

PROPUESTA DE UN MODELO GERENCIAL DE MANTENIMIENTO
ELECTROMECAÁNICO, BASADO EN LA METODOLOGÍA RCM, PARA PLANTAS
DEL SECTOR DE RECICLAJE Y TRATAMIENTO DE LLANTAS

CÉSAR AUGUSTO HERNÁNDEZ PORRAS
ANDRÉS FELIPE OCHOA RINCÓN

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2017

PROPUESTA DE UN MODELO GERENCIAL DE MANTENIMIENTO
ELECTROMECAÁNICO, BASADO EN LA METODOLOGÍA RCM, PARA PLANTAS
DEL SECTOR DE RECICLAJE Y TRATAMIENTO DE LLANTAS

CÉSAR AUGUSTO HERNÁNDEZ PORRAS
ANDRÉS FELIPE OCHOA RINCÓN

Monografía de grado presentado como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director

JORGE ARMANDO OCHOA RINCÓN
Especialista en Automatización Industrial

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2017

DEDICATORIA

*A Dios sobre todas las cosas,
por sus bendiciones en el transcurso de mi Especialización.*

*A mis padres Gloria Rincón y Humberto Ochoa
por ser mis pilares fundamentales en la obtención de este logro.*

*A mi hermano Jorge Ochoa Rincón por ser un apoyo más en mi vida estudiantil y
por sus ayudas que fueron de gran ayuda en el desarrollo del proyecto.*

A mi novia María Ayala por su apoyo en este gran proyecto de mi vida.

Andrés Felipe Rincón Ochoa

*A Dios por ser el guía en este logro,
por las bendiciones que recibí durante el desarrollo académico de la carrera.*

*A mis padres María Del Carmen Porras y Luís Emilio Hernández Castellanos,
que me apoyaron en cada momento.*

*A mi compañera de la vida Zulay Fernanda Ramírez,
quien apoyó cada una de mis decisiones y con criterio formó parte de ellas.*

César Augusto Hernández Porras

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. SITUACIÓN ACTUAL DEL TRATAMIENTO DE LAS LLANTAS	18
1.1 HISTORIA DE LAS LLANTAS (RECICLAJE DE NEUMÁTICOS).....	18
1.2 MAPA DE PROCESO.....	20
1.2.1 Tratamiento de Llantas	20
1.3 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA DEL MANTENIMIENTO	27
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA OPORTUNIDAD	27
1.5 OBJETIVOS.....	29
1.5.1 Objetivo General	29
1.5.2 Objetivos Específicos.....	29
2. MARCO TEÓRICO	30
2.1 GRANULOS DE CAUCHO RECICLADO (GCR)	33
2.2 USOS Y APLICACIONES	33
2.3 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO.....	35
2.4 CONFIABILIDAD	38
2.4.1 Indicadores	39
2.4.2 Disponibilidad.....	40
2.4.3 Mantenibilidad.....	41
2.5 MANTENIMIENTO EN PLANTAS INDUSTRIALES.....	41
2.5.1 Tareas correctivas	42
2.5.2 Tareas preventivas	42
2.5.3 Tareas predictivas.....	43
2.6 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD	44

2.6.1 Las siete preguntas básicas.....	45
2.6.2 Análisis de fallas	48
2.6.3 Modos de falla y sus efectos.....	49
2.6.4 Búsqueda de fallos	49
2.7 MODELO GERENCIAL DE MANTENIMIENTO.....	50
2.8 DISEÑO DE MODELO GERENCIAL DE MANTENIMIENTO	51
2.9 DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS DEL MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO	52
2.9.1 Diagrama de decisión	54
3. MARCO LEGAL	56
4. RECOPIACIÓN Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN PARA DESARROLLAR UN MODELO GERENCIAL RCM EN MANTENIMIENTO ELECTROMECAÁNICO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE LLANTAS	59
4.1 PENSAMIENTO DEL MANTENIMIENTO EN LA ACTUALIDAD	60
4.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS	61
4.2.1 Desgarradora 72-72.....	61
4.2.1.1 Motor 1 y 2.	61
4.2.1.2 Reductor 1 y 2.....	61
4.2.1.3 Sistema de transmisión y cuchillas	62
4.2.2 Satrind 1 y 2.....	62
4.2.2.1 Unidad hidráulica.	62
4.2.2.2 Motor unidad hidráulica.....	63
4.2.2.3 Bomba unidad hidráulica.....	63
4.2.2.4 Motor Cooler unidad hidráulica.	63
4.2.2.5 Indicador presión.	63
4.2.2.6 Indicador temperatura.	64
4.2.2.7 Estructura y equipo en general.	64
4.2.3 Rasper	64

4.2.3.1 Motor.....	65
4.2.3.2 Reductor.	65
4.2.3.3 Motor secundario.	65
4.2.3.4 Reductor motor secundario.....	65
4.2.3.5 Unidad hidráulica.	66
4.2.3.6 Motor unidad hidráulica.....	66
4.2.3.7 Bomba unidad hidráulica.....	66
4.2.3.8 Válvula temporizada sistema riego.	66
4.2.3.9 Sistema de transmisión y cuchillas.	67
4.3 ANÁLISIS FUNCIONAL, DETERMINACIÓN DE MODOS DE FALLA, EFECTOS DE FALLA Y CONSECUENCIA DE FALLA.....	67
4.4 APLICACIÓN DEL DIAGRAMA DE DECISIÓN RCM PARA LA DETERMINACIÓN E TAREAS, FRECUENCIAS Y RECURSOS A APLICAR A CADA MODO DE FALLA.....	70
4.5 ANÁLISIS DE CRITICIDAD	72
4.5.1 Análisis de criticidad de la unidad desgarradora 72-72.....	73
4.5.2 Análisis de criticidad de las unidades trituradoras Satrind K15/100 y K10/50	76
4.5.3 Análisis de criticidad de la unidad granuladora RASPER MPR200T	80
5. ESTANDARIZACIÓN METODOLÓGICA DE PLANTAS DE TRATAMIENTO Y RECICLAJE DE LLANTAS BASADO EN RCM	83
6. CONCLUSIONES	86
BIBLIOGRAFÍA	88
ANEXOS.....	CONSULTAR CD

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Diagrama proceso de trituración de la llanta.....	23
Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de fabricación de la llanta.....	32
Figura 3. Cambios en los puntos de vista sobre la falla de equipos.	37
Figura 4. Cambios en las técnicas de mantenimiento.....	38
Figura 5. Visión general de modelos de mantenimiento.	51
Figura 6. Modelo de Gestión de Mantenimiento.	53
Figura 7. Matriz Genérica de Criticidad.....	53
Figura 8. Diagrama de decisión RCM.	55
Figura 9. Resultado del análisis de criticidad de la unidad desgarradora 72-72. ...	74
Figura 10. Resultados del análisis de criticidad de las unidades trituradoras Satrind K15/100 y K10/50.	77
Figura 11. Resultado del análisis de criticidad de la unidad granuladora RASPER MPR200T.....	81
Figura 12. Análisis RCM Equipos de Trituración Plantas Reciclaje de Llantas.....	84

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Usos y aplicaciones del CGR.....	34
Tabla 2. Análisis funcional y definición de fronteras – Unidad desgarradora 72-72	68
Tabla 3. Análisis RCM de la unidad desgarradora 72-72.....	69
Tabla 4. Diagrama de decisión RCM de la desgarradora 72-72	71
Tabla 5. Matriz de riesgo.	72
Tabla 6. Valoración de la criticidad.	72
Tabla 7. Análisis de criticidad de la unidad desgarradora 72-72.....	73
Tabla 8. Diagrama de decisión RCM de los componentes críticos de la unidad desgarradora 72-72.	75
Tabla 9. Análisis de criticidad de las unidades trituradoras Satrind K15/100 y K10/50.	76
Tabla 10. Diagrama de decisión RCM de los componentes críticos de las unidades trituradoras Satrind K15/100 y K10/50.	79
Tabla 11. Análisis de criticidad de la unidad granuladora RASPER MPR200T.	80
Tabla 12. Diagrama de decisión RCM de los componentes críticos de la unidad granuladora RASPER MPR200T.	82

LISTA DE ANEXOS

(Ver anexos adjuntos en el CD, el cual puede consultar en la Base de Datos de la Biblioteca de la Universidad Industrial de Santander)

Anexo A. Análisis funcional y definición de fronteras de la unidad desgarradora 72-72.

Anexo B. Análisis funcional y definición de fronteras de la unidad trituradora Satrind K15-100.

Anexo C. Análisis funcional y definición de fronteras de la unidad trituradora Satrind K10-50.

Anexo D. Análisis funcional y definición de fronteras de la unidad granuladora RASPER MPR200T.

Anexo E. Análisis RCM de la unidad desgarradora 72-72.

Anexo F. Análisis RCM de las unidades trituradoras Satrind K15-100 y K10-50.

Anexo G. Análisis RCM de la unidad granuladora RASPER MPR200T.

Anexo H. Diagrama de decisión RCM de la unidad desgarradora 72-72.

Anexo I. Diagrama de decisión RCM de las unidades Satrind K15-100 y K10-50.

Anexo J. Diagrama de decisión RCM de la unidad granuladora RASPER MPR200T.

Anexo K. Análisis de criticidad de la unidad desgarradora 72-72.

Anexo L. Diagrama de decisión RCM de los componentes críticos de la unidad desgarradora 72-72.

Anexo M. Análisis de criticidad de las unidades trituradoras Satrind K15-100 y K10-50.

Anexo N. Diagrama de decisión RCM de los componentes críticos de las unidades trituradoras Satrind K15-100 y K10-50.

