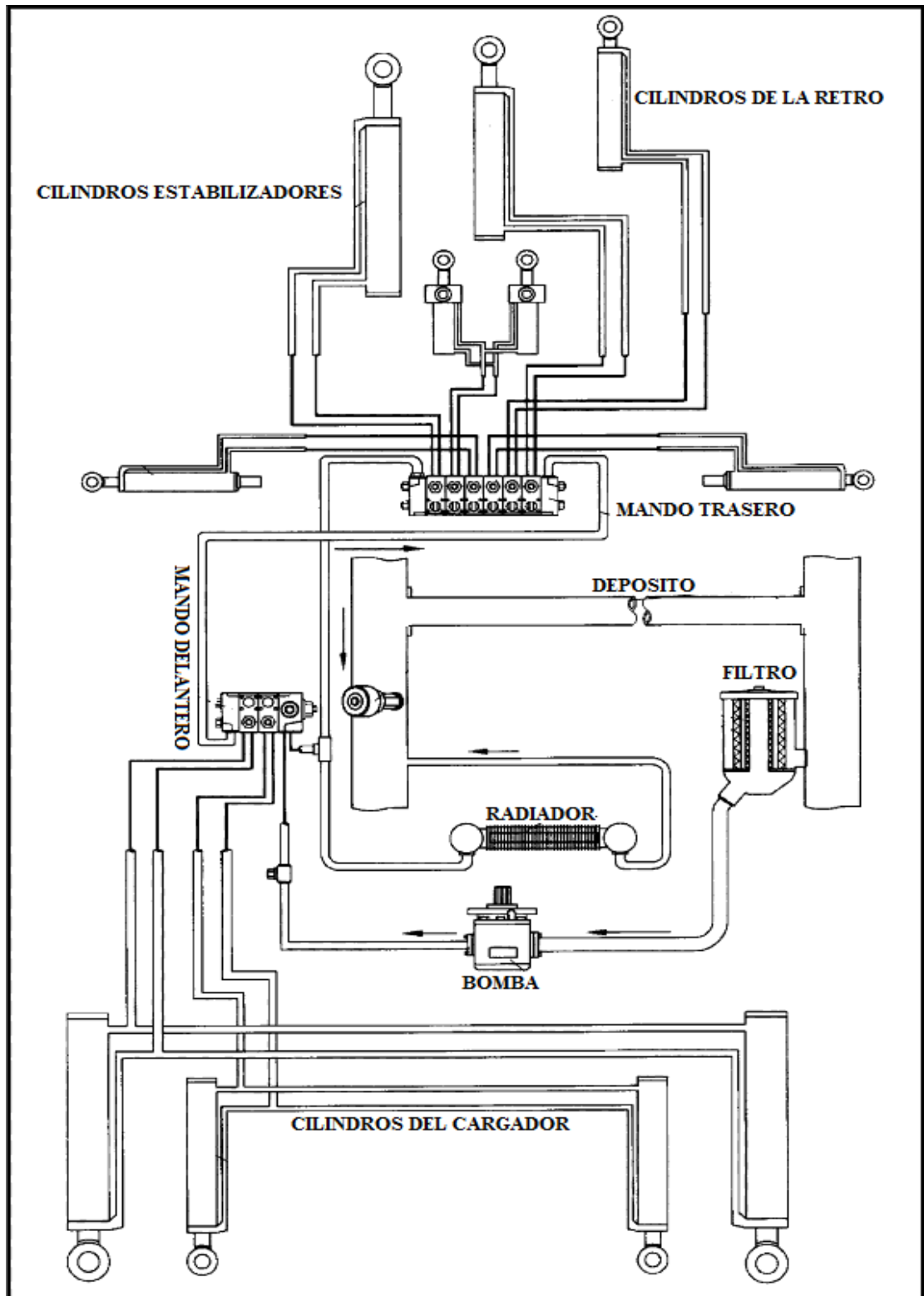
### **5.2.3. Sistema Hidraulico Principal**

El circuito hidráulico del conjunto cargador y retroexcavadora, en todos los modelos de retroexcavadora, son básicamente iguales, es decir la alimentación es hecha por una bomba de engranajes accionada directamente por el motor.

El aceite va de la bomba al comando delantero, después al trasero y regresa al depósito y así sucesivamente, tal como se muestra en la figura 25.

La diferencia entre los sistemas radica en el depósito y en la filtración del fluido, en la retroexcavadora MF – 86 el depósito del aceite está integrado a la estructura de la máquina y la filtración se hace con un filtro ubicado de bajo del estribo izquierdo de la máquina.

Figura 25. Sistema hidráulico principal de la retroexcavadora cargadora MF - 86



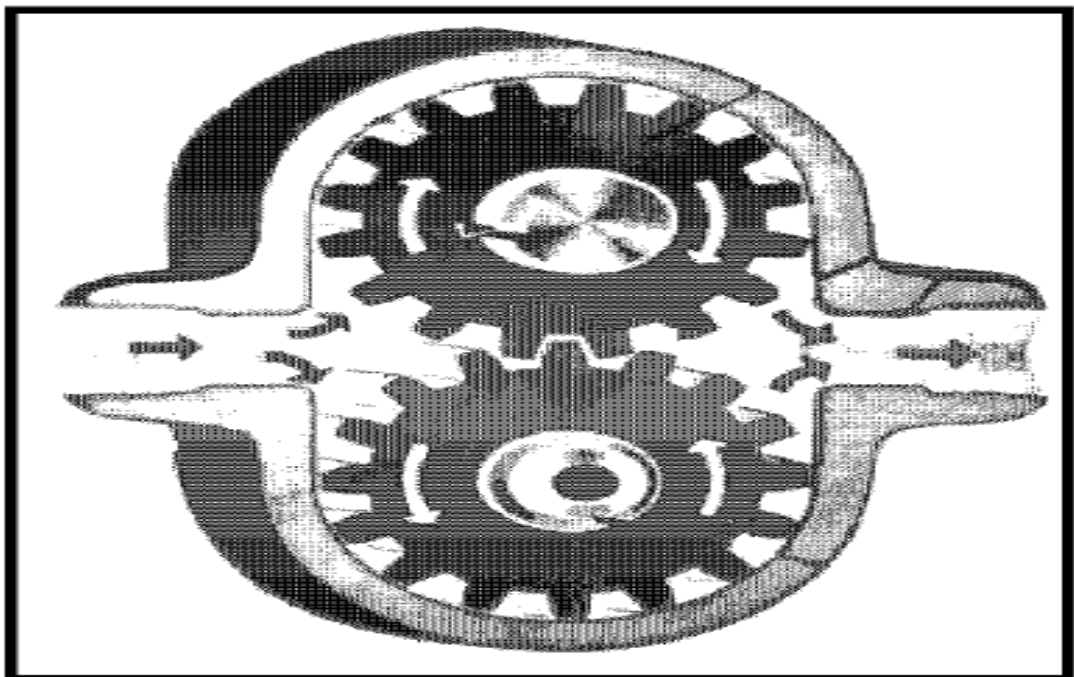
Fuente: Manual de taller de la retroexcavadora cargadora MF - 86.

#### 5.2.4. Sistema Hidráulico de la Transmisión y Dirección

El sistema hidráulico de la dirección y transmisión de las retroexcavadoras fabricadas por AGCO, está integrado por un circuito formado por una bomba de engranajes, una unidad hidrostática, cilindros hidráulicos, radiador de aceite y los elementos de la transmisión. (Ver figura 27)

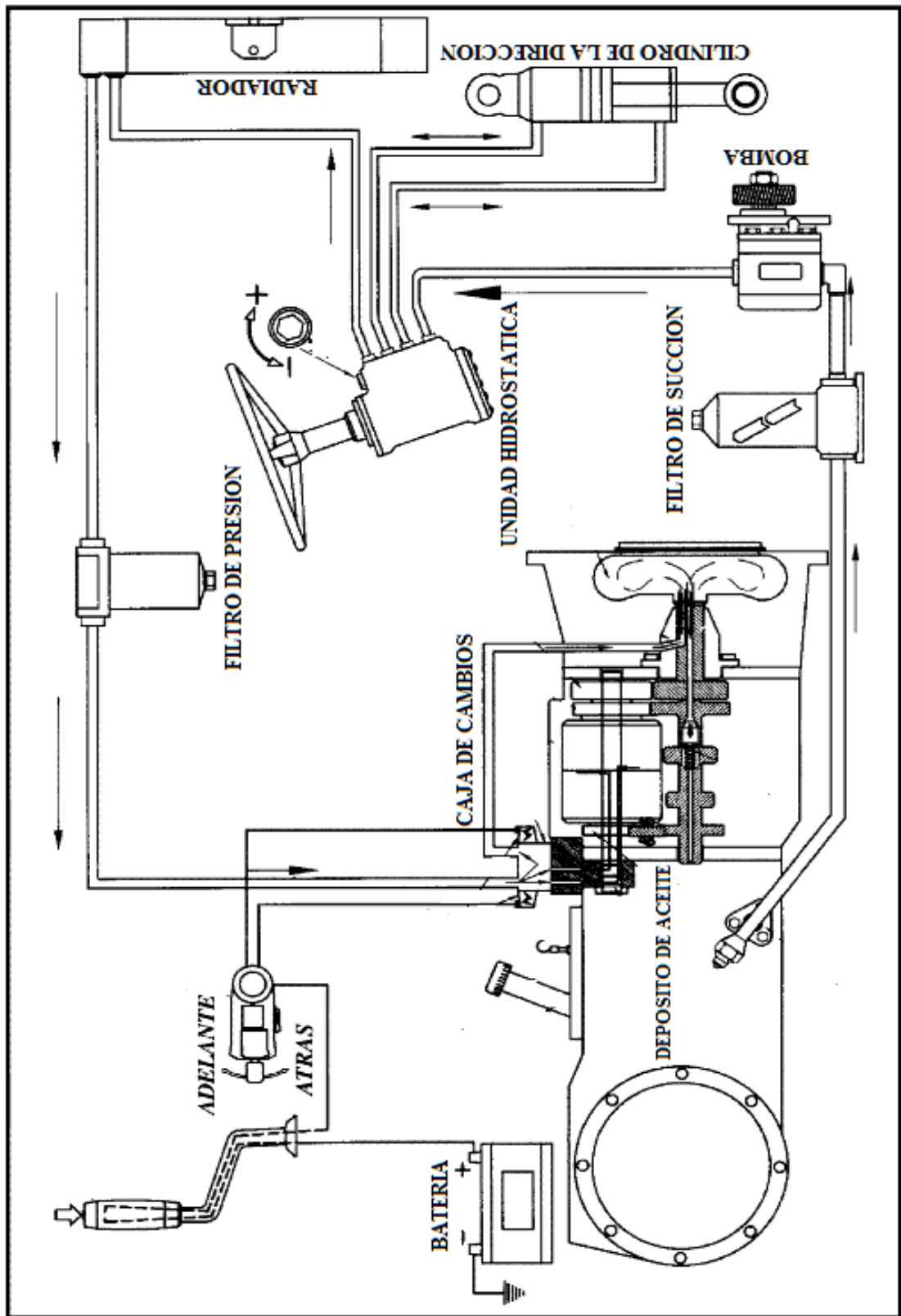
El funcionamiento de la bomba se ilustra en la figura 26. El aceite entra por el orificio del lado izquierdo y llena los espacios entre los dientes de los dos engranajes, hasta llegar al orificio de salida de lado derecho, donde al juntarse los dientes del engranaje conductor con los del conducido, el aceite es impulsado hacia el orificio de salida, alimentando a la unidad hidrostática de la dirección, la cual distribuye el caudal de aceite hacia el sistema de transmisión y hacia los cilindros de la dirección. Los cilindros reciben el caudal controlado por la unidad hidrostática y ejecuta el viraje de las ruedas, transformando la energía hidráulica en fuerza.

**Figura 26. Bomba de engranajes del sistema hidráulico de la transmisión y dirección de la retroexcavadora cargadora MF - 86**



**Fuente: Manual de taller de la retroexcavadora cargadora MF – 86.**

Figura 27. Sistema hidráulico de la transmisión y dirección



Fuente: Manual de taller de la retroexcavadora cargadora MF – 86.

### **5.2.5. Chasis**

Armado en mono bloque, reforzado en aceros de alta resistencia, permite trabajar en las condiciones más severas.

#### **5.2.5.1. Conjunto Retroexcavadora**

Con gran fuerza de excavación y alta capacidad de levante, la retroexcavadora *MF – 86* ejecuta con facilidad todo tipo de tramos: desmonte, de yacimiento, limpieza, ejecución de surcos, excavaciones, canales, drenajes y otros.

#### **5.2.5.2. Cargador Frontal**

Con cilindros totalmente protegidos contra el impacto de material a mover y acumulación de polvo, proporcionando mayor vida útil y, consecuentemente, menor costo de mantenimiento<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> Massey Ferguson. Manual de taller. Argentina. P. 69 - 76, 103 – 107, 139 – 149, 171 -178.

### 5.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE LAS FALLAS DE LA RETRO EXCAVADORA CARGADORA MF - 86

Este capítulo tiene como meta listar las fallas que ha sufrido la retro excavadora cargadora MF - 86 durante los periodos correspondidos a los años 2012 y 2013, y que por las cuales se ha detenido el proceso de excavación y cargue de balastro, en el transcurso del mantenimiento de las vías del municipio. Cabe mencionar que el control de estas fallas se llevan a cabo es por la estadística de los gastos que el municipio tiene que hacer al contratar un técnico y al solicitar los repuestos para devolverle la capacidad operativa de la maquina ante una eventual falla. En la tabla 13, se ilustran las fallas que ha sufrido la retroexcavadora cargadora durante el periodo del 2012 al 2013.

**Tabla 13. Reportes de fallas de los sistemas de la MF - 86**

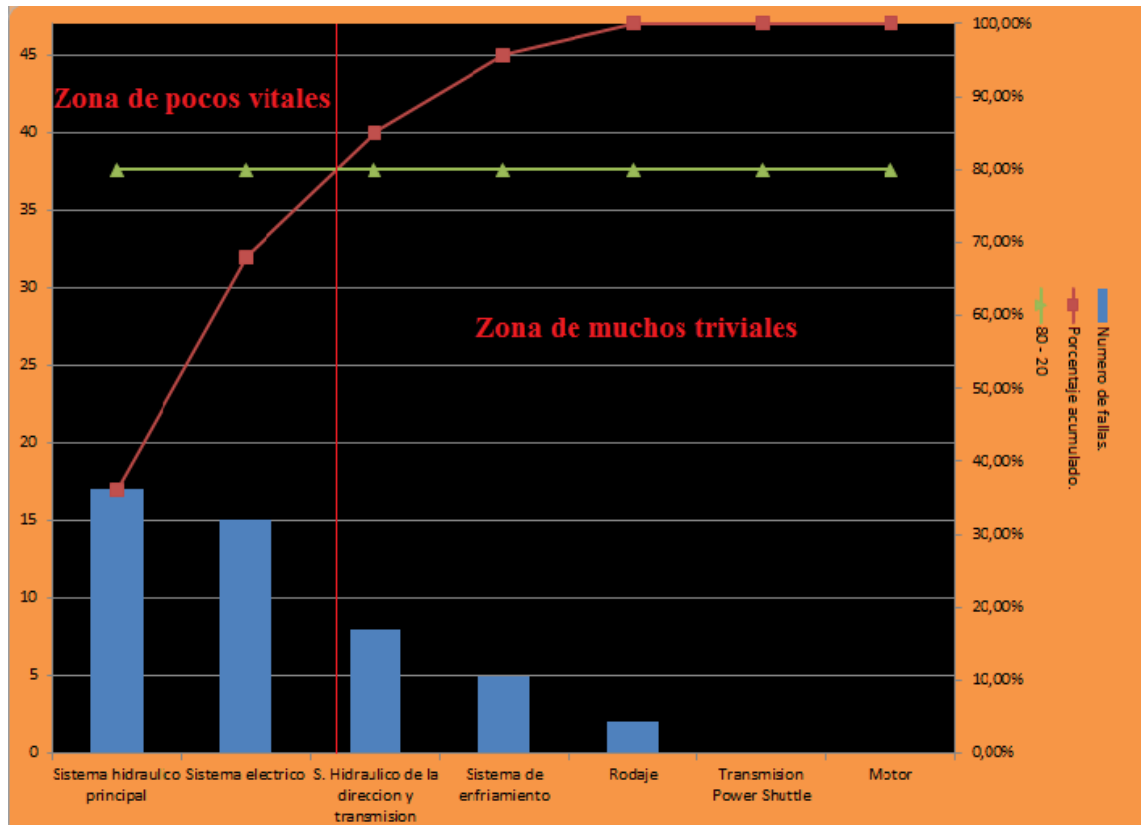
<b>FALLA DE SISTEMA O COMPONENTE</b>	<b>NUMERO DE FALLAS</b>	<b>PORCENTAJE</b>
<i>Sistema hidráulico principal</i>	17	36.17 %
<i>Sistema eléctrico</i>	15	31.91 %
<i>Sistema hidráulico de la dirección</i>	8	17.02 %
<i>Sistema de enfriamiento</i>	5	10.63 %
<i>Rodaje</i>	2	4.25 %
<i>Transmisión Power Shuttle</i>	0	0 %
<i>Motor</i>	0	0 %
<b>Total</b>	<b>47</b>	<b>100 %</b>

**Fuente: Autores.**

Una vez obtenida la tabulación de los datos correspondiente a las fallas que afectan la capacidad operativa de la MF – 86 se procede a realizar el diagrama

de Pareto con el objetivo de encontrar el 80% de las fallas que más peso tienen dentro del grupo, para así tener una idea del sistema o componente más crítico, tal como se muestra en la figura 28.