Anexo O. Análisis de criticidad de la unidad granuladora RASPER MPR200T.

Anexo P. Diagrama de decisión RCM de los componentes críticos de la unidad granuladora RASPER MPR200T.

RESUMEN

TÍTULO: PROPUESTA DE UN MODELO GERENCIAL DE MANTENIMIENTO ELECTROMECAÁNICO, BASADO EN LA METODOLOGÍA RCM, PARA PLANTAS DEL SECTOR DE RECICLAJE Y TRATAMIENTO DE LLANTAS.¹

AUTORES: CÉSAR AUGUSTO HERNÁNDEZ PORRAS y ANDRÉS FELIPE OCHOA RINCÓN.²

PALABRAS CLAVES: DESGARRADORA 72 72, SATRID, RASPER, RECICLAJE, RCM.

DESCRIPCIÓN O CONTENIDO:

El contenido del libro tiene como finalidad la contextualización del desarrollo de un modelo gerencial de mantenimiento electromecánico, basado en la metodología RCM, identificando de esta manera los tres equipos más críticos en plantas del sector del reciclaje y tratamiento de llantas; tales como la desgarradora 72 72, Satrind y la Rasper, siendo estos de gran importancia en la cadena de procesos. A partir del análisis propuesto por RCM se generaron las pautas generales de intervenciones óptimas de mantenimiento, permitiendo así que los indicadores como disponibilidad y confiabilidad contribuyan a una competitividad nacional como internacional.

Con los equipos mencionados anteriormente, se obtuvieron datos técnicos y funcionales. Los historiales de fallas más relevantes en la elaboración de pautas de RCM, es la identificación de los modos de falla, el direccionamiento bajo el diagrama de decisión y su posterior estructuración en la tabla de AMFE, poniendo en manifiesto las mejores posibilidades en la solución de un mantenimiento efectivo y eficiente.

Concluyendo con lo anterior, se debe tener en cuenta que una herramienta tan robusta como un RCM, se deberá establecer rápidamente como un objetivo estratégico para la organización, en el cual las diferentes etapas del proceso y líneas de mando en esta, se conjuguen en una sola visión apoyando así su aplicación y puesta en marcha, al igual que la contribución en su seguimiento garantizando su efectividad.

¹ Monografía.

² Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Jorge Armando Ochoa Rincón, Especialista en Automatización Industrial.

SUMMARY

TITLE: PROPOSAL OF A MANAGEMENT MODEL OF ELECTROMECHANICAL MAINTENANCE, BASED ON THE METHODOLOGY RCM, FOR PLANTS OF THE RECYCLING AND TREATMENT SECTOR OF TIRES.³

AUTHOR: CÉSAR AUGUSTO HERNÁNDEZ PORRAS and ANDRÉS FELIPE OCHOA RINCÓN.⁴

KEYWORDS: HEARTBREAKING 72 72, SATRID, RASPER, RECYCLING, RCM.

DESCRIPTION OR CONTENTS:

The Purpose of the book is to contextualize the development of an Electromechanical Maintenance Management model based on the methodology of this way the three most critical equipment in the tire recycling and treatment sector; such as the Shedder 72 72, Satrind and the Rasper, these being of great importance in the chain of processes. From the analysis proposed by RCM the general guidelines of optimal maintenance interventions were generated, thus allowing indicators such as availability and reliability to contribute to national competitiveness.

With the equipment mentioned above, technical and functional data were obtained. The most important failure histories in the development of RCM guidelines are the identification of failure modes, the addressing under the decision line and its subsequent structure in the AMFE table, showing the best possibilities in the solution of effective and efficient maintenance.

Concluding with the above, it should be taken into account that a tool as robust as a RCM, should be quickly established as a strategic objective for the organization, in which the different stages of the process and line of command in this, are conjugated in a alone supporting its implementation and start-up, as well as the contribution in its monitoring guaranteeing its effectiveness.

³ Monograph.

⁴ Faculty of Engineering Physics and Mechanics. Mechanical Engineering School. Specialization in Maintenance Management. Director: Jorge Armando Ochoa Rincón, Industrial Automation Specialist.

INTRODUCCIÓN

En Colombia, uno de los más grandes problemas medioambientales en los últimos años a nivel mundial son los neumáticos ya que una vez cumplido su ciclo de vida es difícil desaparecerlo y por lo general las llantas resultan en las calles, avenidas y parques. En la industria del reciclaje y tratamiento de llantas ejecutan métodos para lograr un reciclado coherente de estos productos donde se dedican a recuperar o eliminar los componentes peligrosos y altamente tóxicos en la goma de los vehículos y maquinarias de forma limpia.

De esta manera se hace imprescindible poder analizar las tres máquinas más importantes para el tratamiento de las llantas como lo son: desgarradora 72-72, *satrind* y *rasper*, ya que, si estos equipos no realizan su respectiva función dicha producción se verá afectada. por esta razón, se desarrolló un modelo gerencial de mantenimiento electromecánico basado en la metodología RCM, identificando los procesos del tratamiento y reciclaje de llantas en la cadena productiva, específicamente en los equipos de trituración primaria y secundaria anteriormente citados, definiendo las funciones principales y secundarias de cada uno de los procesos.

Posteriormente a esto, durante el desarrollo de la primera etapa del modelo gerencial del mantenimiento, se realizó el respectivo análisis de modo de falla y sus efectos de falla según los procesos a aplicar la metodología en los equipos de trituración primaria y secundaria basado en la eficiencia y la adecuada selección del material.

Seguidamente, se realizó un análisis de criticidad a los equipos, para así poder identificar los componentes más críticos de cada proceso y aplicarla en la hoja de decisión de la metodología RCM asignando las tareas manteniendo las funciones.

Por último, se estandarizo la metodología de RCM a las plantas de tratamiento y reciclaje de llantas implementando la documentación asociada al Sistema Integrado de Gestión de la Calidad permitiendo establecer pautas en la incorporación de herramientas de gestión de la información como SAP sobre estos equipos anteriormente mencionados y en base a este modelo gerencial de mantenimiento electromecánico se puede implementar a cada uno de los equipos de la planta.

Al final de este documento se encuentra las conclusiones de la presente monografía.

1. SITUACIÓN ACTUAL DEL TRATAMIENTO DE LAS LLANTAS

1.1 HISTORIA DE LAS LLANTAS (RECICLAJE DE NEUMÁTICOS)

Los neumáticos se consideran uno de los más grandes problemas medioambiental en los últimos años a nivel mundial, después de usarlos resultaría muy difícil desaparecerlos, ya que, un neumático necesita grandes cantidades de energía para ser fabricado, por ejemplo, para fabricar un neumático de camión se necesita medio barril de petróleo crudo. Existen métodos para lograr un reciclado coherente de estos productos donde las industrias se dedican a recuperar o eliminar los componentes peligrosos y altamente tóxicos en la goma de los vehículos y maquinarias de forma limpia.

En el mundo existen dos tipos de llantas:

- a) Llanta convencional
- b) Llanta radial

El tipo de llanta más adecuada para el proceso de trituración mecánica son las llantas radiales, ya que en la estructura de fibra de la primera capa se dirige hacia el centro formando una especie de óvalos, luego sobre estas, se ensamblan las fibras de la capa estabilizadora que se dirigen en forma diagonal, en la cual, se encargan de proporcionar la estabilidad requerida en la llanta. En cambio, las llantas convencionales no son las apropiadas para el proceso, porque tienen una carcasa compuesta por lonas de fibras textiles superpuestas, que se encuentran cruzadas unas en relación a las otras y los costados son solidarios a la banda de rodamiento. En el capítulo 2, se analizará la composición de las llantas, fichas técnicas, uso y aplicación del granulo del caucho reciclado (GCR).

De acuerdo con los tipos de llantas mencionados anteriormente, se debe tener presente que una llanta puede tardar en degradarse hasta 100 años y desaparecer de la naturaleza hasta 1.000 años, por esta razón, El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible estima para el año 2008 un consumo de 4.493.092 llantas discriminadas así:

- 1.067.072 llantas de camiones y busetas.
- 3.426.020 llantas de automóviles y camionetas.⁵

Considerando un promedio de recambio de 18 meses y unos pesos promedio para carcasas usadas de 7 Kg por llanta de auto; de 15 Kg para camioneta y de 50 Kg para camión, la generación de residuos de llantas de automóvil, camioneta, camión y buseta se estima en 61.000 toneladas al año.⁶

En el año 2015 salieron a la venta más de 5,3 millones de llantas en Colombia, lo que equivale a unas 100.000 toneladas, entre camiones, busetas, automóviles, motocicletas, camionetas y otros⁷, en la cual, una vez cumplido su ciclo de vida, por lo general las llantas resultan en las calles, avenidas y parques, generando así un problema ambiental y de salud pública para los ciudadanos. Por este motivo,

⁵ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 1457 de 2010, por la cual se establecen los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas y se adoptan otras disposiciones. [En línea]. Bogotá: El Ministerio, 2010. 9 p. [Consultado el: 20 de mayo de 2017]. Disponible en: <http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/files/RESOLUCI%C3%93N%201457%20DE%202010.pdf>

⁶ CARDONA GÓMEZ, Laura y SÁNCHEZ MONTOYA, Luz. Aprovechamiento de llantas usadas para la fabricación de pisos decorativos. [En línea]. Monografía de Especialización en PML. Medellín: Universidad de Medellín, 2011. 79 p. [Consultado el: 23 de mayo de 2017]: Disponible en: <http://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/375>

⁷ GUEVARA, Carlos. Cada día más de 2.050 llantas terminan invadiendo el espacio público. [En línea]. Bogotá: EL TIEMPO, 2015. [Consultado el: 23 de mayo de 2017]. Disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15317455>.

Cardozo afirma que apenas se están comenzando las campañas de concientización a los usuarios, ya que dicha cifra de recuperación es esperanzadora.

Para el año 2016 la rueda verte tiene una meta de recoger dos millones de llantas en el país; medio millón menos de las desechadas por Bogotá cada año. Para cumplir con esa labor, la fundación dispone de 20 puntos en varios departamentos.⁸

Gracias a las campañas de concientización del reciclaje de llantas, en los próximos años, se seguirá trabajando para obtener la mayor cantidad de llantas recicladas tratadas y así prevenir un mayor impacto ambiental.

1.2 MAPA DE PROCESO

1.2.1 Tratamiento de Llantas. El tratamiento, reutilización y reciclaje de residuos sólidos se ha convertido en una oportunidad para lograr que diferentes materiales sean reincorporados a procesos productivos, alargando de esta manera la vida útil y disminuyendo los impactos ambientales negativos generados por los diferentes productos y materiales del sector principalmente automotriz.⁹

Las plantas de tratamiento y reciclaje de llantas, tienen como finalidad el aprovechamiento de la materia prima de alta disponibilidad en el mercado actual. A base de procesos de molido, se consigue fraccionar en fragmentos de menor

⁸ SUÁREZ, Ronny. El reciclaje de llantas, un mercado que todavía falta por explorar. [En línea]. Bogotá: EL TIEMPO, 2016. [Consultado el: 23 de mayo de 2017]. Disponible en: <http://www.eltiempo.com/vida/ciencia/reciclaje-de-llantas-en-colombia-52722>.

⁹ CARDONA GÓMEZ, Laura y SÁNCHEZ MONTOYA, Luz. Aprovechamiento de llantas usadas para la fabricación de pisos decorativos. [En línea]. Monografía de Especialización en PML. Medellín: Universidad de Medellín, 2011. 79 p. [Consultado el: 23 de mayo de 2017]: Disponible en: <http://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/375>

tamaño para su posterior utilización en la producción de asfaltos, áreas antideslizantes, canchas sintéticas, etc. contribuyendo en gran manera con el medio ambiente circúndate; es así que se pretende diseñar un modelo estándar RCM, que pueda ser fácilmente aplicado en plantas de producción de este tipo, aportando a su competitividad con índices de disponibilidad en sus equipos.

Una planta de tratamiento y reciclaje de llantas, comúnmente se compone por un proceso de devanado, trituración o clasificación, molino, granulación, separación de tamizaje por vibración, pulverización y embalaje; en donde se clasifican según su tamaño del rin en categorías estándar (automóvil entre 12" y 17,5", camiones entre 17,5" y 22,5"), comúnmente usados en el proceso.

El proceso inicia con el devanado, en el cual se retira el alma de acero de la llanta y es llevado a una banda transportadora del equipo de trituración, resultando un producto de menor tamaño, transportándolo por medio de bandas transportadoras al molino, en donde un tambor con cuchillar fijas y móviles trituran el producto contra una malla metálica perforada a un diámetro de 16-44 mm; seguidamente es llevado por una banda transportadora a la primera mesa de clasificación por vibración, donde el producto con las características deseadas es separado a una tolva para su posterior transporte por medio de tornillos sin fin vertical y horizontal, se traslada a las granuladoras en donde se tritura contra una malla metálica perforada a un diámetro de 0,86-4,75 mm; el granulo resultante cae a una segunda mesa de clasificación por vibración, el producto es atraído a un tambor imantado (separación del acero con el material), por medio de un segundo blower el material es arrastrado a una tercera mesa de vibración, en la cual se realiza la separación de lana; finalmente el producto movido a un tambor clasificador para su posterior empaque.

El material de tipo tamizado 0,5-2,5 mm, se distribuye el granulo de mayor tamaño para su aprovechamiento en canchas sintéticas, pisos antideslizantes, etc. El granulo inferior de 0,8 mm continua el proceso a una etapa de pulverizado, teniendo

por resultado la disminución del granulo necesario en las empresas de asfalto (ver figura 1).

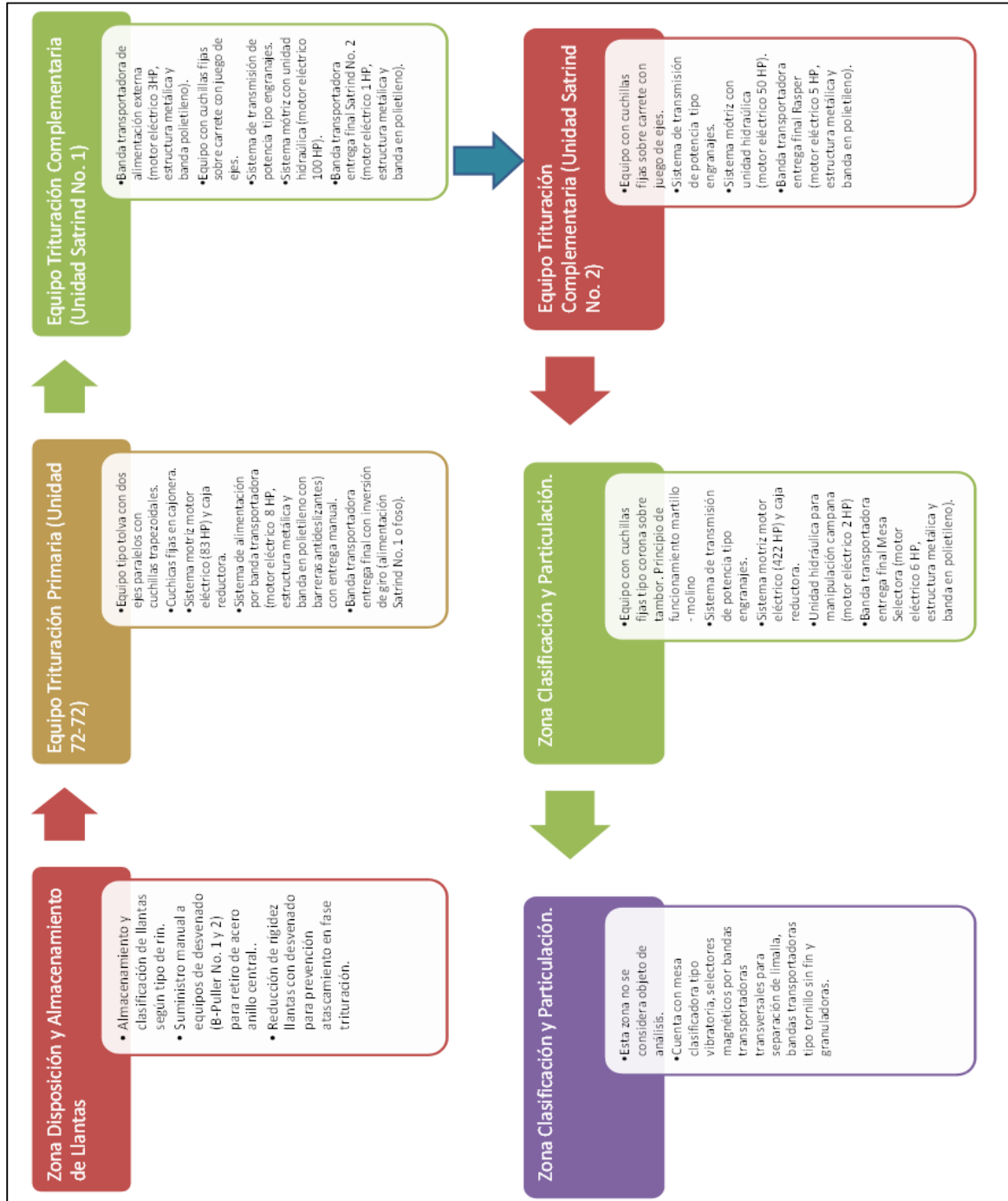
De acuerdo con lo mencionado anteriormente y teniendo en cuenta que el proceso de reciclaje de llantas se divide en diferentes fases (consecución y almacenaje de llantas, extracción de los aros centrales de acero, trituración primaria y secundaria, trituración y molienda, separación de acero y tamizado, granuladoras, tamizado secundario y separación de acero residual, decantación y separación de producto terminado) es necesario conceptualizar las falencias que surgen por la naturaleza misma de la inclusión de esfuerzos mecánicos para la reducción de tamaño del caucho.

El proceso de transformación física, química o biológica de las llantas de desecho para modificar sus características o aprovechar su potencial energético, dicho aprovechamiento, se puede obtener realizando un tratamiento de las llantas de desecho que deberá efectuarse por alguna empresa o industria que cuente con la autorización específica para esa actividad otorgada por el Ministerio de Salud.

Algunos de los siguientes procesos son:

- a) Generación de energía calórica en hornos de la industria cementera.
- b) Producción de pacas de llantas utilizadas en proyectos de obras civiles.
- c) Agregados para el pavimento asfáltico.
- d) Producción de polvo de hule.
- e) Generación de energía eléctrica.
- f) Cualquier otro proceso específico debidamente aprobado por el Ministerio de Salud.

Figura 1. Diagrama proceso de trituración de la llanta.



De esta manera, también se permitirá el empleo de llantas de desecho en proyectos de rellenos sanitarios con el fin de proteger las geo-membranas impermeabilizantes tal y como lo dispone el Reglamento sobre Rellenos Sanitarios, Decreto Ejecutivo 27378-S. Así mismo, en proyectos de construcción de arrecifes artificiales en los mares patrimoniales del país.