**Figura 28. Diagrama de Pareto de las fallas de los sistemas de la MF - 86**



**Fuente: Autores.**

Del anterior diagrama podemos decir, que en la zona de pocos vitales, las fallas que más afectan la capacidad operativa en la MF – 86 y que por las cuales se deben priorizar una actividad de mantenimiento, son las fallas en el sistema hidráulico principal y el sistema eléctrico. En las tablas 14 y 15 y las figuras 29 y 30, se muestran el diagrama de Pareto correspondiente a dichos sistemas, para así establecer una jerarquización de los elementos que más afectan a estos sistemas y que por consiguiente se deben establecer

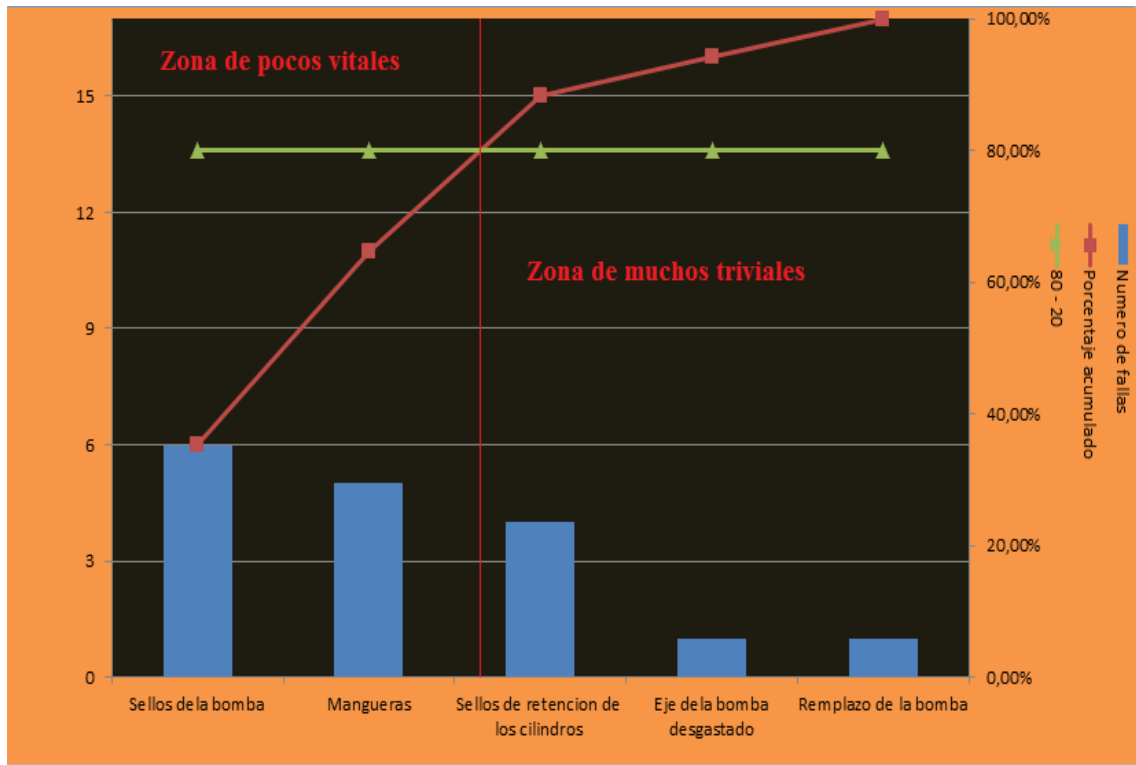
actividades de mantenimiento preventivo para disminuir al máximo las paradas no programadas. No dejando de lado los problemas ubicados en la zona de muchos triviales aún que tengan una priorización menor son fallas que pueden ocurrir en cualquier momento y que por la desatención pueden ocasionar problemas severos en la MF - 86.

**Tabla 14. Reportes de las fallas de los componentes del sistema hidráulico principal de MF - 86**

<b>SISTEMA HIDRAULICO PRINCIPAL</b>		
<b>FALLA DE COMPONENTE</b>	<b>NUMERO DE FALLAS</b>	<b>PORCENTAJE</b>
<i>Mangueras</i>	5	29.41 %
<i>Sellos de retención de los cilindros</i>	4	23.52 %
<i>Sellos de la bomba</i>	6	35.29 %
<i>Eje de la bomba desgastado</i>	1	5.88 %
<i>Reemplazo de la bomba</i>	1	5.88 %

**Fuente: Autores.**

**Figura 29. Diagrama de Pareto de las fallas de los componentes del sistema hidraulico principal MF - 86**



**Fuente: Autores.**

Del anterior diagrama podemos decir que en la zona de pocos vitales los componentes que más fallan y afectan el funcionamiento del sistema hidráulico principal de la MF - 86, son las mangueras y los sellos de la bomba, estas fallas se presentan por una o varias razones primero por la falta de un programa de mantenimiento que se encargue de monitorear la condición en las que se encuentra el estado de los componentes de la maquina ya sea antes, durante y después de realizar un trabajo; otra razón por la que se presentan estas fallas, es a la poca información que el operador tiene acerca de las condiciones operacionales de la maquina como por ejemplo la velocidad en la que debe estar el motor, ya sea para excavar o cargar cualquier tipo de material, debe estar entre los 1600 rpm a 1800 rpm, entonces cuando el operador se sale de los parámetros de operación mencionados, la bomba va a suministrar más

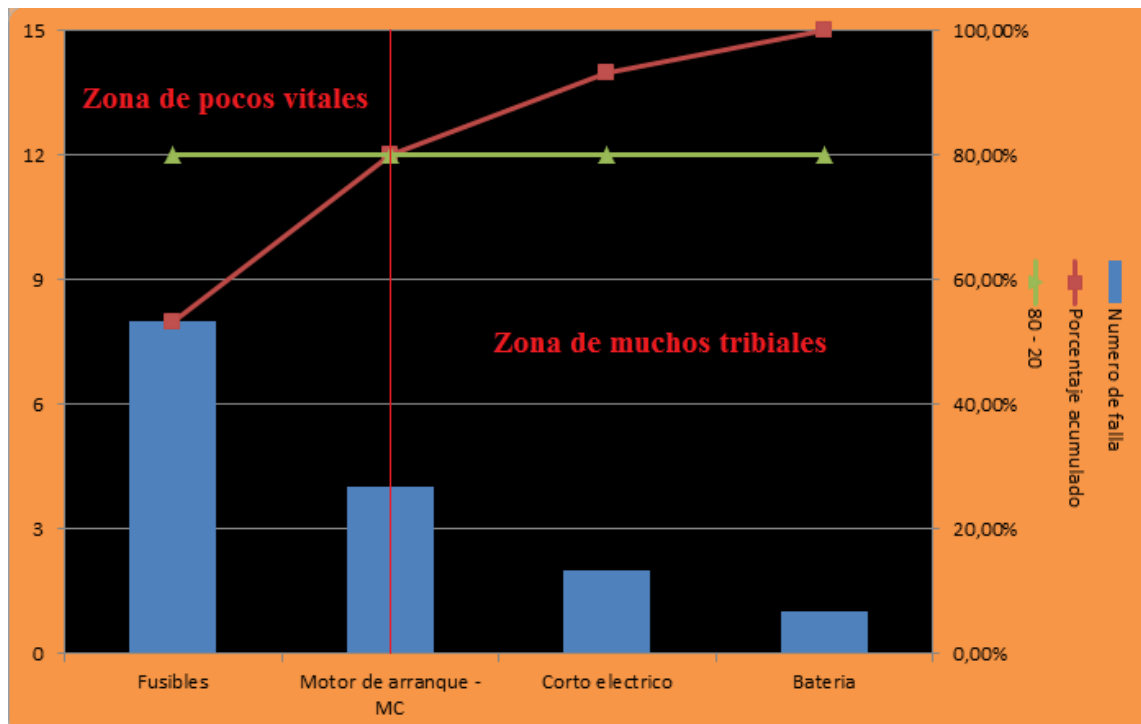
presión de la necesaria debido a que recibe toda la potencia originada por el motor dando como resultado el estallamiento de las mangueras, que es la causa que más se presenta cuando falla una de estas; la otra falla que más se presenta y que es la más crítica es el desgaste de los sellos de la bomba que pueden ser causadas por las razones explicadas anteriormente.

**Tabla 15. Reportes de las fallas de los componentes del sistema eléctrico de la MF - 86**

<b>SISTEMA ELECTRICO</b>		
<b>FALLA DE COMPONENTE</b>	<b>NUMERO DE FALLAS</b>	<b>PORCENTAJE</b>
<i>Fusibles</i>	8	53.33 %
<i>Motor de arranque – MC</i>	4	26.66 %
<i>Corto eléctrico</i>	2	13.33 %
<i>Batería</i>	1	6.66 %

**Fuente: Autores.**

**Figura 30. Diagrama de Pareto de las fallas de los componentes del sistema electrico MF - 86**



**Fuente: Autores.**

En el sistema eléctrico las fallas que más afectan la capacidad operativa de la MF – 86 y que más prioridad tienen que tener al momento de accionarles una actividad de mantenimiento preventivo son los fusibles y el motor de arranque el caso de los fusibles la mejor opción es aceptar la falla y remplazarlo al instante por otro nuevo para que no afecte el proceso de excavación y cargue de balastro.

De la anterior información podemos concluir que de las 47 fallas presentadas en la retro excavadora cargadora MF - 86 correspondiente al periodo 2012 - 2013, el 36.17% le conciernen al sistema hidráulico principal, siendo este sistema más propenso a una ocurrencia de falla; continuando en el mismo orden 31.91% al sistema eléctrico, 17.02% al sistema de la dirección y transmisión, 10.63% al sistema de enfriamiento y rodaje el 4.25%.

También podemos concluir que las fallas listadas precedentemente no dan una explicación clara y concisa del modo en que ocurrieron, esto se debe a la ausencia de un área de mantenimiento que se encargue del control de la estadística de la ocurrencia de cada modo de falla y de la investigación de la misma.

En el siguiente capítulo explicaremos la forma de cómo llevar a cabo la propuesta de implementación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad para la retroexcavadora cargadora *MF – 86* teniendo como prioridad atacar al sistema hidráulico principal.

## **5.4 PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM PARA LA MAQUINA DE MAYOR CRITICIDAD UTILIZADA EN EL MANTENIMIENTO VIAL DEL MUNICIPIO DE LA UNIÓN DE SUCRE**

En esta sección se tiene como objetivo explicar el paso a paso de cómo llevar a cabo la implementación de la propuesta de un plan de mantenimiento fundamentada en la metodología de mantenimiento basado en la confiabilidad, para resolver los problemas de confiabilidad y disponibilidad de las maquinaria que lleva a cabo el proceso de mantenimiento vial en el municipio de la Unión de Sucre. Comenzando con las funciones principales y secundarias del equipo, las fallas funcionales, los modos de falla, la probabilidad de falla, la gravedad de la falla y el plan de acción para prevenir los modos de falla.

### **5.4.1. Funciones principales de la retroexcavadora cargadora *MF - 86***

En la tabla 16, se muestran las funciones principales y secundarias de la retroexcavadora cargadora *MF – 86*.

**Tabla 16. Funciones principales y secundarias de la MF - 86**

<b>FUNCIONES PRINCIPALES DE LA RETROEXCAVADORA CARGADORA MF - 86</b>	
<b>FUNCIONES DE LA RETROEXCAVADORA</b>	<b>FUNCIONES DEL CARGADOR</b>
Excavar balastro con una fuerza de excavación de 3462 kgf, con una distancia máxima de 5350 mm desde el centro de giro de la retro.	Cargar el balastro excavado por la retro, con una capacidad de levante de 2550 kgf con una altura máxima de levante del cargador de 4300 mm.
Escavar las zanjas con una fuerza de excavación de 3063 kgf a una profundidad de 4120 mm.	Excavar balastro con una fuerza de excavación de 4335 kgf.
Depositar el balastro excavado a la volqueta con una fuerza de levantamiento de la lanza de profundidad de 2044 kgf y una fuerza de levantamiento de la columna de 718 kgf.	
<b>FUNCIONES SECUNDARIAS DE LA RETROEXCAVADORA CARGADORA MF - 86</b>	
Cargar y transportar materiales de construcción vial con una capacidad de levante de 2550 kgf.	
Brindar al operario confort y seguridad durante las 8 h de trabajo.	

**Fuente: Autores.**

#### **5.4.2. Fallas funcionales de la retroexcavadora cargadora MF - 86**

En la tabla 17, se muestran las fallas funcionales de la retroexcavadora cargadora MF – 86.

**Tabla 17. Fallas funcionales de la MF - 86**

<b>FALLAS FUNCIONALES DE LA RETROEXCAVADORA CARGADORA MF - 86</b>	
<b>FALLAS FUNCIONALES DE LA RETRO</b>	<b>FALLAS FUNCIONALES DEL CARGADOR</b>
La MF – 86 no puede excavar el balastro con una fuerza de excavación de 3462 kgf, ni puede alcanzar una distancia máxima de 5350 mm desde el centro de giro de la retro.	La MF – 86 no puede cargar el balastro excavado por la retro con una capacidad de levante de 2550 kgf ni el cargador puede alcanzar una altura máxima de levante de 4300 mm.
La MF – 86 no puede excavar zanjas con una fuerza de excavación de 3063 kgf, ni el cucharón puede alcanzar una profundidad de 4120 mm.	La MF – 86 no puede excavar balastro con una fuerza de excavación de 4335 kgf.
La MF – 86 no puede depositar el balastro excavado a la volqueta con una fuerza de levantamiento de la lanza de profundidad de 2044 kgf y una fuerza de levantamiento de la columna de 718 kgf.	
<b>FALLAS FUNCIONALES DE SEGUNDO ORDEN DE LA MF - 86</b>	
La MF – 86 no puede cargar, ni transportar materiales de construcción vial con una capacidad de levante de 2550 kgf.	
La MF – 86 no puede brindar al operario confort y seguridad durante las 8 h de trabajo.	

**Fuente: Autores.**

#### **5.4.3. Modos de falla de la retroexcavadora cargadora MF - 86**

Como en la alcaldía de la Unión no hay un área de mantenimiento que se encargue de gestionar y aplicar una estrategia de mantenimiento, con el fin de mantener la capacidad operativas de sus máquinas. Los siguientes modos de falla presentados en la tabla 18, se formularon en compañía del operario de la máquina, técnico mecánico que la alcaldía contrata y los dos ingenieros especialistas en capacitación de gerencia de mantenimiento, estos últimos encargados de proponer la creación de un área de mantenimiento preventivo basada en la metodología de RCM para la alcaldía de la Unión de Sucre.

**Tabla 18. Modos de falla de la MF - 86**

<b>Código modo de falla nivel I.</b>	<b>Modo de falla.</b>
10000	Motor Perkins averiado por falta de mantenimiento.
20000	Sistema de alimentación de combustible averiado por falta de mantenimiento.
23000	Sistema de lubricación del motor averiado por falta de mantenimiento.
23600	Sistema de enfriamiento del motor averiado por falta de mantenimiento.
30000	Transmisión Power Shuttle averiada por falta de mantenimiento.
33000	Eje trasero averiado por falta de mantenimiento.
40000	Sistema hidráulico principal por falta de mantenimiento.
50000	Sistema hidráulico de la dirección y transmisión averiado por falta de mantenimiento.
60000	Sistema eléctrico averiado por corto eléctrico.