Para el reciclaje de llantas usadas existen gran diversidad de métodos y tecnologías de transformación como:

1. Termólisis.
2. Pirolisis.
3. Incineración.
4. Trituración.
 - a. Trituración mecánica.
 - b. Trituración criogénica.

El método más utilizado en las mayorías de las empresas de tratamiento de llantas es la trituración mecánica, porque los productos resultantes son de alta calidad y limpios de todo tipo de impurezas, facilitando así la utilización de estos materiales en nuevos procesos y aplicaciones, ya que, contiene un alto desempeño del sistema amigable con el medio ambiente (no genera compuestos contaminantes) y exige poca mano de obra para operar y reparar el sistema.

Las maquinas o tecnología más adecuada para el método de triturado son las siguientes:

- a) Destalonadora o Devanadora: Esta máquina se utiliza para extraer el anillo de alambres de acero que se encuentra en el interior (en el talón) de la llanta de camión. Cada llanta cuenta con dos anillos, los cuales, si no son extraídos,

pueden comprometer seriamente la eficiencia de las fases sucesivas de la línea, debido a la dureza de los alambres de acero.

- b) Cortadora o Desgarradora: Esta máquina se encarga de la primera trituración de la llanta, Por lo general este tipo de máquinas cuentan con transmisión hidráulica y con mínimo dos ejes (rotores) en los cuales se encuentran las cuchillas de corte. El resultado dicha operación son grandes trozos de llantas de tamaño no uniforme. El objetivo de este proceso es simplemente el de trocear el neumático entero y así prepararlo para la fase sucesiva.
- c) Satrind: Esta máquina se encarga de la segunda trituración de la llanta, este tipo de máquinas cuentan con transmisión hidráulica y con mínimo dos ejes (rotores) en los cuales se encuentran las cuchillas de corte. El resultado dicha operación son pequeños trozos de llantas de tamaño no uniforme. El objetivo de este proceso es simplemente el de fraccionar el neumático de la primera trituración y así prepararlo para la fase a continua.
- d) Trituradora: El tercer proceso de trituración la realiza otra máquina trituradora, la cual, reduce los trozos de llantas provenientes de la segunda fase, en pedazos aún más pequeños, motivo por el cual este tipo de máquina debe contar con una parrilla o red metálica para la calibración del tamaño del material en la salida.
- e) Granulador: El granulador o molino granulador es la máquina que se encarga de “granular” los pedazos de llantas provenientes del tercer proceso de triturado, la dimensión de los granos que se logra obtener con el granulador es de 16mm.
- f) Separación del acero (desmetalizado): Separador magnético para remover las partículas ferromagnéticas. Esta operación separa el 99% del acero

“armónico” presente en las llantas, el acero es removido por medio de un separador magnético el cual cuenta con una banda transportadora que se ocupa de conducir el metal hacia un punto de recolección (cajón/contenedor).

- g) Pulverizadora: Es el último proceso de trituración alternativo requeridos en el mercado de asfalto con gran valor, La máquina reduce a un tamaño más pequeño y puro del grano.¹⁰

Otro aspecto relevante y de especial atención, son los conceptos estructurales que permiten mantener completa armonía de los subsistemas mitigando la transmisión de vibraciones desde y hacia los diferentes equipos dispuestos en el proceso.

El producto final cumple diferentes granulometrías que pueden variar de 0,5 a 3mm, donde tiene diferentes aplicaciones:

- Materia prima (cumpliendo el proceso de pulverización) para la producción de pavimento asfáltico.
- Suministro de materia prima para usuarios del caucho.
- Pisos deportivos para canchas de futbol, gimnasios, piscinas, pistas de atletismo.
- Parques, juegos infantiles, senderos ecológicos y jardines.
- Viviendas, instalaciones para eventos, establos y caballerizas.¹¹

¹⁰ RECICLAJE DE llantas usadas: la nueva economía ecológica. [En línea]. 15 p. [Consultado el: 24 de mayo de 2017]: Disponible en: http://www.vivoenitalia.com/wp-content/uploads/2009/05/reciclaje-de-llantas-usadas_la-nueva-economia-ecologica.pdf.

¹¹ CARDONA GÓMEZ, Laura y SÁNCHEZ MONTOYA, Luz. Aprovechamiento de llantas usadas para la fabricación de pisos decorativos. [En línea]. Monografía de Especialización en PML. Medellín: Universidad de Medellín, 2011. 79 p. [Consultado el: 23 de mayo de 2017]: Disponible en: <http://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/375>

1.3 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA DEL MANTENIMIENTO

Teniendo en cuenta que el proceso del tratamiento y reciclaje de llantas, para la cadena productiva específicamente en los equipos de trituración primaria y secundaria (Desgarradora 72-72, Satrind y Rasper) es necesario dar a conocer las falencias que surgen por la naturaleza misma de la inclusión de esfuerzos mecánicos para la reducción de tamaño del caucho.

Referente a esto, se presenta frecuentemente deterioros prematuros de las cuchillas de arrastre y corte al igual que los sistemas de transmisión de los motores eléctricos y tambor de trituración como acoples, chumaceras, ejes, entre otros. Estas partes móviles más críticas en los equipos sufren de recalentamiento, pérdida de lubricación, desgaste por el tiempo de uso y atascamiento por la diversidad de compuestos que presentan los tipos de llantas. Con esto se analiza como falla adyacente los impactos directos que se tiene en los sistemas de protección eléctricos y electrónicos de los dispositivos que intervienen en el proceso.

La producción se puede ver afectada tanto física como económicamente por los tiempos muertos que se presentan al momento de una mala manipulación del personal (operario de planta) y fallas en los equipos.

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA OPORTUNIDAD

El problema de la generación de residuos de llantas en diferentes empresas del sector automotriz y vertederos de residuos según lo indica el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, si aprovechamos este gran potencial de materia prima sería útil tanto en el presente como a futuro, ya que, está compuesta principalmente por caucho, hierro, y fibra textil; en el cual, es oportuno para el mercado del reciclaje y de gran oportunidad para empresas de tratamiento de llantas

tanto económicos como de contribución en la protección y conservación del medio ambiente.

En el tratamiento o reciclaje de llantas, su tecnología ha cambiado a través del tiempo en donde la confiabilidad de los productos finales aumenta dependiendo de su vida útil, manteniendo así su maquinaria adecuada para cada proceso involucrado.

La presente monografía lo que pretende establecer es un modelo de mantenimiento que apunte a reducir los tiempos de no disponibilidad en el proceso de trituración en llantas y de esta manera establecer métodos que permitan actuar preventivamente ante las potenciales fallas que puedan presentarse en estos equipos, a su vez de satisfacer la necesidad de hacer algo diferente que comúnmente se viene realizando en el mantenimiento para este tipo de proceso.

RCM es la mejor metodología para una productividad teniendo en cuenta cuáles son sus funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional, de esta manera, sus usuarios podrían tener un conocimiento acerca todas las funciones operacionales de los activos físicos. Cuando el activo no puede cumplir una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable, la causa de cada falla funcional, son fallas que están siendo prevenidas por el sistema de mantenimiento y aunque no hayan ocurrido se puede considerar altamente posible.

Al momento de presentarse una falla importante, se debe hacer una lista de los modos de fallas que realmente han ocurrido, para así dar sentido a la falla, de esta manera saber que medidas se puede tomar para prevenir o predecir cada falla y si no se encuentra una falla, lo adecuado sería realizar una tarea proactiva para evitar cualquier tipo de falla. Finalmente, se propone una búsqueda profunda de fallas, para rediseñar y ejecutar un mantenimiento a nivel de rotura.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General. Desarrollar un modelo gerencial de mantenimiento electromecánico basado en la metodología RCM para plantas del sector de reciclaje y tratamiento de llantas usadas, desechadas, recolectadas y en disposición final para aprovechamiento.

1.5.2 Objetivos Específicos.

- Identificar los procesos del tratamiento y reciclaje de llantas, bajo la metodología RCM para la cadena productiva específicamente en los equipos de trituración primaria y secundaria (Desgarradora 72-72, Satrind y Rasper), definiendo las funciones principales y secundarias de cada uno de los procesos a aplicar la metodología.
- Realizar un análisis de modo de falla y sus efectos según los procesos a aplicar la metodología en los equipos de trituración primaria y secundaria basado en la eficiencia y la adecuada selección del material.
- Aplicar la hoja de decisión de la metodología RCM para asignar las tareas manteniendo las funciones.
- Estandarizar la metodología de RCM a las plantas de tratamiento y reciclaje de llantas implementando documentación asociada al Sistema Integrado de Gestión de la Calidad permitiendo establecer pautas para la incorporación de herramientas de gestión de la información como SAP.

2. MARCO TEÓRICO

El auge de los estándares de producción y la implementación de nuevas alternativas amigables con el medio ambiente, hacen que temas de reciclaje y reincorporación de materias primas con una degradación baja tomen un valor notable. Es así que las empresas dedicadas al reciclaje y posterior tratamiento de llantas, tengan la relevancia adecuada para el desarrollo de esta monografía.

La industria automotriz no podría haber evolucionado sin un aliado fiel y constante, las llantas o neumáticos como también se les conoce, se desarrollaron a la par que avanzaba la tecnología automotriz mundial y su historia es realmente sorprendente, sus inicios se remontan al siglo XIX, en donde Charles Goodyear para 1844 inventa el vulcanizado del caucho (propiedad de rebote de la goma), material con el cual se producirían posteriormente las llantas.¹²

El 4 de junio 1946 Michelin inventa y patenta la llanta radial que desde entonces ha sido utilizado por todos los fabricantes. El primer auto equipado con dichos neumáticos fue el Citroën con tracción delantera. En 1955, Michelin inventó el neumático sin cámara de aire (denominado Tubeless). En 1962, Bridgestone desarrolló sus primeras llantas de estructura radial en acero japonés para camiones y autobuses y los primeros neumáticos de estructura radial para vehículos particulares, a mediados de 1964. En 1965, BFGoodrich fabricó el neumático radial americano: el Lifesaver.

¹² SANDOVÁL GUTIÉRREZ, María Gabriela y CASTRO MARTÍNEZ, Antony Michel. Plan de negocio de una empresa pulverizadora de caucho de llanta usada para la industria asfaltera en la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana. [En línea]. Trabajo de grado de Ingeniero Industrial. Bucaramanga: Universidad de Santander. Facultad de Ingenierías, Programa de Ingeniería Industrial. Bucaramanga, 2013. 186 p. [Consultado el: 13 de abril de 2017]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Antony_Castro_Martinez/publication/263162898

En 1971 los neumáticos GoodYear pisan la luna. En 1972, Continental lanzó el neumático de invierno sin clavos: ContiContact. En 1977 Las llantas BFGoodrich equiparon el trasbordador espacial Columbia En los años 80, Pirelli inventa los neumáticos de perfil bajo, una innovación tecnológica fundamental que permite reducir la altura de los flancos. Michelin Aire X se convirtió en el primer neumático radial para aviones.

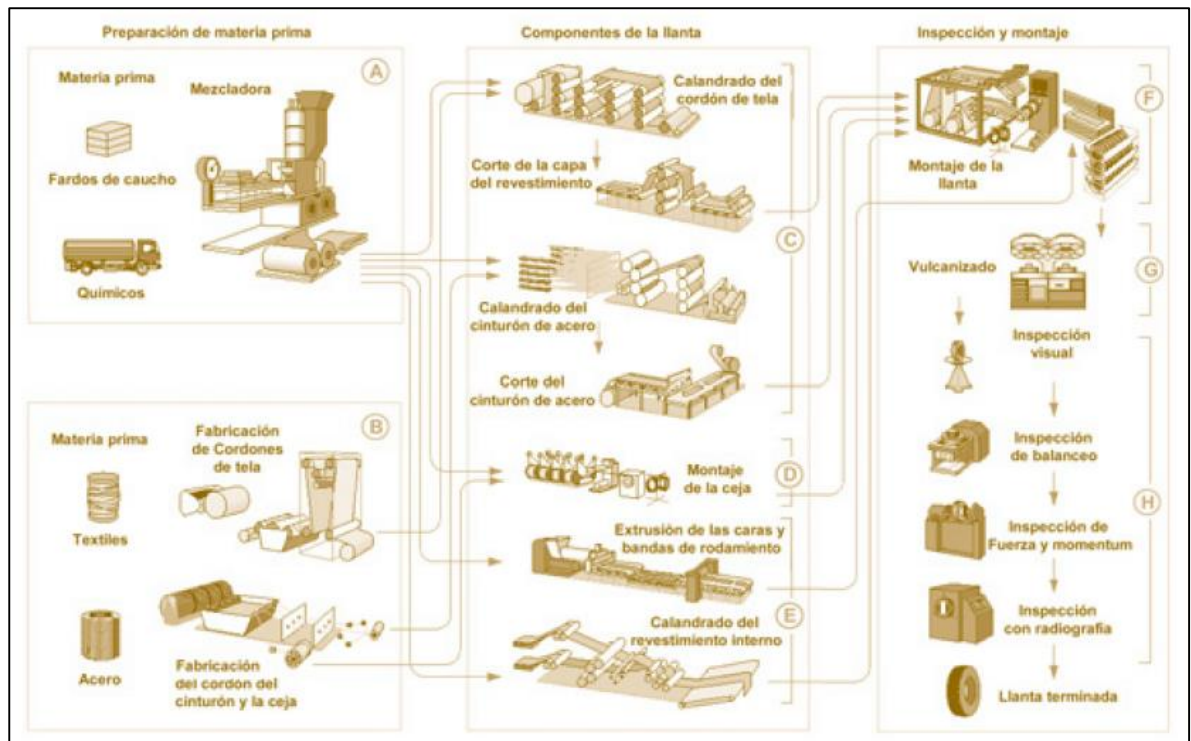
En 1992, GoodYear puso a punto el primer neumático sin aire que permite, después de un pinchazo, seguir rodando a velocidad reducida durante un número de kilómetros limitado. En 1992, Michelin asoció una sílice original y un elastómero sintético. Esta mezcla permite en adelante la fabricación de neumáticos que presentan una baja resistencia a la rodadura y una buena adherencia sobre suelos fríos, sin perder su calidad de resistencia al desgaste. Esta innovación ha dado lugar a las gamas denominadas de "baja resistencia a la rodadura" que permiten disminuir el consumo de combustible de los vehículos.

En 1997, Bridgestone entró en la competición de la categoría Fórmula 1. Los bólidos equipados con neumáticos Bridgestone Potenza consiguieron cuatro podios durante esa temporada. En 1999, Dunlop presentó un sistema de control para neumáticos: Warnair. Esta llanta detecta rápidamente las pérdidas de presión e informa al conductor a través de avisos sonoros o visuales.

En el 2001, Michelin puso a punto una nueva tecnología para neumáticos de avión que permite al Concorde volver a despegar: la tecnología radial NZG. En el 2002, las marcas Bridgestone y Continental anunciaron en el Salón de Ginebra una cooperación técnica para el desarrollo conjunto de un neumático con tecnología de

punta, el cual hasta los días de hoy se ha mejorado e implantado tecnologías que mejoran su rendimiento y durabilidad.¹³

Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de fabricación de la llanta.



Fuente: CAMARA DE COMERCIO DE BOGOTÁ, Guía para el manejo de llantas usadas. [En línea]. Bogotá: Editorial Kimpres Ltda, 2006. p. 21. [Consultado el: 14 de abril de 2017]. Disponible en: <http://bibliotecadigital.ccb.org.co/handle/11520/14583>.

¹³ SANDOVÁL GUTIÉRREZ, María Gabriela y CASTRO MARTÍNEZ, Antony Michel. Plan de negocio de una empresa pulverizadora de caucho de llanta usada para la industria asfaltera en la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana. [En línea]. Trabajo de grado de Ingeniero Industrial. Bucaramanga: Universidad de Santander. Facultad de Ingenierías, Programa de Ingeniería Industrial. Bucaramanga, 2013. p. 28. [Consultado el: 13 de abril de 2017]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Antony_Castro_Martinez/publication/263162898

2.1 GRANULOS DE CAUCHO RECICLADO (GCR)

Una de las alternativas más adecuadas para el uso de llantas desechadas, en el que se tiene en cuenta la conservación del medio ambiente y la economía circular, es la trituración de las mismas, que las convierte en pequeños gránulos de caucho permitiendo volver a introducir al mercado un producto que podría haber sido quemado, generando gases contaminantes o abandonado en basureros como sucede en muchos lugares de Colombia. Es por ello que se hace indispensable conocer los diferentes usos y aplicaciones para el GCR.¹⁴

2.2 USOS Y APLICACIONES

El caucho obtenido a partir de llantas recicladas tiene múltiples alternativas de aprovechamiento que generan valor a los productos o servicios en los que se involucra, a través de procesos comunes en la industria. En la Tabla 1 se relacionan algunos productos en los que el GCR se puede utilizar.¹⁵

¹⁴ SANDOVÁL GUTIÉRREZ, María Gabriela y CASTRO MARTÍNEZ, Antony Michel. Plan de negocio de una empresa pulverizadora de caucho de llanta usada para la industria asfaltera en la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana. [En línea]. Trabajo de grado de Ingeniero Industrial. Bucaramanga: Universidad de Santander. Facultad de Ingenierías, Programa de Ingeniería Industrial. Bucaramanga, 2013. p. 31. [Consultado el: 13 de abril de 2017]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Antony_Castro_Martinez/publication/263162898

¹⁵ *Ibíd.* p. 32.

Tabla 1. Usos y aplicaciones del CGR.

USO	TAMAÑO (MM)	DESCRIPCIÓN
<p>Mezclas asfálticas</p> 	0,0 – 0,8	<p>Como agregado elástico del asfalto con el fin de obtener: carreteras que producen menor fricción, mayor agarre de las llantas, menor tiempo de frenado, menor contaminación auditiva y menor desgaste de las llantas.</p>
	0,0 – 0,8	<p>Carreteras que duran hasta tres veces más que las convencionales, debido a las propiedades elásticas del caucho que le permiten adaptarse fácilmente a los cambios de temperatura, mejorando su vida útil en óptimas condiciones. Así mismo, el costo de mantenimiento de estas carreteras ecológicas se estima en la tercera parte del costo que se debe invertir en una carretera convencional.</p>
<p>Relleno de los campos de futbol en césped artificial</p> 	0,8 – 2,5	<p>Superficies blandas que brindan seguridad, amortiguan impactos, brindan comodidad y disminuyen los costos de mantenimiento. Gracias a sus características se pueden usar como superficie blanda principalmente en parques infantiles, gimnasios, centros comerciales, placas deportivas, caballerizas, entre otros. Brindan protección, bajos costos de mantenimiento, no es tóxico, resistencia a la fricción, no absorbe olores, superficies que amortiguan y son antideslizantes.</p>
<p>Fabricación de tapetes y losas para parques infantiles</p> 	2,5 – 4,0	<p>Los campos de césped artificial representan una de las aplicaciones de mayor consumo de granza de caucho. Dotando a las instalaciones de un mayor confort y seguridad durante el juego y una considerable reducción de agua.</p>

<p>Suelas de Calzado</p> 	<p>Caucho pulverizado , que se refiere a partículas de caucho entre malla 10 y malla 30.</p>	<p>Incorporación de polvo fino en las formulaciones del caucho, aunque limitado a mezclas oscuras por la incorporación del negro de carbono en la formulación del caucho.</p>
<p>Mulch, Sustrato para Jardinería</p> 	<p>N/A</p>	<p>Fragmentos de caucho pigmentados en diferentes colores y tienen como objetivo cubrir un determinado terreno para mantener la humedad, decorar y evitar la erosión. El Mulch es utilizado principalmente en jardinería, guarderías, viveros, senderos ecológicos y decoración interior/ exterior de residencias, paisajismo, entre otros.</p>

2.3 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO

En 1960 el gobierno de los EEUU formó un grupo de trabajo que incluía representantes de la industria de aviación, la cual, fue la primera en darse cuenta en las investigaciones de capacidades del mantenimiento preventivo y aplicaciones de los criterios de RCM por Stanley Nowlan y Howard Heap permitió bajar la incidencia en los noventa a razón de dos accidentes graves con fatalidades por cada millón de despegues.