**Fuente: Autores.**

De lo anterior se puede decir que los modos de fallas formulados hasta aquí, son modos de falla que se redactaron de manera muy general en función del componente o sistema de la máquina, ya que por ejemplo el motor, la transmisión y el sistema hidráulico principal etc. Durante el desarrollo de su actividad pueden tener múltiples fallas que pueden ser causados por el desgaste, fractura, vibración o por la inadecuada operación de la máquina, por lo que fue necesario hacer un análisis más profundo de estos componentes o sistema para así saber con claridad con cual modo de falla está expuesta la maquina durante su funcionamiento, en las siguientes tablas se muestran dichos modos de fallas. (Ver tablas 19 a la 25)

**Tabla 19. Modos de falla del motor**

Modo de Falla. Nivel I.	Cód. MF.N.II.	Modo de falla nivel II.	Descripción de efectos.
Motor averiado.	10001	Anillos desgastados por desgaste adhesivo, baja viscosidad en el aceite.	El motor de la <i>MF - 86</i> opera por debajo de los <i>55.2 kW</i> limitándola a cumplir con sus funciones principales, emisiones de gases al ambiente debido a la mezcla del aceite con el combustible, el operador de la <i>MF - 86</i> reporta la falla para que la maquina se someta a una actividad de mantenimiento por lo que el proceso de excavación y cargue de balastro se detendría por un tiempo, si el operador continua operando la maquina el motor podría tener daños severos en los pistones, biela, cigüeñal, bloque y culata, no hay afectación en la salud de las personas.
	10002	Anillos desgastados por desgaste adhesivo, ausencia de aceite en el cárter.	
	10003	Anillos desgastados por desgaste erosivo partículas metálica en el aceite.	
	10004	Anillos desgastados por desgaste corrosivo, aceite degradado.	
	10005	Anillos desgastados por desgaste abrasivo, sedimentos en el aceite.	
	10006	Pistones desgastados por desgaste adhesivo baja viscosidad en el aceite.	
	10007	Pistones desgastados por desgaste adhesivo, ausencia de aceite en el cárter.	
	10008	Pistones desgastados por desgaste erosivo, partículas metálicas en el aceite.	
	10009	Pistones desgastados por desgaste corrosivo, aceite degradado.	
	10010	Pistones desgastados por desgaste abrasivo, sedimentos en el aceite.	
	10011	Camisas desgastadas por desgaste adhesivo, baja viscosidad en el aceite.	
	10012	Camisas desgastadas por desgaste adhesivo, ausencia de aceite en el cárter.	
	10013	Camisas desgastadas por desgaste erosivo partículas metálicas en el aceite.	
	10014	Camisas desgastadas por desgaste corrosivo, aceite degradado.	
	10015	Camisas desgastadas por desgaste abrasivo, sedimentos en el aceite.	
	10016	Pistones destruidos por desgaste adhesivo, baja viscosidad en el aceite.	El motor de la <i>MF - 86</i> se detiene completamente impidiéndole cumplir con sus funciones principales, el operador reporta la falla para que la maquina se someta a una actividad de mantenimiento, el proceso de excavación y cargue de balastro se detiene por un tiempo, daños en los pistones, biela, cigüeñal, bloque y culata, no hay afectación al medio ambiente ni a la salud de las personas.
	10017	Pistones destruidos por desgaste adhesivo, ausencia de aceite en el cárter.	
	10018	Pistones destruidos por desgaste erosivo, partículas metálicas en el aceite.	
	10019	Pistones destruidos por desgaste corrosivo, aceite degradado.	
	10020	Pistones destruidos por desgaste abrasivo, sedimentos en el aceite.	
	10021	Pistones destruidos por altas temperaturas en la compresión.	
	10022	Pistones destruidos por pre ignición.	
	10023	Pistones destruidos por instalación inadecuada.	
	10024	Pistones destruidos por sobrecalentamiento del refrigerante.	
	10025	Pistones destruidos por ausencia del refrigerante.	
	10026	Bielas destruidas por fatiga.	
	10027	Bielas destruidas por fractura dúctil.	
	10028	Bielas destruidas por daños en otros componentes.	
	10029	Bielas destruidas en el cabezal por cojinetes.	
	10030	Bielas destruidas por mal sujeción de los pernos.	
	10031	Cigüeñal destruido por vibraciones de torsión.	
	10032	Cigüeñal destruido por golpear contra la culata.	
	10033	Cigüeñal destruido por daños en otros componentes.	

	10034	Cigüeñal destruido por motor en uso sin circulación de aceite.	
--	-------	--	--

Fuente: Autores.

**Tabla 20. Modos de falla del sistema de alimentación de combustible y del sistema de lubricación del motor**

Modo de falla. Nivel I.	Cód. MF.N.II.	Modo de falla nivel II.	Descripción de efectos.
Motor averiado.	10035	Válvulas des calibradas por árbol de levas desajustado.	El motor emite humo negro al ambiente y pierde potencia, por debajo de los 55.2 kW limitando a la MF - 86 cumplir con sus funciones principales, el operador reporta la falla a mantenimiento para una inspección en el motor, por lo que el proceso de excavación y cargue de balastro se detiene, no hay afectación en la salud de las personas.
	10036	Válvulas de admisión rotas, por rompimiento de la cadenilla.	
	10037	Válvulas de escape, rotas por rompimiento de la cadenilla.	
	10038	Sellos de válvulas desgastados.	
Sistema de alimentación de combustible del motor averiado.	20001	Filtro de aire del sistema de alimentación de combustible obstruido con sedimentos.	El motor de la MF - 86 pierde potencia, trabaja por debajo de los 55.2 kW el operador reporta la falla a mantenimiento para una inspección en el sistema de alimentación, el proceso de excavación y cargue de balastro se detiene, no hay afectación a la salud de las personas ni al medio ambiente.
	20002	Filtro de combustible obstruido con sedimentos.	
	20003	Inyectores de combustible obstruido con sedimentos.	
	20004	Bomba inyectora de combustible averiada.	
	20005	Mangueras de alimentación de combustible rotas.	
	20006	Mangueras de alimentación de combustible obstruidas con sedimentos.	
	20007	Tanque de combustible del motor roto por corrosión.	El indicador del tanque de combustible desciende, el operador observa el problema y reporta la falla para que el tanque se someta a una actividad de mantenimiento, no hay afectación en la salud de las personas.
	20008	Sellos de la tapa del tanque de combustible desgastada.	El agua se filtra hacia el tanque, el operador no puede encender la máquina o trabaja con dificultad, producto de la mezcla pobre en la cámara de compresión, el operador reporta la falla a mantenimiento para que esta sea intervenida si ocurre esta falla podría a ver daños en los pistones, bielas cigüeñal debido al desgaste corrosivo.
	23001	Bomba de engranajes del sistema de lubricación del motor averiada.	El motor de la MF - 86 se sobrecalienta debido a la ausencia del aceite, se presenta un contacto metal -

Sistema de lubricación del motor averiado.	23002	Carter roto por corrosión.	metal entre sus elementos, el indicador de temperatura del motor se enciende y el operador tiene que a pagar la máquina, no hay afectación al medio ambiente ni a la salud de las personas.
	23003	Filtro del sistema de lubricación del motor dañado.	Paso de sedimentos hacia los elementos del motor, daños en los pistones, bielas y cigüeñal producto del desgaste abrasivo y erosivo, el proceso de excavación y cargue de balastro se detiene no hay afectación al medio ambiente ni a la salud de las personas.
	23004	Sellos del tapón del cárter desgastado.	El agua y sedimentos se filtran hacia el cárter, el aceite se degrada con el tiempo, provocando daños, en los pistones, bielas, cigüeñal debido al desgaste corrosivo, abrasivo y erosivo, no hay afectación al medio ambiente ni a la salud de las personas.

Fuente: Autores.

Tabla 21. Modos de falla del sistema de enfriamiento

Modo de falla. Nivel I.	Cód. MF.N.I.	Modo de falla nivel II.	Descripción de efectos.
Sistema de enfriamiento averiado.	26001	Tubos del radiador obstruido internamente con sedimentos.	El caudal de agua suministrado por la bomba no llega al motor de la MF – 86 de tal modo que se sobrecalienta por encima de los 86°C, el indicador de la luz de la temperatura del motor se enciende en el tablero de mandos, el operador observa el aviso y tiene que apagar la máquina para una inspección en el sistema de enfriamiento, si la MF – 86 sigue trabajando el motor podría tener daños severos en sus elementos, por lo que el proceso de excavación y cargue de balastro se detendría por un largo tiempo, no hay afectación al medio ambiente ni en la salud de las personas.
	26002	Mangueras tapadas con sedimentos.	
	26003	Tubos del radiador fisurados.	El sistema de enfriamiento queda sin refrigerante, la temperatura del motor sube por encima de los 96°C, el indicador de la luz de la temperatura del motor se enciende en el tablero de mandos, el operador observa el aviso y tiene que apagar la máquina para una inspección en el sistema de enfriamiento, si la MF – 86 sigue trabajando el motor podría tener daños severos, por lo que el proceso de excavación y cargue de balastro se detendría por un largo tiempo, no hay afectación al medio
	26004	Manguera fisuradas.	

			ambiente ni en la salud de las personas.
26005	Rotor de la bomba de agua desgastado por desgaste corrosivo.		La bomba no genera el caudal suficiente para refrigerar el motor, la temperatura sube por encima de los 96°C, el indicador de la luz de la temperatura del motor se enciende en el tablero de mandos, el operador observa el aviso y tiene que apagar la máquina para una inspección en el sistema de enfriamiento, si la MF – 86 sigue trabajando el motor podría tener daños severos, por lo que el proceso de excavación y cargue de balastro se detendría por un largo tiempo, no hay afectación al medio ambiente ni en la salud de las personas.
26006	Rotor de la bomba de agua desgastado por desgaste adhesivo, choque con el cuerpo.		La bomba no genera el caudal suficiente para refrigerar el motor, la temperatura sube por encima de los 96°C, el indicador de la luz de la temperatura del motor se enciende en el tablero de mandos, el operador observa el aviso y tiene que apagar la máquina para una inspección en el sistema de enfriamiento, si la MF – 86 sigue trabajando el motor podría tener daños severos, por lo que el proceso de excavación y cargue de balastro se detendría por un largo tiempo, no hay afectación al medio ambiente ni en la salud de las personas.
26007	Correa floja.		El ventilador no puede enfriar el refrigerante proveniente del motor, el motor se sobrecalienta por encima de los 96°C, el indicador de la luz de la temperatura del motor se enciende en el tablero de mandos, el operador observa el aviso y tiene que apagar la máquina para una inspección en el sistema de enfriamiento, si la MF – 86 sigue trabajando el motor podría tener daños severos, por lo que el proceso de excavación y cargue de balastro se detendría por un largo tiempo, no hay afectación al medio ambiente ni en la salud de las personas.
26008	Correa partida.		El ventilador no puede enfriar el refrigerante proveniente del motor, el motor se sobrecalienta por encima de los 96°C, el indicador de la luz de la temperatura del motor se enciende en el tablero de mandos, el operador observa el aviso y tiene que apagar la máquina para una inspección en el sistema de enfriamiento, si la MF – 86 sigue trabajando el motor podría tener daños severos, por lo que el proceso de excavación y cargue de balastro se detendría por un largo tiempo, no hay afectación al medio ambiente ni en la salud de las personas.
26009	Aletas del ventilador partidas, instalación incorrecta.		El ventilador no puede enfriar el refrigerante proveniente del motor, el motor se sobrecalienta por encima de los 96°C, el indicador de la luz de la temperatura del motor se enciende en el tablero de mandos, el operador observa el aviso y tiene que apagar la máquina para una inspección en el sistema de enfriamiento, si la MF – 86 sigue trabajando el motor podría tener daños severos, por lo que el proceso de excavación y cargue de balastro se detendría por un largo tiempo, no hay afectación al medio ambiente ni en la salud de las personas.
26010	Termostato descompuesto.		El termostato no permite el paso del refrigerante proveniente del motor para luego ser enfriado en el radiador, el motor se sobrecalienta por encima de los 96°C, debido a la evaporación del refrigerante el indicador de la luz de la temperatura del motor se enciende en el tablero de mandos, el operador observa el aviso y tiene que apagar la máquina, si la maquina sigue trabando los elementos del motor podría tener daños severos, no hay afectación del medio ambiente ni en la salud de las personas.

Fuente: Autores.

**Tabla 22: Modos de falla de la transmisión Power Shuttle**

Modo de falla. Nivel I.	Cód. MF.N.II	Modo de falla nivel II.	Descripción de efectos.	
Sistema de transmisión Averiado.	30001	Convertor de torque dañado por desgaste natural.	Si el convertor de torque se daña la MF – 86 no se desplazaría en ningún sentido debido a que el movimiento proveniente del motor no se transmitiría a la caja de cambios, por lo que el proceso de excavación y cargue de balastro se detiene, el operador de la maquina reporta el problema para que mantenimiento cambie el convertor, no hay afectación del medio ambiente ni a la salud de las personas.	
	30002	Pistón de embrague descompuesto.	No hay presión en ninguno de los dos lados del conjunto multidisco del embrague, el movimiento proveniente del motor no se trasmite a la caja de cambios que dando la maquina en neutro, el operador no puede embragar para escoger una marcha ya sea para adelante o atrás, por lo que el proceso de excavación y cargue de balastro se detiene, el operador reporta la falla para que mantenimiento repare la falla, no hay afectación al medio ambiente ni a la salud de las personas.	
	30003	Engranajes transmisores del movimiento de la marcha adelante hacia el árbol principal desgastado por desgaste adhesivo, baja viscosidad del aceite.	La MF – 86 presenta dificultad para desplazarse al lugar de trabajo o para realizar el trabajo debido a que el movimiento proveniente del motor, no es transmitido en su totalidad a las ruedas, el operador tiene dificultad para embragar por lo que reporta la falla para que la caja de cambios se someta a una actividad de mantenimiento si el operador continua operando la maquina la caja de cambios podría tener daños severos en sus elementos, no hay afectación al medio ambiente ni a la salud de las personas.	
	30004	Engranajes transmisores del movimiento de la marcha adelante hacia el árbol principal desgastado por desgaste corrosivo, aceite diluido por contaminación.		
	30005	Engranajes transmisores del movimiento de la marcha adelante hacia el árbol principal desgastado por desgaste erosivo, partículas metálicas en el aceite.		
	30006	Engranajes transmisores del movimiento de la marcha adelante hacia el árbol principal desgastado por desgaste abrasivo, sedimentos en el aceite.		
	30007	Engranajes transmisores del movimiento de la marcha atrás hacia el árbol principal desgastados por desgaste adhesivo, baja viscosidad del aceite.		
	30008	Engranajes transmisores del movimiento de la marcha atrás hacia el árbol principal desgastados por desgaste corrosivo, aceite diluido por contaminación.		
	30009	Engranajes transmisores del movimiento de la marcha atrás hacia el árbol principal desgastados por desgaste erosivo, partículas metálicas en el aceite.		
	30010	Engranajes transmisores del movimiento de la marcha atrás hacia el árbol principal desgastados por desgaste abrasivo, sedimentos en el aceite.		
Sistema de transmisión	30011			Los engranajes del primer árbol encajan con dificultad con los del

averiada.		Árbol primario de la caja de cambios desbalanceado por rodamientos desgastados.	segundo, los cambios tienen dificultad para entrar originando un sonido producto del roce de los dientes, el operador escucha y reporta la falla, para una actividad de mantenimiento en la caja de cambios, si el operador no reporta la falla de la caja de cambios podría tener daños severos en sus elementos, el proceso de excavación y cargue de balastro se detiene, no hay afectación al medio ambiente ni a la salud de las personas.
	33012	Árbol secundario de la caja de cambios desbalanceado por rodamientos desgastados.	
Ejes trasero averiado.	33001	Campanas de reductor final rajadas, instalación inadecuada.	La MF – 86 opera con normalidad, pero si no se atienden estas fallas con anticipación, los elementos internos del reductor final pueden fracturarse por el contacto metal – metal debido a la ausencia del aceite y el movimiento proveniente de la transmisión no se transmite a las ruedas, por lo que el proceso de excavación y cargue de balastro se detiene, no hay afectación al medio ambiente ni a la salud de las personas.  El diferencial no transmite el movimiento proveniente de la transmisión a las ruedas, el operador observa la falla y la reporta para que mantenimiento cambie el diferencial y el piñón, el proceso de excavación y cargue de balastro se detiene por un tiempo, no hay afectación al medio ambiente ni a la salud de las personas.
	33002	Sellos de la campana desgastada, escape de aceite.	
	33003	Tapón de aceite del reductor final desgastado, escape de aceite.	
	33004	Dientes de la corona del diferencial partidos por desgaste adhesivo, escape de aceite.	
	33005	Dientes del piñón partidos por desgaste adhesivo, escape de aceite.	
	33006	Dientes de la corona del diferencial partidos por desgaste adhesivo, selección del aceite inadecuado, aceite de baja o alta viscosidad.	
	33007	Dientes del piñón partidos por desgaste adhesivo, selección del aceite inadecuado, aceite de baja o alta viscosidad.	
Eje delantero averiado.	36001	Barra estabilizadora del eje delantero doblada por golpe.	El operador de la MF – 86 no puede virar la máquina a la derecha ni a la izquierda, el operador al percatarse de la falla la reporta a mantenimiento, el proceso de excavación y cargue de balastro se detiene, no hay afectación del medio ambiente ni en la salud de las personas.

Fuente: Autores.

**Tabla 23. Modos de fallas del sistema hidráulico principal**

Modo de falla. Nivel I.	Cód. MF.N.II.	Modo de falla nivel II.	Descripción de efectos.
Sistema hidráulico principal averiado.	40001	Engranajes de la bomba desgastados por desgaste adhesivo, baja viscosidad del aceite.	La bomba presenta bajo rendimiento de operación al suministrar un caudal y una presión por debajo de los 90 bar y 104 l/min a 2200 rpm hacia el mando delantero la MF – 86 tiene dificultad para levantar el cargador y el cucharón de la retro, el operador reporta la falla a mantenimiento para una inspección del sistema hidráulico principal, el proceso de excavación y cargue de balastro se detiene, no hay afectación al medio ambiente ni a la salud de las personas.
	40002	Engranajes de la bomba desgastados por desgaste corrosivo, aceite contaminado.	
	40003	Engranajes de la bomba desgastados por desgaste abrasivo, sedimentos en el aceite.	
	40004	Engranajes de la bomba desgastados por desgaste erosivo, partículas metálicas en el aceite.	
	40005	Engranaje de la bomba partidos por desgaste adhesivo, baja viscosidad del aceite.	La bomba no puede impulsar el aceite al mando delantero para levantar en cargador y el cucharón de la retro, el operador reporta la falla a mantenimiento para remplazar la bomba por una nueva, el proceso de excavación y cargue de balastro se detiene, no hay afectación al medio ambiente ni a la salud de las personas.
	40006	Engranaje de la bomba partidos por desgaste corrosivo, aceite contaminado.	
	40007	Engranaje de la bomba partidos por desgaste abrasivo, sedimentos en el aceite.	
	40008	Engranaje de la bomba partidos por desgaste erosivo, partículas metálicas en el aceite.	
	40009	Engranajes de la bomba partidos por cavitación, viscosidad del aceite alta.	
	40010	Engranajes de la bomba partidos por cavitación, penetración de aire a través de la tubería.	
	40011	Engranajes d la bomba partidos por sobrecargas en el trabajo.	
	40012	Engranajes de la bomba partidos por contacto con el cuerpo de la bomba, eje del engrane conductor y conducido desbalanceado.	
	40013	Bomba rayada en la parte interna por presiones de trabajo demasiado altas.	
	40014	Filtro de succión dañado.	
	40015	Sellos del cuerpo de la bomba desgastados.	Al dañarse los sellos y los cojinetes, se presenta un escape de aceite por la parte frontal de la tapa de la bomba ocasionando una disminución de la presión impulsada por la bomba por debajo de los 190 bar la MF – 86 tiene dificultad para levantar el cargador y el cucharón de la retro el operador reporta la falla a mantenimiento para una inspección al sistema hidráulico principal.
	40016	Sellos del cuerpo de la bomba partidos.	
	40017	Cojinete de los ejes desgastados.	
	40018	Sellos del campo de presión de la bomba desgastados.	
	40019	Sellos del campo de presión de la bomba	

		partidos.	
Sistema hidráulico principal averiado.	40020	Válvula de alivio del mando delantero descompuesta.	La válvula de alivio no controla la presión proveniente de la bomba superando los 190 bar a la entrada del mando delantero si el operador no se percata de la falla de alguna manera el sistema hidráulico podría tener daños severos en los siguientes elementos: mando delantero, válvula de amortiguación y cilindros, por lo que el proceso de excavación y cargue de balastro se detendría no hay afectación al medio ambiente ni a la salud de las personas.
	40021	Válvula de amortiguación del mando delantero de los cilindros de basculamiento del cargador descompuesta.	Las válvulas de amortiguación no controlan la presión hacia los cilindros de basculamiento del cargador y los cilindros de levante del cargador superando los 3500 psi y 3550 psi respetivamente, si el operador no se percata de la falla de alguna forma el sistema hidráulico podría tener daños en los sellos de retención de los cilindros producto de la sobrepresión, por lo que el proceso de excavación y cargue de balastro se detendría no hay afectación al medio ambiente ni a la salud de las personas.
	40022	Válvula de amortiguación del mando delantero de los cilindros de levante del conjunto cargador descompuesta.	Las válvulas de amortiguación no controlan la presión hacia los cilindros de basculamiento del cargador y los cilindros de levante del cargador superando los 3500 psi y 3550 psi respetivamente, si el operador no se percata de la falla de alguna forma el sistema hidráulico podría tener daños en los sellos de retención de los cilindros producto de la sobrepresión, por lo que el proceso de excavación y cargue de balastro se detendría no hay afectación al medio ambiente ni a la salud de las personas.
	40023	Válvula superior e inferior del mando del brazo de la retro descompuesta.	La válvulas superior e inferior no controlan las presiones hacia los cilindros del brazo del cucharón y en los cilindros del mando de giro de la retro, superando los 3000 psi en la entrada y los 3000 psi en la salida, si el operador no se percata de la falla de alguna forma el sistema hidráulico podría tener daños en los cilindros de la retro y en los del mando de giro, por lo que el proceso de excavación y cargue de balastro se detendría no hay afectación al medio ambiente ni en la salud de las personas.
	40024	Válvula superior e inferior del mando de la cuchara de la retro descompuesta.	La válvulas superior e inferior no controlan las presiones hacia los cilindros del brazo del cucharón y en los cilindros del mando de giro de la retro, superando los 3000 psi en la entrada y los 3000 psi en la salida, si el operador no se percata de la falla de alguna forma el sistema hidráulico podría tener daños en los cilindros de la retro y en los del mando de giro, por lo que el proceso de excavación y cargue de balastro se detendría no hay afectación al medio ambiente ni en la salud de las personas.
	40025	Válvula superior e inferior del mando de giro de la retro descompuesta.	La válvulas superior e inferior no controlan las presiones hacia los cilindros del brazo del cucharón y en los cilindros del mando de giro de la retro, superando los 3000 psi en la entrada y los 3000 psi en la salida, si el operador no se percata de la falla de alguna forma el sistema hidráulico podría tener daños en los cilindros de la retro y en los del mando de giro, por lo que el proceso de excavación y cargue de balastro se detendría no hay afectación al medio ambiente ni en la salud de las personas.
	40026	Mandos del estabilizador derecho e izquierdo obstruido con sedimentos.	Durante la realización del proceso de excavación la MF – 86 no puede estabilizarse mientras excava por falta de fuerza en los cilindros estabilizadores. Impidiéndole a la MF – 86 cumplir con sus funciones principales, el operador reporta la falla del sistema hidráulico para una inspección de mantenimiento, no hay afectación al medio ambiente ni en la salud de las personas.
<b>Modo de falla. Nivel I.</b>	<b>Cód. MF.N.II.</b>	<b>Modo de falla nivel II.</b>	<b>Descripción de efectos.</b>

Sistema hidráulico principal averiado.	40027	Anillos de retención de los cilindros hidráulicos desgastados, escurrimiento de aceite.	Si se presenta un escurrimiento del aceite en los cilindros estos carecen de fuerza para levantar el cargador y el cucharón de la retro limitando a la MF – 86 cumplir con sus funciones principales, el operador reporta la falla a mantenimiento para una inspección del sistema hidráulico principal, el proceso de excavación y cargue de balastro se detiene, no hay afectación al medio ambiente ni a la salud de las personas.
	40028	Vástagos de los cilindros doblados por sobre cargas.	Al doblarse los vástago del cargar y de la retro producto de la sobrecarga la MF – 86 tiene dificultad para cumplir con sus funciones principales, el operador reporta la falla a mantenimiento para un cambio de cilindro, el proceso de excavación y cargue de balastro se detiene, no hay afectación al medio ambiente ni a la salud de las personas.
	40029	Mangueras fisuradas.	Al fisurarse o soltarse las mangueras se presenta un escape del aceite disminuyendo la presión hacia los cilindros la MF – 86 trabaja con dificultad al levantar el cargador y el cucharón de la retro, el operador reporta la falla a mantenimiento para un cambio de mangueras, el proceso de excavación y cargue de balastro se detiene por un tiempo corto, hay afectación al medio ambiente y en la salud de las personas.
	40030	Mangueras sueltas por mala instalación.	
	40031	Intercambiador de calor obstruido internamente.	El aceite sufre un sobrecalentamiento a medida que transcurren las horas de trabajo, el indicador de la temperatura del sistema hidráulico se enciende, el operador tiene que apagar la máquina para que se someta a una inspección en el sistema de enfriamiento del aceite, el proceso de excavación y cargue de balastro se detiene, si el operador continua operando la máquina el aceite disminuye su viscosidad a medida que transcurre el tiempo. Provocando daños severos en la bomba, mandos delanteros y trasero y en los cilindros hidráulicos, no hay afectación al medio ambiente ni a la salud de las personas.
	40032	Correa del ventilador flojas.	
	40033	Correa del ventilador partida.	
	40034	Aletas del ventilador partidas.	

Fuente: Autores.

**Tabla 24. Modos de fallas del sistema hidráulico de la transmisión y dirección**

Modo de falla. Nivel I.	Cód. MF.N.II.	Modo de falla nivel II.	Descripción de efectos.
Sistema hidráulico de la dirección y transmisión averiado.	50001	Transductor de temperatura del aceite del sistema de dirección y transmisión descalibrado.	Al descalibrarse el transductor, el indicador de la temperatura de la transmisión y dirección no enciende cuando hay un sobrecalentamiento del aceite, el operador de la MF 86 no se da cuenta de la falla mientras está operando la máquina, ocasionando daños severos en la caja de cambios, embrague, bomba y unidad hidrostática, el proceso de excavación y cargue de balastro se detiene por un largo tiempo, no hay afectación al medio ambiente ni a la salud de las personas.
	50002	Válvula de alivio descalibrada.	La válvula de alivio no controla la presión suministrada por la bomba hacia la unidad hidrostática de la dirección superando los 115 bar, obteniendo posibles daños en la unidad hidrostática por la sobrepresión, el operador no puede virar la maquina en ninguna dirección, el operador reporta la falla a mantenimiento para una inspección del sistema hidráulico de la dirección, el proceso de excavación y cargue de balastro se detiene no hay afectación al medio ambiente ni a la salud de las personas.
	50003	Unidad hidrostática de la dirección dañada.	La transmisión no recibe el caudal necesario para lubricar los elementos del embrague y a los de la caja de cambios, el operador reporta la falla a mantenimiento al observar que cuando vira el volante de la dirección los cilindros no reciben la suficiente presión para doblar la maquina a la derecha o la izquierda, el proceso de excavación y cargue de balastro se detiene, no hay afectación al medio ambiente ni a la salud de las personas.

	50004	Anillos de retención de los cilindros hidráulicos desgastados, escurrimiento de aceite.	Cuando hay escurrimiento de aceite en el cilindro de la dirección el operador de la MF86 no puede virar la maquina en ningún sentido por la falta de fuerza en los cilindros, impidiéndole a la MF - 86 cumplir con sus funciones principales, el operador reporta la falla a mantenimiento para una inspección del sistema de lubricación de la dirección, el proceso de excavación y cargue de balastro se detiene no hay afectación al medio ambiente ni a la salud de las personas.
Sistema hidráulico de la dirección y transmisión averiado.	50005	Filtro de succión dañado.	El aceite pasa con suciedades a la bomba y a la unidad hidrostática de la dirección, si el operador o los técnicos no detectan la falla o no cambian el filtro a tiempo pueden originarse daños severos en la bomba y en la unidad hidrostática producto del desgaste abrasivo o erosivo, por lo que la MF - 86 no podría cumplir con sus funciones principales, el proceso de excavación y cargue de balastro se detiene, no hay afectación al medio ambiente ni a la salud de las personas.
	50006	Filtro de succión obstruido con sedimentos.	
	50007	Filtro de presión dañado.	El aceite pasa con suciedades directamente al embrague y la caja de cambios si el operador o los técnicos no detectan la falla o no cambian el filtro a tiempo pueden originarse daños severos en la transmisión producto del desgaste abrasivo o erosivo, por lo que la MF - 86 no podría cumplir con sus funciones principales, el proceso de excavación y cargue de balastro se detiene, no hay afectación al medio ambiente ni a la salud de las personas.
	50008	Filtro de presión obstruido con sedimentos.	
	50009	Intercambiador de calor obstruido internamente.	El aceite de la transmisión se sobrecalienta , el indicador de la temperatura de la transmisión y dirección se enciende en el tablero de mandos, el operador al observar la falla la reporta a mantenimiento para una actividad de mantenimiento en sistema hidráulico de la dirección y transmisión, si el operador continua operando la maquina los elementos de la transmisión tendrían daños severos por lo que el proceso de excavación y cargue de balastro se detendría, no hay afectación al medio ambiente ni en la salud de las personas.
	50010	Correa del ventilador floja.	
	50011	Correa del ventilador rotas.	
	50012	Aletas del ventilador partidas.	
	50013	Sellos del cuerpo de la bomba desgastados.	

	50014	Sellos del cuerpo de la bomba partidos.	cojinetes, se presenta un escape de aceite por la parte frontal de la tapa de la bomba ocasionando una disminución de la presión y del caudal impulsada por la bomba por debajo de los 115 bar y 11 l/min a 2200 rpm, el operador de la MF - 86 tiene dificultad para virar la maquina en cualquier dirección por la falta de fuerza en los cilindros y la transmisión se sobre recalienta por la falta de aceite suministrado por la unidad hidrostática.
	50015	Cojinete de los ejes desgastados.	
	50016	Sellos del campo de presión de la bomba desgastados.	
	50017	Sellos del campo de presión de la bomba partidos.	
Sistema hidráulico de la dirección y transmisión averiado.	50018	Engranajes de la bomba desgastados por desgaste adhesivo, baja viscosidad del aceite.	La bomba presenta bajo rendimiento de operación, al suministrar una presión y un caudal por debajo de los 115 bar y 11 l/min a 2200 rpm hacia la unidad hidrostática, la MF - 86 tiene dificultad para virar por la falta de fuerza en los cilindros de la dirección, la caja de cambios se sobrecalienta por el bajo caudal suministrado por la unidad hidrostática. El operador reporta la falla a mantenimiento para una inspección del sistema hidráulico de la dirección y transmisión al observar que tiene problemas para virar la máquina y al ver encendido el indicador de la temperatura de la transmisión, el proceso de excavación y cargue de balastro se detiene, no hay afectación al medio ambiente ni a la salud de las personas.
	50019	Engranajes de la bomba desgastados por desgaste corrosivo, aceite contaminado.	
	50020	Engranajes de la bomba desgastados por desgaste abrasivo, sedimentos en el aceite.	
	50021	Engranajes de la bomba desgastados por desgaste erosivo, partículas metálicas en el aceite.	
	50022	Engranaje de la bomba partidos por desgaste adhesivo, baja viscosidad del aceite.	
	50023	Engranaje de la bomba partidos por desgaste corrosivo, aceite contaminado.	
	50024	Engranaje de la bomba partidos por desgaste abrasivo, sedimentos en el aceite.	
	50025	Engranaje de la bomba partidos por desgaste erosivo, partículas metálicas en el aceite.	
	50026	Engranajes de la bomba partidos por cavitación, alta viscosidad del aceite.	
	50027	Engranajes de la bomba partidos por cavitación, penetración de aire a través de la tubería.	
	50028	Engranajes de la bomba partidos por sobrecargas en el trabajo.	
	50029	Engranajes de la bomba partidos por contacto con el cuerpo de la bomba, eje del engrane conductor y conducido desbalanceado.	
	50030	Bomba rayada en la parte interna por altas presiones de trabajo.	
	50031	Caja cambios sobrecalentada por bajo nivel de aceite.	
	50032	Caja de cambios sobrecalentada por exceso de horas trabajadas, baja viscosidad del aceite.	
50033	Caja de cambios sobrecalentada por utilización de aceite inadecuado, alta o baja viscosidad.		
			La bomba no puede suministrar el caudal y la presión de aceite a la unidad hidrostática de la dirección para lubricar los elementos de la caja de cambios, el operador no puede virar la MF - 86 en ninguna dirección. El operador reporta la falla a mantenimiento para reemplazar la bomba, el proceso de excavación y cargue de balastro se detiene, no hay afectación al medio ambiente ni a la salud de las personas.
			Al sobrecalentarse la caja de cambios el indicador de la temperatura de la transmisión se enciende en el tablero de mandos, el operador a paga la máquina y reporta la falla a mantenimiento para una inspección del sistema hidráulico de la dirección. Si el

			operador continua operando la maquina la MF – 86 podría tener daños severos en la transmisión por lo que el proceso de excavación y cargue de balastro se detendría por un largo tiempo, no hay afectación al medio ambiente ni a la salud de las personas.
--	--	--	---