En la década de los ochenta, John Moubray y sus asociados elaboraron una rigurosa metodología de aplicación de esta técnica (RCM) en la industria, este mantenimiento respondió a unas expectativas cambiantes, incluyendo una creciente toma de conciencia para evaluar hasta qué punto las fallas en los equipos afectan a la seguridad y al medio ambiente.

El concepto ha ido evolucionando desde la simple función de arreglar y reparar los equipos para asegurar la producción (entrenamiento) hasta la concepción actual del

mantenimiento con funciones de prevenir, corregir y revisar los equipos a fin de optimizar el coste global.¹⁶

Desde la década del 30 se puede seguir el rastro de la evolución del mantenimiento a través de tres generaciones como:

En la Primera Generación, La prevención de las fallas en los equipos no era una prioridad para la mayoría de los gerentes en la segunda guerra mundial, por eso las industrias no estaba altamente mecanizada por lo que el tiempo de parada de máquina no era de mayor importancia con un posible mantenimiento de rutina de limpieza, servicio y lubricación, pasando a la segunda generación, donde la industria estaba empezando a depender durante la segunda guerra mundial, aumentando la cantidad y complejidad de todo tipo de máquinas y número de trabajadores industriales.

En los años 50, las fallas y tiempos de paradas en los equipos podían y debían ser prevenidos y en los 70, el costo de mantenimiento aumento con relación al costo de operación, el desarrollo de los sistemas de planeamiento y control del mantenimiento ayudo a maximizar la vida útil de los activos/bienes.

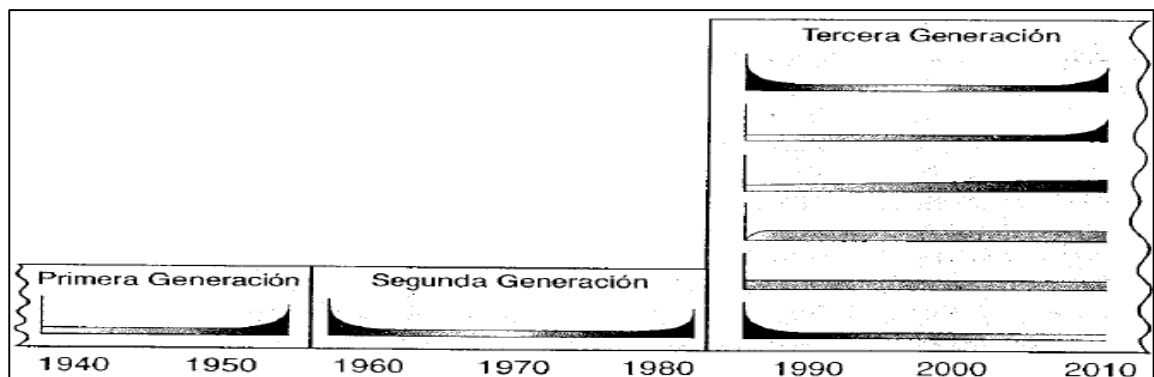
Por último, en la tercera generación para los años sesenta y setenta, el tiempo de parada de máquina empieza afectar la producción de los activos físicos al reducir la producción, aumentando los costos operaciones y afecta el servicio al cliente. El crecimiento de la mecanización y la automatización se ha tenido en cuenta la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad en los procesos evitando consecuencias para el medio ambiente. La edad de los activos se relaciona a la probabilidad de falla.

¹⁶ DÍAZ NAVARRO, Juan. Técnicas de mantenimiento industrial. Algeciras, España: Calpe Institute of Technology, 2010. 318 p. ISBN 978-84-613-7747-3.

La mortalidad infantil llevó a la segunda generación a creer en la curva de tipo bañera o bañadera con uno o dos patrones de falla, a comparación de la tercera generación revelan seis patrones de falla que realmente ocurren en la práctica. Ver Figura 3.

El desarrollo en los últimos veinte años ha crecido el énfasis en los clásicos sistemas administrativos y de control para incluir nuevos desarrollos en diferentes áreas. Ver Figura 4.

Figura 3. Cambios en los puntos de vista sobre la falla de equipos.



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español. Leicester: Aladon Ltd, 2004. 443 p. ISBN 09539603-2-3.

Figura 4. Cambios en las técnicas de mantenimiento.



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español. Leicester: Aladon Ltd, 2004. 443 p. ISBN 09539603-2-3.

2.4 CONFIABILIDAD

La búsqueda de nuevos estándares de mantenimiento y de cómo lograr sistemas metodológicos que garanticen una prestación de servicio en forma continua, más el marco legal vigente es una pauta para hacer sistemas más confiables.

Esta se puede definir como la probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para las cuales es deseado, durante un periodo de tiempo específico y bajo las condiciones de operación ambientales y de entorno adecuado.

Una Medida de la confiabilidad es el MTBF o tiempo medio entre fallas; es el promedio de los intervalos entre fallas durante un cierto periodo de tiempo si la falla puede resolver por medio de mantenimiento.¹⁷

$$MTBF = (\text{Tiempo de Operación}) / (\text{Numero de Fallos})$$

2.4.1 Indicadores. Los Indicadores buscan cuantificar la calidad del servicio de energía eléctrica evaluando varios aspectos. Entre los Indicadores más comunes se encuentran:

- Tasa de falla (λ): es el número de fallas de un sistema o componente por unidad de tiempo de exposición. Generalmente se considera como unidad de tiempo 1 año.
- Tiempo inactivo por mantenimiento (Mdt): Maintenance down time, es el total de tiempo inactivo por mantenimiento programado para un periodo dado de tiempo. Incluye tiempo de logística, disponibilidad de equipo de trabajo y repuestos etc.
- Tiempo medio inactivo (MDT): Es el tiempo promedio de inactividad causada por mantenimiento programado y no programado, incluyendo cualquier tiempo de logística.
- Tiempo medio entre fallas (MTBF): Es el tiempo de exposición promedio entre fallas consecutivas de un componente.
- Tiempo Promedio Para Reparar (MTTR): Es el tiempo medio para reparar o reemplazar un componente. Los tiempos de logística asociados a la

¹⁷ RODRÍGUEZ BARRERO, Ofer. Modelo gerencial de mantenimiento para flotas de transporte de cargas. [En línea]. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2006. 98 p. [Consultado el: 12 de abril de 2017]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2006/121728.pdf>

reparación, como adquisición de partes, movilización de las cuadrillas no están incluidos dentro de este indicador. Puede ser estimado dividiendo la suma de los tiempos de reparación entre el número de reparaciones, por lo tanto, es prácticamente el 45 promedio del tiempo de reparaciones. La unidad más común para medir este indicador es de horas.

- Tiempo promedio para mantener (MTTM): es el tiempo promedio que toma mantener un componente, incluyendo los tiempos de logística.¹⁸

2.4.2 Disponibilidad. El modo de garantizar que una maquina o equipo mantenga sus funciones predeterminadas en el tiempo, estará dado por la disponibilidad; “En esencia, disponibilidad mide que porcentaje del tiempo la máquina está disponible para cumplir con su desempeño requerido”.¹⁹

El cálculo de la disponibilidad es el siguiente:

$$\text{Disponibilidad} = (\text{Tiempo Útil Operacional}) / (\text{Tiempo Útil Operacional} + \text{Tiempo no Operativo})$$

La relación entre la Disponibilidad, Confiabilidad y Mantenibilidad es:

$$\text{Disponibilidad} = \text{Confiabilidad} / (\text{Confiabilidad} + \text{Mantenibilidad})^{20}$$

¹⁸ GÓMEZ LUGO, Néstor Rafael. Modelo de mantenimiento basado en RCM para las subestaciones portátiles 69 kV / 7,2 kV de la empresa carbones del cerrejón Ltd. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2012.

¹⁹ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español. Leicester: Aladon Ltd, 2004. p. 299. ISBN 09539603-2-3.

²⁰ *Ibíd.* p. 300.