**Fuente: Autores.**

**Tabla 25. Modos de fallas del sistema eléctrico**

Modo de falla. Nivel I.	Cód. MF.N.II.	Modo de falla nivel II.	Descripción de efectos.
Sistema eléctrico averiado.	60001	Batería descargada.	El motor de arranque no recibe corriente al momento en el que el operador cierra el circuito y por consiguiente el motor diésel no recibe el impulso para poner en marcha la MF - 86, el operador reporta la falla a mantenimiento para una inspección del sistema eléctrico, el proceso de excavación y cargue de balastro se detiene, no hay afectación al medio ambiente ni a la salud de las personas.
	60002	Vasos de la batería sulfatados, placas secas nivel de la solución electrolítica bajo.	
	60003	Bornes de la batería desgastados.	
	60004	Motor de arranque quemado.	Al quemarse o pararse el motor de arranque el motor diésel no recibe el impulso para poner en operación a la MF - 86, el operador reporta la falla a mantenimiento, para cambiar el motor o solucionar el problema eléctrico, por lo que el proceso de excavación y cargue de balastro se detiene, no hay afectación al medio ambiente ni a la salud de las personas.
	60005	Motor de arranque parado por problemas eléctricos.	
	60006	Fusibles quemados.	El operador no observa ninguna señal de alarma en el tablero de mandos cuando hay un sobre recalentamiento del motor o de la transmisión. Las luces delanteras, traseras y los direccionales no encienden producto del corto, poniendo en riesgo la seguridad de los trabajadores en la vía al no notar un cambio de dirección de la MF - 86.
	60007	Transductor del indicador de combustible descalibrado.	El operador de la MF – 86 observa lecturas falsas del nivel de combustible hasta el punto en que este se seca, el proceso de excavación y cargue de balastro se detiene, no hay afectación al medio ambiente ni a la salud de las personas.

	60008	Transductor de la temperatura del agua del motor descalibrado.	La luz del indicador de la temperatura del motor no se enciende cuando el motor esta sobre recalentado si el operador no se percata de alguna forma de la falla el motor se funde por lo que el proceso de excavación y cargue de balastro se detiene por un tiempo, no hay afectación al medio ambiente ni a la salud de las personas.
	60009	Sensor de la temperatura de la transmisión descalibrado.	La luz del indicador de la temperatura de la transmisión no se enciende cuando la transmisión esta sobre recalentada si el operador no se percata de alguna forma de la falla la transmisión se funde por lo que el proceso de excavación y cargue de balastro se detiene por un tiempo, no hay afectación al medio ambiente ni a la salud de las personas.

**Fuente: Autores.**

Una vez planteadas las funciones principales y secundarias de la retro excavadora cargadora *MF – 86* y sus modos de fallas en sus condiciones operacionales, se procede a calcular el número de severidad *G*, número de frecuencias *F* a partir de las tablas 6 y 7, para posteriormente calcular el índice de riesgo o probabilidad de riesgo NPR, para luego seleccionar las tareas de mantenimiento correspondiente a cada modo de falla según el diagrama de decisión de RCM de la NASA referenciado en su documento llamado *Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Colateral Equipment*. (Ver figura 26)

**Tabla 26. Evaluación de consecuencias y selección de tareas de mantenimiento.**

<b>Código MF Nivel II</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>NPR</b>	<b>Clasificación NPR</b>	<b>Decisión tomada</b>	<b>Soportado en</b>
10001	2	6	12	Alto	Tareas de MP, prueba de campo al aceite	Programa MP
10002	2	6	12	Alto	Tareas de MP, inspección al nivel de aceite	Programa MP
10003	2	6	12	Alto	Tareas de MP	Programa MP
10004	2	6	12	Alto	Tareas de MP, inspección, tapa del cárter	Programa MP
10005	2	6	12	Alto	Tareas de MP, inspección, tapa del cárter	Programa MP
10006	2	6	12	Alto	Tareas de MP, prueba de campo	Programa MP
10007	2	6	12	Alto	Tareas de MP, inspección al nivel de aceite	Programa MP
10008	2	6	12	Alto	Tareas de MP	Programa MP
10009	2	6	12	Alto	Tareas de MP, inspección, tapa del cárter	Programa MP
10010	2	6	12	Alto	Tareas de MP, inspección, tapa del cárter	Programa MP
10011	2	6	12	Alto	Tareas de MP, prueba de campo	Programa MP
10012	2	6	12	Alto	Tareas de MP, inspección, al nivel de aceite	Programa MP
10013	2	6	12	Alto	Tareas de MP	Programa MP
10014	2	6	12	Alto	Tareas de MP, inspección, tapa del cárter	Programa MP
10015	2	6	12	Alto	Tareas de MP, inspección, tapa del cárter	Programa MP
10016	2	8	16	Alto	Tareas de MP, prueba de campo	Programa MP
10017	2	8	16	Alto	Tareas de MP, inspección, al nivel de aceite	Programa MP
10018	2	8	16	Alto	Tareas de MP	Programa MP
10019	2	8	16	Alto	Tareas de MP, inspección, tapa del cárter	Programa MP
10020	2	8	16	Alto	Tareas de MP, inspección, tapa del cárter	Programa MP
10021	1	8	8	Bajo	Tareas de MP, inspección a la bomba	Programa MP
10022	1	8	8	Bajo	Tareas de MP	Programa MP
10023	1	8	8	Bajo	Tareas de MP	Programa MP
10024	2	8	16	Alto	Tareas de MP, inspección S. enfriamiento	Programa MP
10025	2	8	16	Alto	Tareas de MP, inspección, nivel de agua	Programa MP
10026	2	8	16	Alto	Tareas de MP	Programa MP
10027	2	8	16	Alto	Tareas de MP	Programa MP
10028	2	8	16	Alto	Tareas de MP	Programa MP
10029	1	8	8	Bajo	Tareas de MP	Programa MP
10030	1	8	8	Bajo	Tareas de MP	Programa MP
10031	2	8	16	Alto	Tareas de MP, inspección, sonido del motor	Programa MP
10032	2	8	16	Alto	Tareas de MP	Programa MP
10033	2	8	16	Alto	Tareas de MP	Programa MP
10034	2	8	24	Alto	Tareas de MP	Programa MP
10035	2	6	12	Alto	Tareas de MP	Programa MP
10036	2	8	16	Alto	Tareas de MP	Programa MP
10037	2	8	16	Alto	Tareas de MP	Programa MP
10038	2	6	12	Alto	Aceptar falla	P. M. Correctivo
20001	7	2	14	Alto	Tareas de MP, limpieza del filtro de aire	Programa MP
20002	7	2	14	Alto	Tareas de MP, limpieza filtro - combustible	Programa MP
20003	2	3	6	Bajo	Tareas de MP, limpieza de inyectores	Programa MP
20004	2	8	16	Alto	Tareas de MP, limpieza, inspección y	Programa MP

					ajuste	
20005	2	2	4	Bajo	Aceptar falla	P. M. Correctivo
20006	2	2	4	Bajo	Tareas de MP, limpieza de mangueras	Programa MP
20007	1	3	3	Bajo	Aceptar falla	P. M. Correctivo
20008	3	2	6	Bajo	Aceptar falla	P. M. Correctivo
23001	4	5	20	Alto	Tareas de MP	Programa MP
23002	1	6	7	Bajo	Aceptar falla	P. M. Correctivo
23003	6	3	18	Alto	Aceptar falla	P. M. Correctivo
23004	3	2	6	Bajo	Aceptar falla	P. M. Correctivo
26001	4	4	18	Alta	Tareas de MP, limpieza del radiador	Programa MP
26002	4	4	18	Alta	Tareas de MP, limpieza de las mangueras	Programa MP
26003	1	4	4	Bajo	Tareas de MP	Programa MP
26004	4	2	8	Bajo	Aceptar falla	P. M. Correctivo
26005	2	5	10	Bajo	Aceptar falla	P. M. Correctivo
26006	2	5	10	Bajo	Aceptar falla	P. M. Correctivo
26007	4	2	14	Alto	Tareas de MP, ajustar correa	Programa MP
26008	4	3	12	Alta	Tareas de MP	Programa MP
26009	1	4	4	Bajo	Aceptar falla	P. M. Correctivo
26010	3	3	10	Bajo	Aceptar falla	P. M. Correctivo
30001	2	8	16	Alto	Aceptar falla	P. M. Correctivo
30002	2	8	16	Alto	Tareas de MP	Programa MP
30003	1	6	6	Bajo	Tareas de MP, P. de campo	Programa MP
30004	1	6	6	Bajo	Tareas de MP, inspección, tapa del tanque	Programa MP
30005	1	6	6	Bajo	Tareas de MP	Programa MP
30006	1	6	6	Bajo	Tareas de MP, inspección, tapa del tanque	Programa MP
30007	1	6	6	Bajo	Tareas de MP, prueba de campo	Programa MP
30008	1	6	6	Bajo	Tareas de MP, inspección, tapa del tanque	Programa MP
30009	1	6	6	Bajo	Tareas de MP	Programa MP
30010	1	6	6	Bajo	Tareas de MP, inspección, tapa del tanque	Programa MP
30011	1	6	6	Bajo	Tareas de MP	Programa MP
30012	1	6	6	Bajo	Tareas de MP	Programa MP
33001	1	4	4	Bajo	Aceptar falla	P. M. Correctivo
33002	3	4	12	Alto	Aceptar falla	P. M. Correctivo
33003	4	2	8	Bajo	Aceptar falla	P. M. Correctivo
33004	1	8	8	Bajo	Tareas de MP, inspección, fuga de aceite	Programa MP
33005	1	8	8	Bajo	Tareas de MP, inspección, fuga de aceite	Programa MP
33006	1	8	8	Bajo	Tareas de MP, prueba de campo	Programa MP
33007	1	8	8	Bajo	Tareas de MP, prueba de campo	Programa MP
36001	1	7	7	Bajo	Aceptar falla	P. M. Correctivo
36002	3	7	21	Muy alto	Aceptar falla	P. M. Correctivo
40001	3	6	18	Alto	Tareas de MP, prueba de campo	Programa MP
40002	3	6	18	Alto	Tareas de MP, inspección, tapa del tanque	Programa MP
40003	3	6	18	Alto	Tareas de MP, inspección, tapa del tanque	Programa MP
40004	3	6	18	Alto	Tareas de MP	Programa MP
40005	3	7	21	Muy alto	Tareas de MP, prueba de campo	Programa MP
40006	3	7	21	Muy alto	Tareas de MP, inspección, tapa del tanque	Programa MP
40007	3	7	21	Muy alto	Tareas de MP, inspección, tapa del tanque	Programa MP
40008	3	7	21	Muy alto	Tareas de MP	Programa MP
40009	3	7	21	Muy alto	Tareas de MP, prueba de campo	Programa MP
40010	3	7	21	Muy alto	Tareas de MP	Programa MP
40011	3	7	21	Muy alto	Tareas de MP	Programa MP
40012	3	7	21	Muy alto	Tareas de MP	Programa MP

40013	3	7	21	Muy alto	Tareas de MP	Programa MP
40014	6	2	12	Alto	Tareas de MP, cambio del filtro	Programa MP
40015	6	6	36	Muy alto	Tareas de MP, inspecciones periódicas	Programa MP
40016	6	6	36	Muy alto	Tareas de MP, inspecciones periódicas	Programa MP
40017	6	6	36	Muy alto	Tareas de MP, inspecciones periódicas	Programa MP
40018	6	6	36	Muy alto	Tareas de MP, inspecciones periódicas	Programa MP
40019	6	6	36	Muy alto	Tareas de MP, inspecciones periódicas	Programa MP
40020	4	6	20	Alto	Aceptar falla	P. M. Correctivo
40021	4	6	20	Alto	Aceptar falla	P. M. Correctivo
40022	4	6	20	Alto	Aceptar falla	P. M. Correctivo
40023	4	6	20	Alto	Aceptar falla	P. M. Correctivo
40024	4	6	20	Alto	Aceptar falla	P. M. Correctivo
40025	4	6	20	Alto	Aceptar falla	P. M. Correctivo
40026	3	6	18	Alto	Tareas de MP	Programa MP
40027	6	6	36	Muy alto	Tareas de MP, inspección diaria	Programa MP
40028	3	6	18	Alto	Tareas de MP, inspección diaria	Programa MP
40029	5	7	35	Muy alto	Tareas de MP, inspección diaria	Programa MP
40030	8	2	16	Alto	Tareas de MP, inspección diaria	Programa MP
40031	4	4	16	Alto	Tareas de MP, limpieza del intercambiador	Programa MP
40032	7	2	14	Alto	Tareas de MP, ajustar correas	Programa MP
0033	3	3	9	Bajo	Aceptar falla	P. M. Correctivo
40034	1	4	4	Bajo	Aceptar falla	P. M. Correctivo
50001	3	4	12	Bajo	Aceptar falla	P. M. Correctivo
50002	3	3	9	Bajo	Aceptar falla	P. M. Correctivo
50003	2	8	16	Alta	Tareas de MP	Programa MP
50004	4	6	20	Alta	Tareas de MP, inspección diaria	Programa MP
50005	6	2	12	Alta	Tareas de MP, cambio del filtro	Programa MP
20006	6	2	12	Alta	Tareas de MP, cambio del filtro	Programa MP
20007	6	2	12	Alta	Tareas de MP, cambio del filtro	Programa MP
20008	7	2	14	Alta	Tareas de MP, cambio del filtro	Programa MP
50009	4	4	18	Alta	Tareas de MP, limpieza del intercambiador	Programa MP
50010	7	2	14	Alta	Tareas de MP, ajustar correas	Programa MP
50011	4	3	12	Alta	Tareas de MP	Programa MP
50012	1	4	4	Bajo	Aceptar falla	P. M. Correctivo
50013	6	6	36	Muy alto	Tareas de MP, inspecciones periódicas	Programa MP
50014	5	6	30	Alto	Tareas de MP, inspecciones periódicas	Programa MP
50015	5	6	30	Muy alto	Tareas de MP, inspecciones periódicas	Programa MP
50016	6	6	36	Muy alto	Tareas de MP, inspecciones periódicas	Programa MP
50017	5	6	30	Muy alto	Tareas de MP, inspecciones periódicas	Programa MP
50018	3	6	18	Alto	Tareas de MP, inspección de campo	Programa MP
50019	3	6	18	Alto	Tareas de MP, inspección, tapa del tanque	Programa MP
50020	3	6	18	Alta	Tareas de MP, inspección, tapa del tanque	Programa MP
50021	3	6	18	Alta	Tareas de MP	Programa MP
50022	3	8	24	Muy alta	Tareas de MP, prueba de campo	Programa MP
50023	3	8	24	Muy alta	Tareas de MP, inspección, tapa del tanque	Programa MP
50024	3	8	24	Muy alta	Tareas de MP, inspección, tapa del tanque	Programa MP
50025	3	8	24	Muy alta	Tareas de MP	Programa MP
50026	3	8	24	Muy alta	Tareas de MP	Programa MP
50027	3	8	24	Muy alta	Tareas de MP	Programa MP
50028	3	8	24	Muy alta	Tareas de MP	Programa MP
50029	3	8	24	Muy alta	Tareas de MP	Programa MP
50030	3	8	24	Muy alta	Tareas de MP	Programa MP

50031	3	5	15	Alta	Tareas de MP	Programa MP
50032	3	5	15	Alta	Tareas de MP	Programa MP
50033	3	5	15	Alta	Tareas de MP	Programa MP
60001	7	3	21	Muy alta	Tarea MP, inspección diaria	Programa MP
60002	5	2	8	Bajo	Aceptar falla	P. M. Correctivo
60003	7	2	14	Alta	Tarea MP, inspección diaria	Programa MP
60004	3	8	24	Muy alta	Tareas MP	Programa MP
60005	6	8	48	Muy alta	Tareas MP	Programa MP
60006	7	8	56	Muy alta	Aceptar falla	P. M. Correctivo
60007	3	3	9	Bajo	Aceptar falla	P. M. Correctivo
60008	3	3	9	Bajo	Aceptar falla	P. M. Correctivo
60009	3	3	9	Bajo	Aceptar falla	P. M. Correctivo

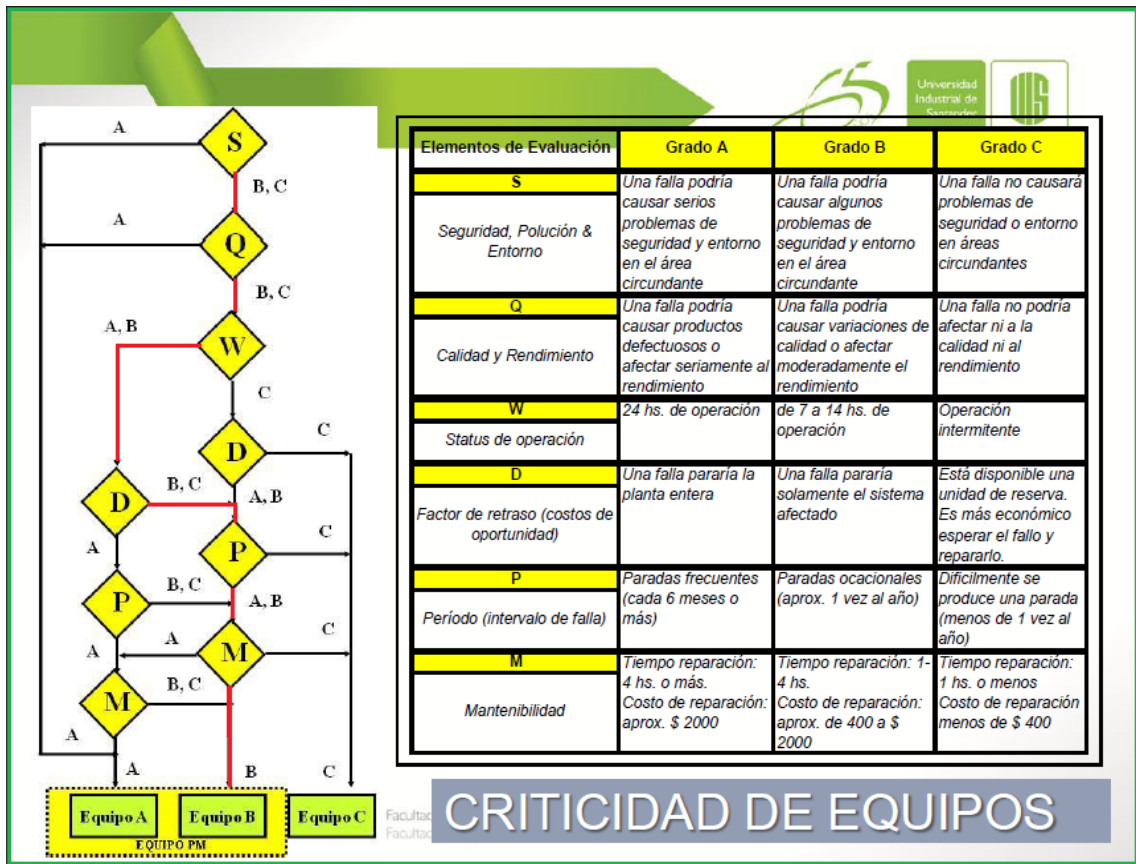
**Fuente: Autores.**

### **5.5. ANÁLISIS DE CRITICIDAD MODO DE FALLA COMPONENTE.**

EL análisis de criticidad modo de falla componente propone una evaluación del equipo, analizando y siguiendo una secuencia algorítmica basada en seis criterios evaluativos tal como se muestra en la figura 31.

Del resultado del diagrama de Pareto del sistema hidráulico principal de los componentes que más están expuestos a una ocurrencia de falla, son los sellos de la bomba causándole a esta una indisponibilidad y por consiguiente una parada del proceso. Es aquí donde la información obtenida en la hoja de RCM nos brinda una valiosa información para el análisis del equipo en cuanto al efecto que este produce en el proceso.

**Figura 31. Matriz de criticidad modo de falla componente**



**CRITICIDAD DE EQUIPOS**

EQUIPO A	EQUIPO B	EQUIPO C
Actividades para prevenir reincidencia de falla graves o problemas de mantenimiento. CAPDO	Actividades de mantenimiento periódicas, mantenimiento predictivo.	Actividades de mantenimiento autónomo.

**Fuente: Especialización en Gerencia de Manteniendo, clase de TPM, Mauricio Aguilar.**

Del anterior análisis podemos concluir que la clasificación de la bomba es de criticidad B para una actividad de mantenimiento preventivo periódica tal como se concluyó en la hoja de RCM pero contando con un tiempo de reparación de una a cuatro horas.

## 5.6. ANÁLISIS 5W + 1H

La *5W + 1H* es una metodología de análisis que consiste en contestar seis preguntas básicas que son, que (*what*), porque (*why*), cuando (*when*), donde (*where*), quien (*who*) y como (*how*), que nos ayudaran a encontrar el fenómeno que afecta al proceso. El fenómeno es la combinación de hechos que llevan a la ocurrencia del problema y se define con la frase compuesta por las respuestas de la *5w + 1h*<sup>9</sup>.

Para nuestro caso en estudio el análisis por medio de la *5W + 1H* se ilustra en la tabla 27. Una vez teniendo la descripción del fenómeno se procede al análisis causa raíz para así saber la verdadera razón del porque ocurrió la falla.

---

<sup>9</sup> Aguilar, Mauricio. Especialización en Gerencia de Mantenimiento - módulo TPM, Bogotá D.C, Enero 25 de 2014, P. 220.

**Tabla 27. Análisis 5W + 1H a la bomba de engranaje del sistema hidráulico principal**

<b>ANÁLISIS 5W + 1H</b>	
<p><i>¿QUE?</i>  <b>¿En qué cosa o producto vio el problema?</b></p>	Los sellos de la bomba se parten.
<p><i>¿CUÁNDO?</i>  <b>¿Cuándo ocurrió el problema? (momento en el que ocurre)</b></p>	La retro queda sin fuerza para excavar.
<p><i>¿DÓNDE?</i>  <b>¿Dónde vio el problema?(Línea/ Maquina/ Ubicación)                  ¿En qué parte del trabajo o material detecto el problema?</b></p>	En el lado frontal de la bomba.
<p><i>¿QUIÉN?</i>  <b>¿El problema está relacionado con la habilidad de la persona?</b></p>	Depende de la habilidad de la persona.
<p><i>¿CUÁL?</i>  <b>¿Cuál es la tendencia o patrón que tiene el problema?</b></p>	Aproximadamente seis veces en dos años.
<p><i>¿CÓMO?</i>  <b>¿Cómo varía el estado de lo normal? Óptimo</b></p>	Al no existir una actividad de mantenimiento periódico.
<p><b>FENOMENO: Al no existir una actividad de mantenimiento periódico, los sellos de la bomba se parten, en el lado frontal de la bomba y la retro queda sin fuerza para excavar esto sucede aproximadamente seis veces en dos años y depende de la habilidad de la persona.</b></p>	

**Fuente: Autores.**

## **5.7. ANÁLISIS CAUSA RAÍZ RCA**

El análisis causa raíz RCA es una metodología de confiabilidad que emplea un conjunto de técnicas o proceso para identificar factores causales de falla.

Es decir, el origen de un problema definido, relacionado con el personal los procesos, tecnología y la organización, con el objetivo de identificar actividades o acciones rentables que los eliminen.

### **5.7.1. Métodos de análisis causa raíz RCA.**

Existen muchos métodos para la aplicación del análisis, algunos son especializados y aplican a situaciones u objetos específicos. Muchos tienen sus propias categorizaciones de causas, pero todos son efectivos cuando se usan dentro de los rangos para los cuales fueron diseñados.

Para las investigaciones de las causas de las fallas se utilizan gran variedad de técnicas y su selección depende del tipo de problema y datos disponibles, entre las diferentes alternativas se encuentran: análisis causa efecto, árbol de decisión, diagrama de espina de pescado y el software de RCA que ayudan a la construcción del árbol de fallas y la documentación del proceso.

Entre los beneficios que incluye la aplicación de esta herramienta esta la reducción del número de incidentes, aumento de la confiabilidad y seguridad, disminución de los costos de mantenimiento y aumento de la eficiencia y la productividad

Para realizar el análisis de causa raíz se debe ir a fondo, se debe ir más allá de los componentes físicos de la falla y analizar las acciones humanas o raíces humanas que desataron la cadena causa efecto que llevo a la causa física, lo cual implica analizar por qué hicieron eso, si se debió a procedimientos incorrectos, a especificaciones equivocadas o a falta de capacitaciones, lo cual pude sacar a la luz raíces latentes, es decir deficiencias en el gerenciamiento, que de no corregirse, pueden a hacer que la falla se repita nuevamente.

Para nuestro caso en estudio utilizaremos el árbol de decisión tal como se muestra en la figura 32.

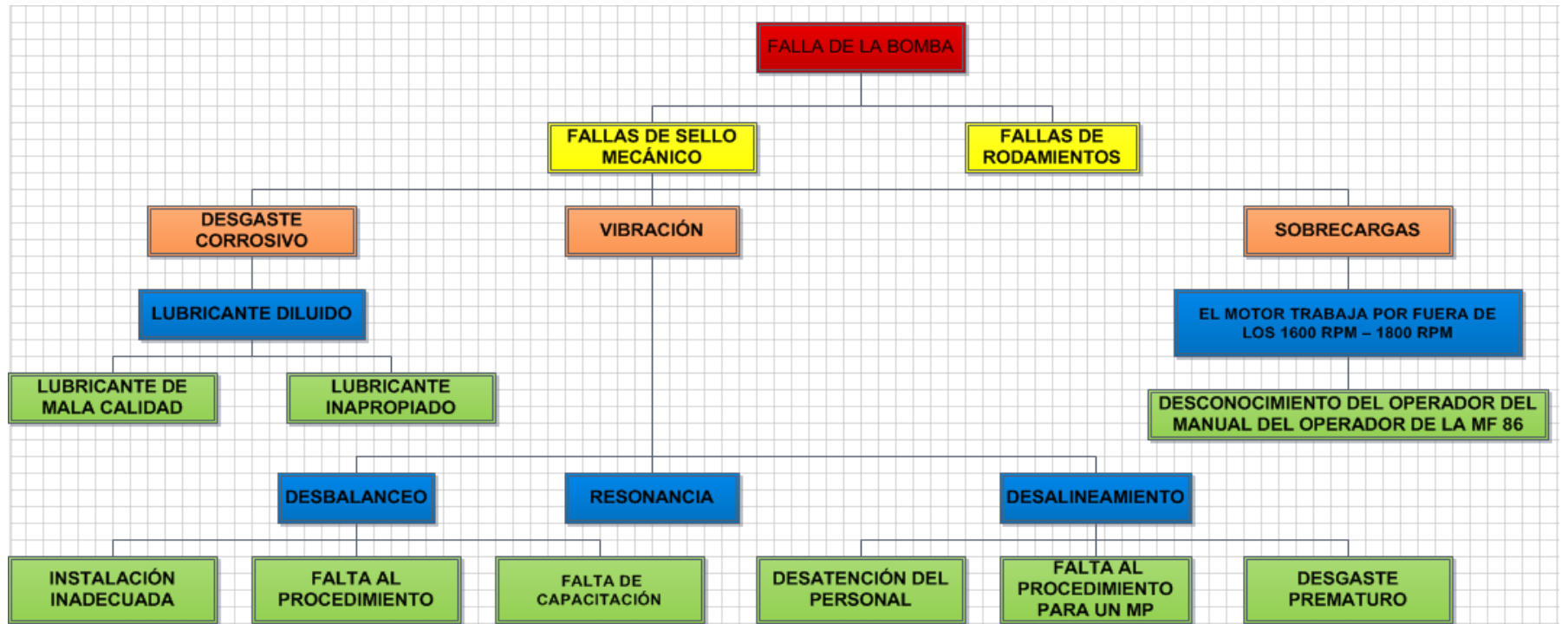
### **5.7.2. Árbol lógico de decisión.**

Es considerado como una herramienta de la confiabilidad operacional que permite representar gráficamente las relaciones de causa y efecto que nos conduce a descubrir el evento indeseable y la raíz del problema. La idea consiste en colocar los datos de un fallo en forma lógica y coherente, diagramando la toma de decisiones verificadas a través de preguntas que lo ayudan a guiar en la búsqueda de la respuesta correcta<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup> VERGEL, José. Aplicación de la metodología de análisis de causa raíz (RCA) para la identificación del mal actor de la excavadoras Caterpillar 345C y 334D en la empresa Drummond LTD [Consultado el 28 de enero de 2014]. Disponible en < <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2012/146776.pdf>>.

Figura 32. RCA de la bomba de engranajes del sistema hidráulico principal de la retroexcavadora cargadora MF - 86



Fuente: Autores.

El anterior RCA se basó por medio la técnica de los cinco por qué's, donde se siguió una cadena lógica de razonamiento, para dar con la causa del problema, determinado por medio las *5W + 1H*. Una de las conclusiones señaladas resaltada en color verde es el resultado del por qué la bomba del sistema hidráulico fallo; cabe decir que encontrar la causa que originó el problema no garantiza que se vuelva a presentar, si no que se sustenta con la gestión de un plan de mantenimiento. La programación de las rutinas de mantenimiento originadas de la metodología de RCM se ilustra en las tablas 28 y 29, el cual debe ser llevado a cabo por el personal de mantenimiento teniendo en cuenta su complejidad, su importancia, grado de dificultad y el conocimiento de ejecución, tal como se muestra en la tabla 30.

**Tabla 28. Intervalos de rutinas de mantenimiento preventivo**

<i>ACTIVIDADES</i>	<i>160 – 200 h</i>	<i>320 – 400 h</i>	<i>500 h</i>	<i>1000 h</i>	<i>4 – 5 años</i>	<i>5 – 6 años</i>
<b>Motor Perkins 4252</b>						
MP - Overhaul						
Cambio del filtro y aceite SAE30 – API CE						
Cambio de filtro y aceite SAE15W-40 API CE						
<b>Sistema de alimentación de combustible</b>						
Cambio del filtro de combustible						
MP – Bomba de combustible						
Cambio del elemento de seguridad del filtro de aire						
<b>Transmisión Power Shuttle</b>						
MP – Overhaul						
Cambio del aceite						
Cambio del filtro de presión						
Cambio filtro de succión						
<b>Sistema hidráulico principal</b>						
Cambio de aceite						
Cambio del filtro						
Inspección de los sellos de la bomba						
<b>Sistema hidráulico de la transmisión y dirección</b>						
Inspección de los sellos de la bomba						
Inspección de los sellos del cilindro de la dirección						

**Fuente: Autores.**

**Tabla 29. Intervalos de rutinas de mantenimiento preventivo**

<b>ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>
<b><i>CADA 10 HORAS DE TRABAJO</i></b>
Revise el nivel del enfriador del radiador; si fuera necesario complételo.
Vacíe el agua y otras impurezas del dispositivo de filtrado previo de combustible y del filtro de combustible antes de la puesta en marcha del motor.
Abastezca el depósito de combustible al final de cada jornada de trabajo.
Revise el funcionamiento de todos los instrumentos y luces del tablero.
Apriete con los dedos la válvula de descarga de polvo del filtro de aire.
Revise los sellos de retención de los cilindros de la retro y el cargador.
<b><i>CADA 50 HORAS DE TRABAJO</i></b>
Revise el nivel de líquido del sistema hidráulico principal.
Revise el nivel de aceite del motor; si fuera necesario, complételo.
Revise el nivel de aceite del sistema de transmisión; si fuera necesario, complételo.
Revise la presión de aire de los neumáticos delanteros y traseros.
Verifique el nivel de los reductores finales traseros; si fuera necesario complételo.
Revise la batería y verifique el nivel de la solución electrolítica; si fuera necesario complételo sólo con agua destilada.
<b><i>CADA 200 HORAS DE TRABAJO</i></b>
Revise la tensión y el estado de la correa del ventilador; si fuera necesario ajústela o cámbiela.
Revise el recorrido libre de los pedales de freno; ajústelo si es necesario.
Inspeccione el freno de estacionamiento, ajústelo, si es necesario.
Inspeccione los pernos maestros del eje delantero, elimine el juego si fuera necesario
Reapriete las tuercas de fijación de las ruedas.
<b><i>CADA 400 HORAS DE TRABAJO</i></b>
Quite el tubo-respiradero del motor y límpielo por dentro con chorros de aire comprimido y solvente.
Inspeccione y si fuera necesario, ajuste la convergencia de las ruedas delanteras
Limpie la tela (colador) de la bomba elevadora de combustible.
<b><i>CADA 500 HORAS DE TRABAJO</i></b>
Vacíe el agua del radiador, limpie el sistema, reponga los tapones y reabastezca añadiendo inhibidor corrosivo al refrigerante.
Reemplace el filtro de retorno del sistema hidráulico principal.
<b><i>CADA 750 HORAS DE TRABAJO</i></b>
Reajuste la precarga de los rodamientos de las unidades de reducción final del puente trasero.
Desmante los rodamientos de las ruedas delanteras, lave las piezas en solvente, cambie la grasa, monte los rodamientos y ajuste la precarga.
Revise el juego de los levantaválvulas del motor.
Pruebe y ajuste los inyectores de combustible.
<b><i>CADA 1000 HORAS DE TRABAJO</i></b>
Vacíe y limpie el interior del tanque de combustible, después vuelva a llenarlo.
Revise la parte eléctrica y mecánica del alternador.
Revise la parte eléctrica y mecánica del motor de arranque.