2.4.3 Mantenibilidad. Es la probabilidad que un equipo pueda ser puesto en condiciones operacionales en un tiempo dado.²¹ La mantenibilidad se caracteriza por el tiempo promedio para reparar (MTTR) y depende de varios factores entre los que se encuentran:

- Características de diseño de los equipos como modularidad, estandarización y facilidad de acceso a partes propensas a falla.
- Organización y eficiencia de las dependencias de mantenimiento.
- Habilidades del personal que ejecuta el mantenimiento.
- Disponibilidad de personal para realizar el mantenimiento.
- Disponibilidad de materiales y repuestos.
- Calidad y disponibilidad de la información técnica necesaria.
- Procedimientos de diagnóstico.
- Espacio de trabajo.

2.5 MANTENIMIENTO EN PLANTAS INDUSTRIALES

Los parámetros de mantenimiento que rigen el funcionamiento de las maquinas, equipos e instalaciones mantenibles en una planta industrial, tienen por finalidad garantizar su confiabilidad en las respectivas operaciones para las cuales están diseñados. De este, no solo depende un funcionamiento eficiente, sino que se hace preciso llevarlo a cabo con rigor en función de alcanzar los objetivos de control de la mano con el presupuesto.

²¹ BORRÁS PINILLA, Carlos. Memorias de clase de Principios de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. 2016. p. 126.

2.5.1 Tareas correctivas. Mantener sistemas sin ninguna incidencia futura en estudiar modos de falla, representa la forma más básica de realizar mantenimiento de forma correctiva. Consiste en permitir que un equipo funcione hasta el punto en que no puede realizar su función.²²

Es común que este tipo de mantenimiento se aplique a equipo con baja criticidad en el proceso, equipos que están en obsolescencia, equipos que tienen back-up y equipos que son fácilmente reemplazables. Sin embargo, el mantenimiento correctivo en su forma más común, es decir no planeado, es el tipo de mantenimiento más costoso y que más problemas causa a cualquier operación debido a²³:

- Requiere más personal.
- Conlleva a continuos paros que amenazan la producción.
- El tiempo indisponible de los equipos es mayor.
- Los equipos pueden sufrir daños irreparables.
- Ocasiona malestar y conflictos.

2.5.2 Tareas preventivas. Estas tareas se llevan a cabo antes que ocurra una falla, con el objetivo de prevenir que el componente llegue a un estado de falla.²⁴

“Una tarea es técnicamente factible si físicamente permite reducir o realizar una acción que reduzca las consecuencias del modo de falla asociado, a un nivel que

²² BORRÁS PINILLA, Carlos. Memorias de clase de Principios de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. 2016. p. 54.

²³ *Ibíd.* p. 55.

²⁴ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español. Leicester: Aladon Ltd, 2004. p. 133. ISBN 09539603-2-3.

sea aceptable al dueño o usuario del activo”²⁵. Un ejemplo muy claro de unas tareas preventivas es la inspección visual, ya que es el método de control más básico, sin intervención directa sobre el equipo, con rutinas de alta frecuencia y corta duración. Su objetivo primario es la verificación y búsqueda de anomalías que puedan ser evidenciadas usando los sentidos que llevan a cabo la tarea.

Desde el punto de vista Técnico, existen dos temas a tener en cuenta para la selección de tareas proactivas, estas son:

- La relación entre la edad del componen que se está considerando y la probabilidad de que falle.
- Que sucede una vez que ha comenzado a ocurrir la falla.²⁶

2.5.3 Tareas predictivas. Las tareas a condición se llaman así porque los elementos que se inspeccionan se dejan en servicio a condición de que continúen cumpliendo con los parámetros de funcionamiento especificados. Esto también se conoce como mantenimiento predictivo (porque estamos tratando de predecir si y posiblemente cuando, el elemento va a fallar basándonos en su comportamiento actual) o mantenimiento basado en la condición (porque la necesidad de acciones correctivas o para evitar las consecuencias se basa en una evaluación de la condición del elemento).

“Las tareas a condición consisten en chequear si hay falla potenciales, para que se pueda actuar para prevenir la falla funcional o evitar las consecuencias de la falla

²⁵ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español. Leicester: Aladon Ltd, 2004. p. 133. ISBN 09539603-2-3.

²⁶ *Ibíd.* p. 134.

funcional”²⁷. Se puede encontrar muchas técnicas de mantenimiento para prevenir las fallas funcionales o evitar las consecuencias de las fallas funcionales como tareas Predictivas, son las siguientes:

- Monitoreo de la condición
- Termografía
- Radiografía de rayos X
- Fluoroscopia Radiografía de rayos X
- Análisis de vibraciones
- Análisis de aceite
- Entre otros

2.6 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

La filosofía que provee una estructura para transformar las relaciones entre los activos físicos existentes (quienes lo usan, lo mantienen y lo operan) y activos nuevos puesto en servicio con gran efectividad, rapidez y precisión aplicada en la industria de aviación siendo la primera en darse cuenta al momento de realizar tareas adecuadamente se asegura que se están haciendo las tareas correctamente teniendo una dedicación y esfuerzo se puede lograr un Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).

Hasta el momento no se han encontrado otras técnicas para asegurar que es capaz de realizar y definir las funciones de cada activo en contexto operacional con parámetros de funcionamiento deseado, por eso RCM se ha resguardado y convirtiéndose en el mecanismo más utilizado para determinar activos físicos en

²⁷ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español. Leicester: Aladon Ltd, 2004. p. 149. ISBN 09539603-2-3.

casi todos los sectores de la industria, RCM se puede definir como un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que los usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual.²⁸

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

¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?

Estas son aquellas para las cuales está diseñado el activo y se espera que realice. Las funciones están divididas en dos categorías:²⁹

- Funciones primarias: Son aquellas funciones nativas que realiza el activo.
- Funciones secundarias: Las que el usuario espera que el activo debería hacer además de cumplir con las funciones primarias. Estas son las que el usuario tiene por expectativa que realice, como lo es la seguridad, confort, economía, eficiencia etc.

¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?

En el mundo del RCM, las fallas son denominadas fallas funcionales debido a que cuando ocurren, el activo no puede cumplir una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable.³⁰

²⁸ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español. Leicester: Aladon Ltd, 2004. p. 446. ISBN 09539603-2-3.

²⁹ *Ibíd.* p. 8.

³⁰ *Ibíd.* p. 9.

El RCM va directo al análisis de los modos de falla que llevaron que el activo alcanzara la falla funcional.

¿Cuál es la causa de cada falla funcional?

Los modos de falla, son para RCM la causa base de estudio, que parten de posibles hechos, tanto de contextos operacionales similares, como de los histórico de fallas recurrentes en los equipos a estudiar.

¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?

RCM lista los efectos de las fallas, describiendo lo que ocurre cuando se presenta un modo de falla. En la descripción de los efectos de falla debería incluirse:³¹

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

¿En qué sentido es importante cada falla?

RCM delimita, resguarda principalmente y en primer lugar la seguridad de las personas, el medio ambiente y el producto final; es así que las fallas por péquelas sean afectan sus objetivos; por tanto, su afán será generar unas respectivas acciones correctivas, en aras de prevenir su ocurrencia.

³¹ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español. Leicester: Aladon Ltd, 2004. p. 10. ISBN 09539603-2-3.

Un punto fuerte de RCM es que reconoce que las consecuencias de las fallas son más importantes que las diferentes características del activo, y clasifica estas consecuencias en cuatro tipos:³²

- Consecuencias de fallas ocultas: Fallas que no tienen un impacto directo, pero expone a la organización a fallas con consecuencias serias. Por ejemplo: La consecuencia de una falla en un sistema de contraincendios.
- Consecuencias ambientales y para la seguridad: Una falla tiene consecuencias para la seguridad si es posible que cause lesiones o la muerte a una persona, y tiene consecuencias para el medio ambiente si infringe alguna normativa ambiental, ya sea nacional o internacional.
- Consecuencias operacionales: Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción en cualquier aspecto.
- Consecuencias no-operacionales: No afectan la producción ni la seguridad y sólo implican un costo asociado a la reparación. Por ejemplo, la falla en un equipo de back-up.

¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?

Las acciones dadas a actual antes de que un equipo enfrente una falla funcional, están orientadas a evaluar comportamientos a condición intentando predecir un resultado; ya que experiencias anteriores como las de la curva de la bañera, no se acomodan a los estándares actuales de fallas y en pocas palabras llegaron al punto de obsolescencia.

Es así que se ha dejado poco a poco las acciones de mantenimiento proactivo siempre y cuando las consecuencias de las fallas fueran menores. RCM divide en

³² MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español. Leicester: Aladon Ltd, 2004. p. 11. ISBN 09539603-2-3.

tres grupos las tareas para prevenir, predecir y disminuir las consecuencias de las fallas, como son:

- Tareas de reacondicionamiento cíclico.
- Tareas de sustitución cíclica.
- Tareas a condición.

¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

Cuando se identifica que no existe una tarea proactiva efectiva, RCM propone realizar búsqueda de fallas, rediseño y mantenimiento a rotura. Estas tareas se llaman tareas a falta de.

2.6.2 Análisis de fallas. Al definir las funciones y parámetros de funcionamiento deseados de cualquier activo físico, definimos los objetivos de mantenimiento para dicho activo. RCM busca identificar aquellos modos de falla que sean posibles causantes de cada falla funcional y determina los efectos asociados con cada modo de falla. Esto se realiza a través de un análisis de modos de falla y sus efectos (AMFE) para cada falla funcional.³³

³³ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español. Leicester: Aladon Ltd, 2004. p. 56. ISBN 09539603-2-3.