**Fuente: Manual del operador de la retroexcavadora cargadora MF – 86.**

**Tabla 30. Tareas de mantenimiento según su complejidad**

<b>NIVEL</b>	<b>TRABAJOS</b>	<b>PERSONAL</b>
<i>I</i>	Aquellas rutinas que garantizan la operación permanente y previenen daños al poderse detener el equipo e inmediatamente se detectan las fallas. Prácticamente pueden diagnosticarse mediante la observación directa del operador. Rutinas tales como la limpieza, inspección diaria, engrases rutinarios, detección de ruidos anormales, revisión de aceites y líquidos.	Operador Técnico del nivel aprendiz
<i>II</i>	Aquellas rutinas que además requieren de operaciones sencillas de mantenimiento por parte de un técnico entrenado en el equipo. No exigen paradas prolongadas y su finalidad es garantizar la operación confiable. Rutinas tales como las revisiones especializadas sencillas, tensión de correas, relleno de líquidos y limpieza de filtros de aire	Operador Técnico I con curso básico del equipo
<i>III</i>	Son trabajos especializados en sitio y son de carácter básicamente rutinarios. Requieren de un técnico y con experiencia en trabajos como el cambio de partes, verificación de parámetros de servicio, calibraciones rutinarias, cambio de aceite y filtros.	Técnico II de alto nivel en la empresa con varios años de experiencia y cursos avanzados sobre el equipo
<i>IV</i>	Nivel de taller especializado, donde los trabajos requieren de un grupo de técnicos para su labor. Consumen bastante tiempo y requieren herramientas especializadas para su ejecución como lo son el despiece parcial para mantenimiento, calibraciones especializadas, revisión de tolerancias y ajustes detallados.	Grupo de trabajo con experiencia previa, conformado en la mayoría de los casos por técnicos en varias disciplinas, bajo la dirección directa de un ingeniero de campo.
<i>V</i>	Son trabajos del más alto nivel. Requieren de personal altamente capacitado y en ocasiones apoyo del fabricante. Contemplan los llamados mantenimientos, donde la planeación y programación juegan un papel importante. Se requiere de talleres y herramientas de apoyo especializadas como el despiece total, calibraciones con instrumentos especializados, pruebas destructivas y no destructivas.	Grupo de trabajo con experiencia previa, conformado en la mayoría de casos por técnicos en varias disciplinas, bajo la dirección directa de un ingeniero de campo.

**Fuente: Especialización en Gerencia de Manteniendo, clase de mantenimiento preventivo, Carlos Ramón Gonzales.**

## **6. PROPUESTA DE UN ÁREA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN LA ALCALDÍA DE LA UNIÓN DE SUCRE**

Este capítulo tiene como objetivo explicar los pasos y conceptos para llevar a cabo la propuesta de un área de mantenimiento para la maquinaria tipo pesado utilizada en el mantenimiento de las vías del municipio de La Unión de Sucre.

A continuación se muestran varias razones que justifican este requerimiento:

- ✓ El municipio a lo largo de su historia, en todas las administraciones ha tenido que mantener en buen estado las vías destapadas que comunican al casco urbano con las veredas y pueblos vecinos, para garantizar el tránsito vehicular y mantener el desarrollo socioeconómico de la zona.
  
- ✓ El municipio en sus diferentes administraciones ha contado con maquinaria propia para llevar a cabo las labores de mantenimiento vial, pero en los cambios de administración se evidencia que gran parte de la flota se recibe en malas condiciones o total mente fuera de servicio, tal como se muestra en la figura 13 y 33, a tal punto, de no poder utilizar la flota propia y verse en la necesidad de alquilar máquinas pertenecientes a otras instituciones, generando gastos administrativos y económicos adicionales al presupuesto municipal. En la tabla 31 se muestran las inversiones realizadas en el mantenimiento vías pertenecientes a las veredas de Las Alias, Piñalito, La Esperanza y en la tabla 32, se muestran las inversiones realizadas a la motoniveladora Mitsubishi *MG – 300T* y al tractor Ursus 6014.

**Figura 33. Volqueta Chevrolet modelo 91**



**Fuente: Secretaria de Planeación - Alcaldía de La Unión De Sucre.**

**Tabla 31. Inversiones realizadas en el mantenimiento de las vías de las veredas La Esperanza, Piñalito y Las Alias.**

<b>Etapas</b>	<b>Año</b>	<b>Código - CIU</b>	<b>Nombre de la Actividad</b>	<b>Ruta Crítica</b>	<b>Valor</b>
Inversión	2013		Construir 4 boxcoluverts de 1,00x1,00x6,50 m. en concreto reforzado lo que incluye excavaciones, concretos, acero de refuerzo y relleno de estructuras.	Si	65,101,048
Inversión	2013		Contratar personal calificado para realizar seguimiento y evaluación ambiental a las obras	Si	7,743,026
Inversión	2013		Perfilar y mejorar 8,182 km de vías realizando la conformación de 40910 m2 de calzada existente con un ancho de 5 m y afirmado con 4763 m3 de material seleccionado y 1371 m3 de material de relleno.	Si	580,150,336
Inversión	2013		Realizar la administración del proyecto.	Si	198,737,672
Inversión	2013		Realizar obras de mitigación de los impactos ambientales	Si	19,357,566
Operación	2014		Reparación de baches en afirmado, perfilado y compactación de la superficie en afirmado	No	24,400,109
Operación	2015		Reparación de baches en afirmado, perfilado y compactación de la superficie en afirmado	No	25,864,115
<b>Valor Total</b>					<b>966,522,325</b>

**Fuente: Secretaria de Planeación - Alcaldía de La Unión De Sucre.**

**Tabla 32. Inversiones realizadas en el mantenimiento de las maquinas del municipio de La Unión De Sucre**

<b>MAQUINA</b>	<b>TIPO DE MANTENIMIENTO</b>	<b>INVERSIÓN</b>
<i>Motoniveladora Mitsubishi MG – 300T</i>	Mantenimiento correctivo	\$ 630000000
<i>Tractor Ursus 6014</i>	Mantenimiento correctivo	\$ 16000000

**Fuente: Secretaria de Planeación - Alcaldía de La Unión De Sucre.**

## **6.1. ESTUDIO TÉCNICO**

Para proponer el área de mantenimiento en la alcaldía de La Unión de Sucre se realizara un estudio técnico de los elementos necesarios que se necesitan para llevar a cabo esta propuesta. El estudio se realizara de acuerdo al tiempo que duro el proyecto de mantenimiento de las vías de las veredas La Esperanza, Piñalito y Las Alias, el cual tuvo una duración de tres meses y con base a esto se realizaran las conclusiones pertinentes para ver si es factible o no, que el municipio realice el arreglo de las vías con maquinaria propia o contratada.

### **6.1.1. Mano de Obra**

Se trata del personal que realizará los trabajos de mantenimiento, las actividades se designaran de acuerdo a las capacidades y destrezas del personal tal como se explicó en la tabla 30.

Para nuestro caso en estudio se propone el siguiente personal para conformar el área de mantenimiento.

- ✓ **Ingeniero mecánico líder:** es responsable de elaborar y coordinar los planes de mantenimiento para que estos sean ejecutados el momento oportuno para así garantizar la disponibilidad y confiabilidad de la

maquinaria, también es responsable de la organización, distribución, supervisión y control de los trabajos de mantenimiento realizados por los técnicos.

- ✓ **Ingeniero mecánico junior:** es responsable de supervisar todas las actividades de mantenimiento periódicas realizadas en campo antes y después de poner la maquina en funcionamiento.
- ✓ **Técnicos en mecánica:** son los responsable de los trabajos del mantenimiento preventivo o correctivo originados del plan de mantenimiento y también tienen la función de realizar todas la actividades de mantenimiento periódicas recomendadas por el fabricante y están bajo la supervisión del ingeniero líder y el ingeniero pasante.
- ✓ **Operadores:** son los encargados de operar las maquinas durante la realización del proceso de mantenimiento vial y tienen la función de seguir los lineamientos de acuerdo al trazado de la red vial.

En la tabla 33 se muestra la nómina que el municipio tendría que pagar al personal de mantenimiento ante una eventual creación del área de mantenimiento preventivo.

**Tabla 33. Nómina del personal del departamento de mantenimiento**

<b>MANO DE OBRA</b>						
<b>#</b>	<b>PERSONAL</b>	<b>SALARIO TRIMESTRAL</b>	<b>CARGA PRESTACIONAL</b>	<b>SALARIO A PAGAR</b>	<b>SUBSUBSIDIO DE TRANSPORTE TRIMESTRAL</b>	<b>TOTAL</b>
1	Ing. Mecánico - Líder	\$ 7'500.000	\$ 4'296.750	\$ 11'796.750	\$ 90.000	\$ 11'886.750
1	Ing. Mecánico - Pasante	\$ 3'000.000	\$ 1'718.700	\$ 4'718.700	\$ 540.000	\$ 5'258.700
2	Técnico Mecánico II	\$ 10'800.000	\$ 6'187.320	\$ 16'987.320	\$ 720.000	\$ 17'707.320
1	Técnico electromecánico II	\$ 5'400.000	\$ 3'093.660	\$ 8'493.660	\$ 540.000	\$ 9'033.660
2	Técnico Mecánico I	\$ 3'000.000	\$ 1'716.700	\$ 4'718.700	\$ 1'080.000	\$ 5'798.700
6	Operadores	\$ 18'000.000	\$ 10'312.200	\$ 28'312.200	\$ 3'240.000	\$ 31'552.200
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 47'700.000</b>	<b>\$ 27'327.330</b>	<b>\$75'027.330</b>	<b>\$6'210.000</b>	<b>\$81'237.330</b>

**Fuente: Autores.**

### **6.1.2. Materia Prima e Insumos**

La materia prima principal que la administración municipal necesita para llevar a cabo los proyectos de mantenimiento de las vías es el material seleccionado o balastro; este material no representa ningún costo alguno debido a que el municipio cuenta con yacimientos propios en la región para llevar a cabo esta labor.

En las tabla 34, se muestran los insumos que la retroexcavadora y las volquetas necesitan para su puesta en marcha. Los cálculos para las volquetas para el consumo de combustible se hicieron para 8 horas de operación con un consumo diario de \$ 100.000 en un periodo de 3 meses, tiempo que utilizaron para verter el material a largo de los 8182 km de la vía a mantener, el mismo procedimiento se utilizó para la retro excavadora cargadora con un consumo de combustible de \$ 95.000 diarios.

**Tabla 34. Lista de insumos de la volqueta Dodge y la retroexcavadora cargadora MF - 96.**

<b>INSUMOS</b>	<b>DODGE M. 70 (1 Volqueta)</b>	<b>MF - 86</b>
<i>Combustible DIESEL</i>	\$ 9'000.000	\$ 8'550.000
<i>Aceite hidráulico</i>	\$ 180.000	\$ 540.000
<i>Aceite del motor</i>	\$ 210.000	\$ 120.000
<i>Aceite de la transmisión</i>	\$ 180.000	-
<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 9'570.000</b>	<b>\$ 9'210.000</b>
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 18'780.000</b>	

**Fuente: Secretaria de Planeación - Alcaldía de La Unión de Sucre.**

En el municipio de la Unión cuenta en la actualidad con tres volquetas por lo que el valor total por la operación de las tres máquinas es de \$ 28'710,000 para el caso del aceite hidráulico de la transmisión y dirección es el mismo del sistema hidráulico principal. Esto quiere decir que se tiene un total de insumos por un valor de \$37'920.000.

### **6.1.3. Repuestos**

El ingeniero líder debe conocer con precisión las partes de los repuestos, herramientas y materiales necesarios para ejecutar las tareas de mantenimiento y asegurarse de que estén disponibles y se puedan contabilizar y controlar; en las tablas 35 y 36 se muestran los repuestos que debería tener las maquinas ante una eventual falla.

**Tabla 35: Lista de los repuestos de la retroexcavadora cargadora MF - 86**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>V. UNITARIO</b>	<b>V. TOTAL</b>
<i>Mangueras de la bomba del sistema hidráulico</i>	4	\$ 200.000	\$ 800.000
<i>Mangueras de los cilindros</i>	12	\$ 85.000	\$ 1'200.000
<i>Mangueras de los estabilizadores</i>	2	\$ 200.000	\$ 400.000
<i>Filtros de combustible</i>	2	\$ 180.000	\$ 360.000
<i>Juegos de sello de la bomba del sistema hidráulico</i>	2	\$ 200.000	\$ 400.000
<i>Batería</i>	1	\$ 360.000	\$ 360.000
<i>Fusibles</i>	12	\$ 500	\$ 6.000
<i>Juego de sellos retenedores de los cilindros de la retro y el cargador</i>	1	\$ 280.000	\$ 280.000
<i>Filtro de aire.</i>	4	\$ 30.000	\$ 120.000
<i>Caneca de grasa de 12 kg</i>	3	\$ 30.000	\$ 90.000
<i>Correas</i>	2	\$ 100.000	\$ 200.000
<i>Bomba del sistema hidráulico</i>	1	\$ 1'700.000	\$1'700.000
<i>Bomba sistema hidráulico de la dirección y transmisión</i>	1	\$ 6'000.000	\$ 600.000
<i>Motor de arranque</i>	1	\$ 620.000	\$ 620.000
<b>Total</b>		<b>\$ 5'606.000</b>	

**Fuente: Secretaria de Planeación - Alcaldía de La Unión de Sucre.**

De la anterior tabla los elementos de la MF – 86, muchos de estos son compatibles con los del tractor MF – 90, por tratarse el mismo fabricante de tal modo que se toma la misma cotización para la MF – 90.

**Tabla 36. Lista de los repuestos de la volqueta Dodge**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>V. UNITARIO</b>	<b>V. TOTAL</b>
<i>Filtros de aceite</i>	2	\$ 18.000	\$ 36.000
<i>Crucetas</i>	1	\$ 90.000	\$ 90.000
<i>Sello selpa - Cilindro</i>	1	\$ 10.000	\$ 10.000
<i>Filtros de combustible</i>	4	\$ 185.000	\$ 740.000
<i>Juegos de sello de la bomba del sistema hidráulico</i>	2	\$ 30.000	\$ 60.000
<i>Batería</i>	2	\$ 360.000	\$ 700.000
<i>Fusibles</i>	12	\$ 500	\$ 6.000
<i>Filtro de aire.</i>	4	\$ 50.000	\$ 200.000
<i>Terminales</i>	1	\$ 180.000	\$ 180.000
<i>Correas</i>	6	\$ 17.000	\$ 102.000
<i>Bomba del sistema hidráulico</i>	1	\$ 1'400.000	\$ 1'400.000
<i>Retenedores</i>	1	\$ 400.000	\$ 400.000
<i>Motor de arranque</i>	1	\$ 600.000	\$ 600.000
<b>Total</b>		<b>\$ 5'344.000</b>	

**Fuente: Secretaria de Planeación - Alcaldía de La Unión De Sucre.**

**Tabla 37. Lista de los repuestos del tractor Ursus 6014.**

<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>V. UNITARIO</b>	<b>V. TOTAL</b>
<i>Pimpina de aceite</i>	6	\$ 230.000	\$ 1'380.000
<i>Filtros de aceite</i>	2	\$ 30.000	\$ 60.000
<i>Mangueras</i>	4	\$ 96.600	\$ 384.000
<i>Batería</i>	1	\$ 519.100	\$ 519.100
<i>Retenedores</i>	5	\$ 76.200	\$ 381.000
<i>Mangueras con un acople</i>	3	\$ 110.100	\$ 330.000
<i>Mangueras con dos acoples</i>	3	\$ 198.000	\$ 594.000
<i>Punteros</i>	8	\$ 70.000	\$ 560.000
<i>Silicona</i>	3	\$ 15.000	\$ 45.000
<i>Extintor</i>	7	\$ 80.000	\$ 560.000
<i>Cisterna</i>	2	\$ 35.000	\$ 70.000
<i>Bombillos alógenos</i>	4	\$ 24.000	\$ 96.000
<i>Cañete grasa</i>	1	\$ 200.000	\$ 200.000
<i>Manguera industrial</i>	1	\$ 500.000	\$ 500.000
<i>Gato</i>	1	\$ 250.000	\$ 250.000
<i>Llave cruz</i>	2	\$ 50.000	\$ 100.000
<i>Tester</i>	1	\$ 321.000	\$ 321.000
<i>Galmes valvalina</i>	4	\$ 240.000	\$ 960.000
<b>SUBTOTAL</b>		<b>7'310.000</b>	
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 8'479.600</b>	

**Fuente: Secretaria de Planeación - Alcaldía de La Unión de Sucre.**

Durante la realización de los proyectos de mantenimiento vial, la alcaldía de la Unión de Sucre carece de las siguientes maquinas: Bulldozer y Compactador.

En la tabla 38 se encuentran los valores de alquiler por horas que maneja la secretaria de planeación e infraestructura de las maquinarias utilizadas en dicho proceso.

**Tabla 38. Costo por hora para maquinaria pesada**

<b>MAQUINARIA</b>					
<b>Bulldozer</b>	<b>Compactador</b>	<b>Retroexcavadora</b>	<b>Motoniveladora</b>	<b>Volqueta</b>	<b>Tractor</b>
\$ 135,000	125,000	100,000	180,000	\$ 70,000	\$ 110,000

**Fuente: Secretaria de Planeación - Alcaldía de La Unión de Sucre.**

Los días trabajadas por el Bulldozer durante el desarrollo del mantenimiento de las vías correspondiente a las veredas Las Alias, Piñalito y La Esperanza fue de 3 meses durante 8 horas diarias, el mismo tiempo empleado por el compactador según datos suministrados por la secretaria de planeación e infraestructura, en la tabla 39 se muestran los gastos correspondiente a cada tipo de máquina por el alquiler de la misma.

**Tabla 39. Inversiones realizadas al contratar el Bulldozer, Compactador y Motoniveladora**

<b>MAQUINAS</b>		
<b>Bulldozer</b>	<b>Compactador</b>	<b>Motoniveladora</b>
\$ 97'000.000	\$ 90'000.000	\$ 129'000.000

**Fuente: Secretaria de Planeación - Alcaldía de La Unión De Sucre.**

## 6.2. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO TÉCNICO

Al realizar el estudio técnico de la propuesta del área de mantenimiento de La Unión de Sucre podemos concluir, que el municipio al contratar toda la maquinaria para llevar a cabo el proceso de mantenimiento vial de las veredas Las Alias, Piñalito y La esperanza tuvo que realizar una inversión de \$ 645'252.000. Pero si el municipio cuenta con un área de mantenimiento y utiliza las maquinas propias del municipio la inversión sería de \$ 449'906.000 con una ganancia neta de \$ 195'319.000, presupuesto que puede ser utilizado en otro proyecto de inversión social, cabe decir que el cálculo de los gasto de la motoniveladora se hizo como si el municipio no contara con esta máquina debido a la poca información que poseía la motoniveladora Mitsubishi *MG - 300T*.

En los anexos se listan los formatos respectivos para que el personal lleve a cabo las tareas de mantenimiento y las pruebas de campo que deben de hacerle a los aceites del motor, transmisión y circuito hidráulico principal, para monitorear el nivel de viscosidad y degradación del lubricante.

## 7. CONCLUSIONES

- ✓ Dentro de la gestión de activos de una organización, el RCM como mantenimiento nos enfoca hacia la importancia del funcionamiento de la maquinaria dentro de un proceso y como realizar un análisis que genere un plan de mantenimiento de acorde a sus funciones y de manera confiable.
- ✓ En los métodos de análisis que se realizan dentro del desarrollo del RCM, es de importancia contar con una buena base de datos, que nos permita con calidad determinar las tareas tanto preventivas como correctivas que lleguen a dar con un buen plan de mantenimiento.
- ✓ Dentro del desarrollo del plan de mantenimiento, resultado del análisis de RCM, el recurso humano es de vital importancia, ya que con la debida gestión de la formación y la metodología a utilizar, será factor importante de motivación y compromiso como actores en la ejecución de las actividades dentro del plan de manera eficiente.
- ✓ No solo con la ejecución del plan de mantenimiento basado en RCM, es suficiente, hay que contar con herramientas que nos permitan hacer un seguimiento y evaluación de este, haciendo una retroalimentación de las metodologías aplicadas durante el análisis desarrollado.
- ✓ El modelo de plan de mantenimiento propuesto a la alcaldía de La Unión de Sucre, no dará resultados al momento de su realización, sino permitirá que sea el inicio de la gestión del mantenimiento para la maquinaria y la mejora continua en todos los procesos que se estén realizando.
- ✓ Para la alcaldía de La Unión de Sucre, el plan de mantenimiento basado en RCM, permite que la maquinaria sea confiable y que tenga disponibilidad al momento de utilizarla, esto permite la reducción de los costos tanto en alquiler de maquinaria cuando no se cuente con la necesaria, como del mantenimiento.
- ✓ La alcaldía de La Unión de Sucre dentro de las posibilidades y capacidades tanto de recurso humano como económicas, contara con personal capacitado que esté a cargo del mantenimiento de la maquinaria y que estarán al pendiente del desarrollo y monitoreo del plan de mantenimiento.

## BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, Mauricio. Especialización en Gerencia de Mantenimiento - módulo TPM, Bogotá D.C, Enero 25 de 2014, P. 220.

GONZALES RAMÓN, Mantenimiento preventivo: Bucaramanga, Escuela de Ingeniería Mecánica UIS P. 17 - 32.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi [Consultado el 10 de diciembre de 2013]. Disponible en < <http://www.igac.gov.co/>>.

Massey Ferguson. Manual de taller. Argentina. P. 69 - 76, 103 – 107, 139 – 149, 171 -178.

MONTILLA, CARLOS. Caso de aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM, previa existencia de mantenimiento preventivo. Perera: Universidad tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701. P. 273 - 278.

ORTIZ, DANIEL. Mantenimiento centrado en confiabilidad MCC: Ortruz consultores, P. 89.

PLANEACIÓN, SECRETARIA, Especificaciones técnicas. La Unión Sucre. 34P.

POVEDA, ALEJANDRO. Aplicación de la Metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para el Desarrollo de Planes de Mantenimiento [Consultado el 25 de diciembre de 2013]. Disponible en < <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/20586/1/Articulo%20CICYT%20APOVEDA%20RCM.pdf>>.

SILVA, EDUARDO. Diseño de un sistema de mantenimiento para equipos móviles de transporte de carga terrestre. Trabajo de grado. [Consultado el 10 de noviembre de 2013]. Disponible en <<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/819/1/6200046S586ds.pdf>>

VERGEL, JOSÉ. Aplicación de la metodología de análisis de causa raíz (RCA) para la identificación del mal actor de la excavadoras Caterpillar 345C y 334D en la empresa Drummond LTD [Consultado el 28 de enero de 2014]. Disponible en < <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2012/146776.pdf>>.

## ANEXOS

### Anexo A. Formato para registro de equipos

REGISTRO DE MAQUINARIA		
MAQUINA _____	N° _____	PEDIDO _____
MARCA _____	TIPO _____	FECHA _____
MODELO _____	N° SERIE _____	INSTALADA _____
CAPACIDAD DE TRABAJO _____	VALOR _____	OTROS DATOS _____
FABRICANTE _____	_____	_____
DIRECCION _____	_____	_____
CODIGO DPTO COSTOS _____	_____	_____

**Fuente: Especialización en Gerencia de Manteniendo, clase de mantenimiento preventivo, Carlos Ramón Gonzales.**

### Anexo B. Formato para especificaciones de mantenimiento preventivo

DONDE EQUIPO	QUE CONDICIÓN	COMO ACCIÓN	CUANDO FRECUENCIA	CUANTO MEDIDA	QUIEN PERSONAS
SISTEMA HIDRÁULICO	PRESIÓN	INSPECCIÓN AJUSTAR	SEMANAL	2500 PSI ± 50 PSI	MECÁNICO
RODAMIENTOS DEL MOTOR	VIBRACIÓN	TOMAR LECTURA	SEMESTRAL	BANDA OCTAVA CON RESPECTO A LA LÍNEA BÁSICA	TÉCNICO
MOTOR REDUCTOR	NIVEL DE LA VARILLA DE INMERSIÓN	LUBRICAR	MENSUAL	LLENAR HASTA MÁXIMO. CON ACEITE 10W 40	OPERADOR
MOTOR REDUCTOR	PRESIÓN DEL ACEITE	VERIFICAR	DIARIO	REEMPLAZAR EL FILTRO DE ACEITE CON P-OF 4201-86SI DP 10 PSI	OPERADOR

**Fuente: Especialización en Gerencia de Manteniendo, clase de mantenimiento preventivo, Carlos Ramón Gonzales.**

### Anexo C. Formato para cambio de piezas

		<b>MUNICIPIO DE LA UNION DE SUCRE</b>				
		<b>FORMATO ORDEN DE TRABAJO MAQUINARIA VIAL</b>				
N° OT	CLASE	MC	MP	OTROS	EQUIPO	
MARCA		MODELO		SERVICIO		
SOLICITANTE			TECNICO			
FECHA SOLICITUD			ULTIMO SERVICIO - FECHA			
DESCRIPCION TAREA						
	ACTIVIDAD	FALLA		REPUESTO		
1						
2						
3						
4						
5						
FIRMA TECNICO			FIRMA APROVACION			

Fuente: Autores.

### Anexo D. Formato de seguimiento

		<b>MUNICIPIO DE LA UNION DE SUCRE</b>	
		<b>FORMATO DE SEGUIMIENTO MAQUINARIA VIAL</b>	
<b>DESCRIPCION</b>			
Clave de posición.			
Clave de objeto de mantenimiento.			
Responsable.			
Trabajo realizado.			
Tiempo empleado en mantenimiento.			
		<b>Km. Recorridos</b>	<b>Horas de servicio</b>
Uso del vehículo.			
Imprevistos suscitados.			

Fuente: Autores.

### Anexo E. Formato de lubricación

PLANTA: EQUIPO(CODIGO)					
PARTES A LUBRICAR	METODO RESPONSABLE	LUBRICANTE	TIEMPO	FRECUENCIA	NOTA

**Fuente: Especialización en Gerencia de Manteniendo, clase de mantenimiento preventivo, Carlos Ramón Gonzales.**

*Nota 1.* La columna NOTA lleva el código del manual, instructivo y/o protocolo del procedimiento correspondiente, con el cual debe ser instruido el personal para evitar, cometer errores humanos a la hora de realizar la actividad. Esto se repite para cada una de las actividades de todos y cada uno de los mantenimientos.

*Nota 2.* En la columna tiempo se coloca el tiempo estimado o presupuestado. Servirá de base para calcular la carga de total de Mano de obra. Coloque siempre el valor más pesimista, para que no tenga afanes ni carreras a la hora de realizar la actividad.

*Nota 3.* En la columna método, se coloca por goteo, presión, brocha, graseras, verificar nivel, tomar muestra, cambiar aceite, etc. Se pueden colocar dos al tiempo, por ejemplo: a presión, cambiar aceite; a tomar muestra. Responsable, en el grado técnico, u operador en caso de grado técnico en caso de mantenimiento autónomo.

*Nota 4.* Se deben elaborar las cartas de lubricación, indicando cada uno de los puntos a lubricar. Para equipos nuevos, se deben adquirir directamente del fabricante.

*Nota 5.* Establecer como proyecto de mantenimiento, planes para automatizar o centralizar la lubricación como única forma realmente factible de disminuir costos de lubricación.

### Anexo F. Formato análisis de repuestos reparables

EMPRESA:		ANALISIS DE PRESUPUESTOS REPARABLES		FECHA: _____	
				ORDEN N°	
				Reparación N°:	Baja N°:
DESCRIPCION DEL REPUESTO:				Plano N°:	Código del equipo:
NOMBRE DEL EQUIPO AL CUAL PERTENECE:					
EQUIPO		EXISTENCIA DEL REPUESTO		REPUESTO NUEVO	
Prioridad o factor de importancia:	Unidades en servicio:	Instalados:	En servicio:	Duración hasta la primera reparación:	COSTO ACTUA:
REPUESTO ANALIZADO			REPARACIONES		
Prioridad o factor de importancia:	Fecha de adquisición:	Tiempo de servicio:	N° De reparaciones	Frecuencia	Costo de la última reparación
Condiciones especiales de servicio.					
Características del deterioro:					
Se puede disminuir el deterioro:					
Se puede mejorar diseño económicamente:					
Las características del material se pueden mejorar en base a cambios de calidad o tratamientos:					
Se puede mejorar diseño para hacer más económica su fabricación:					
RECOMENDACIONES					
Mantenimiento Asignado		Enviar al Taller de:		Estudios:	Coordinador


**Fuente: Especialización en Gerencia de Manteniendo, clase de mantenimiento preventivo, Carlos Ramón Gonzales.**

### Anexo G. Formato para análisis de daño accidente en máquinas

ANALISIS DE DAÑO O ACCIDENTE DE MAQUINARIA		N°
DEPENDENCIA:		FECHA
		HORA
TESTIGOS	IDENTIFICACION	CARGO
1.		
2.		
MAQUINA:		CODIGO
Descripción del daño o accidente:		
DAÑOS A REPARAR		COSTO ESTIMADO
		Mano de obra
		Rep. y mat.
		Servicios
		Lucro cesante
		otros
		TOTAL
OTRAS SECUENCIAS:		
ANALISIS DEL DAÑO O ACCIDENTE		
MEDIDAS A TOMAR PARA PREVENIR EL MISMO TIPO DE DAÑO O ACCIDENTE:		
ELABORADO POR:	TESTIGO	JEFE DE MANTENIMIENTO


**Fuente: Especialización en Gerencia de Manteniendo, clase de principios del mantenimiento, Carlos Borrás Pinilla.**

### Anexo H. Actitudes y destrezas del técnico

	<b>MUNICIPIO DE LA UNION DE SUCRE</b> <b>SISTEMA DE EVALUACION DE CONOCIMIENTOS</b> <b>APTITUDES Y DESTREZAS</b>				
	ACTIVIDADES	MARGEN DE ERROR	DIFICULTAD	FRECUENCIA	TOTAL
Reparación de las maquinas					SI
Colaboración en el mantenimiento preventivo					SI
Atender las necesidades de la maquinaria.					SI
Realizar informes de las reparaciones, daños y mantenimiento preventivo.					SI
Colaborar en las reparaciones hidráulicas					NO

Fuente: Autores.

### ANEXO I. Conocimiento del mecánico en reparón de maquinaria.

	<b>MUNICIPIO DE LA UNION DE SUCRE</b> <b>SISTEMA DE EVALUACION DE CONOCIMIENTOS</b> <b>COMPETITIVIDAD</b>		
	ELEMENTOS	CATEGORIA	PUNTAJE
Electricidad			
Hidráulica			
Seguridad industrial			
Mecánica			
Motores diésel			
Identificación de problemas			
Trabajo en equipo			
Manejo de recursos materiales			
Habilidad manual			

Fuente: Autores.

**Anexo J. Maquinaria perteneciente a la alcaldía de la Unión de Sucre  
(Volqueta Dodge 68)**



**Fuente: Secretaria de Planeación - Alcaldía de La Unión De Sucre.**

**Anexo K. Maquinaria perteneciente a la alcaldía de la Unión de Sucre  
(Volqueta Dodge 70)**



**Fuente: Secretaria de Planeación - Alcaldía de La Unión De Sucre.**

**Anexo L. Maquinaria perteneciente a la alcaldía de la Unión de Sucre  
(Góndola de almacenaje Stara)**



**Fuente: Secretaria de Planeación - Alcaldía de La Unión De Sucre.**

**Anexo M. Maquinaria perteneciente a la alcaldía de la Unión de Sucre  
(Tractor Massey Ferguson)**



**Fuente: Secretaria de Planeación - Alcaldía de La Unión De Sucre.**

**Anexo N. Maquinaria perteneciente a la alcaldía de la Unión de Sucre  
(Tractor Ursus)**



**Fuente: Secretaria de Planeación - Alcaldía de La Unión de Sucre.**