2.6.3 Modos de falla y sus efectos. Un modo de falla podría ser definido como cualquier evento que pueda causar la falla de un activo físico (o sistema o proceso). Sin embargo, como explicamos es vago y simplista aplicar el término “falla” a un activo físico de manera general. Es mucho más preciso distinguir entre “una falla funcional” (un estado de falla) y un “modo de falla” (un evento que puede causar un estado de falla); una definición más precisa podría ser: cualquier evento que cause una falla funcional.³⁴

2.6.4 Búsqueda de fallos. Una maquina puede fallar por diversos motivos. Un grupo de máquinas o un sistema como una línea de producción puede fallar por cientos de razones. Para una planta entera, los números ascienden a miles, inclusive hasta decena de miles.

La mayoría de los gerentes no se sienten muy cómodos al pensar en el tiempo y el esfuerzo involucrado en la identificación de todos estos modos de falla. Muchos deciden que este tipo de análisis es demasiado trabajoso y abandonan la idea por completo. Pero cuando hacen estos, pasan por alto el hecho que en el día a día el mantenimiento es realmente manejado al nivel de modo de falla:

- Las ordenes de trabajo o pedidos de trabajo surgen para cubrir modos de falla específicos.
- El planeamiento del mantenimiento diario se realiza para tratar modos de falla específicos.
- En la mayoría de las empresas industriales el personal de mantenimiento y operaciones tiene reuniones en donde tratan los temas de lo que ha fallado en los procesos y cómo prevenir que vuelvan a suceder.

³⁴ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español. Leicester: Aladon Ltd, 2004. p. 57. ISBN 09539603-2-3.

- Generalmente, los sistemas de registro de historia técnica registran modos de falla individuales.

Una vez que cada modo de falla ha sido identificado es posible considerar que sucede cuando ocurre, evaluar las consecuencias y decidir si debería hacerse algo para anticipar, prever, detectar, corregir, o hasta rediseñar.³⁵

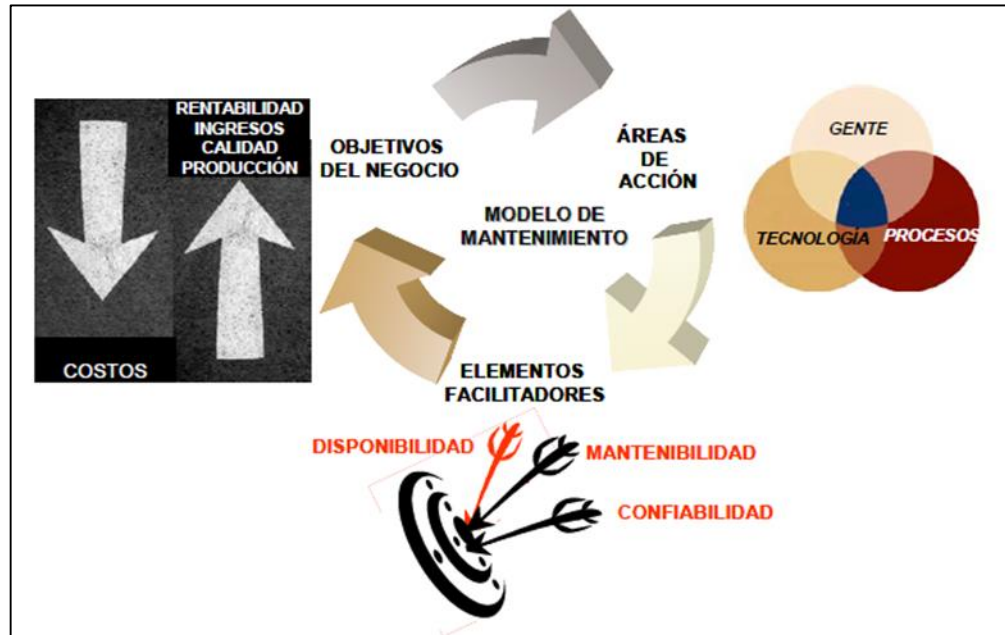
2.7 MODELO GERENCIAL DE MANTENIMIENTO

El conjunto metodológico a referenciar en el análisis y posterior desarrollo de un proceso de tratamiento y reciclaje de llantas; estará definido por el uso de recurso humano competente con perfiles y funciones definidas, enfoque directo a procesos y la incorporación de sistemas tecnológicos; todo en función de apoyar el rendimiento general de los activos de la organización. Ver figura 5.

Un modelo gerencial de mantenimiento deberá satisfacer las necesidades mínimas para las cuales fue orientado, en donde su éxito estará limitado por la forma en que se sincronice de una forma adecuada con cada uno de los procesos, alineando cada ente que participa en la organización con objetivos comunes y siendo capaz de acomodar un sistema tecnológico que supla esas iniciativas.

³⁵ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español. Leicester: Aladon Ltd, 2004. p. 58. ISBN 09539603-2-3.

Figura 5. Visión general de modelos de mantenimiento.



Fuente: CRESPO MÁRQUEZ, Adolfo. The maintenance management framework. Models and methods for complex systems maintenance. Londres: Springer London Ltd. 2007. 333 p. ISBN 978-1-84628-820-3.

2.8 DISEÑO DE MODELO GERENCIAL DE MANTENIMIENTO

En las páginas anteriores se describió a grandes rasgos el que es un modelo gerencial de mantenimiento, porque se compone y a quienes va dirigido, pero aun no conocemos como crear un modelo gerencial que se acomode a cualquier organización. En este sentido se destaca que el enfoque del presente documento para el desarrollo de un modelo de gestión de mantenimiento es muy similar al proceso de diseño definido por:³⁶

³⁶ SUH, N. P.; BELL, A. C. y GOSSARD D. C. On an Axiomatic Approach to Manufacturing and Manufacturing Systems. *ASME. Journal for Engineering for Industry*. 1978, vol. 100, nro. 2. pp. 127 – 130.

- Definir y Acordar Necesidad.
- Definir funciones.
- Definir Procesos, Gente y Tecnología.
- Definir Evolución de Procesos.

2.9 DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS DEL MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

Siguiendo este mismo orden de ideas podemos delimitar siete etapas en la consecución de un modelo gerencial de mantenimiento capaz de acomodarse a nuestra organización, tales como se muestran en la figura 6.

Etapa 1: Análisis de la situación actual. Definición de objetivos, estrategias y responsabilidades de mantenimiento.

Etapa 2: Jerarquización de equipos:

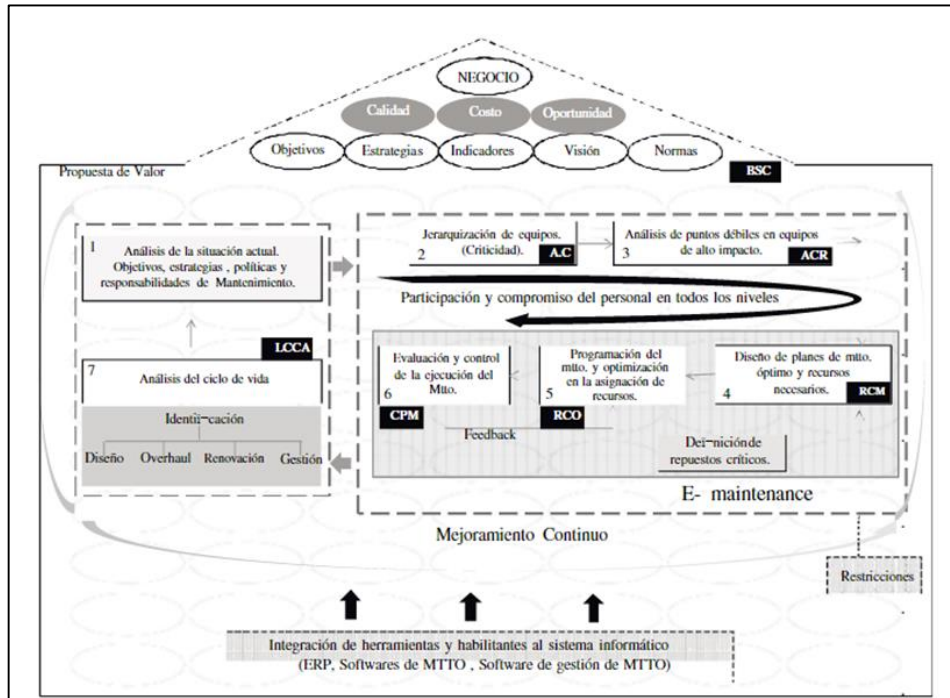
- Riesgo: Frecuencia x Consecuencia.
- Frecuencia: Número de Fallas en un tiempo determinado.
- Consecuencia: (Impacto Operacional x Flexibilidad) + Costos de Mantenimiento + Impacto (Seguridad – Ambiente).

Una vez que los activos están jerarquizados en base a su criticidad, se obtiene la Matriz de Criticidad. Ver figura 7.

Etapa 3: Análisis de puntos débiles en equipos de alto impacto.

Etapa 4. Diseño de planes de mantenimiento y recursos necesarios.

Figura 6. Modelo de Gestión de Mantenimiento.



Fuente: CRESPO MÁRQUEZ, Adolfo. The maintenance management framework. Models and methods for complex systems maintenance. Londres: Springer London Ltd. 2007. 333 p. ISBN 978-1-84628-820-3.

Figura 7. Matriz Genérica de Criticidad.

MATRIZ DE CRITICIDAD							
FRECUENCIA	1	SC	SC	C	C	C	C
	2	SC	SC	SC	C	C	C
	.	NC	SC	SC	SC	C	C
	.	NC	NC	SC	SC	SC	C
	.	NC	NC	NC	SC	SC	C
	N	NC	NC	NC	NC	SC	SC
		I	2	.	.		M
		CONSECUENCIA					

Etapa 5. Programación del mantenimiento y optimización en la asignación de recursos.

Etapa 6. Evaluación y control de la ejecución del mantenimiento.

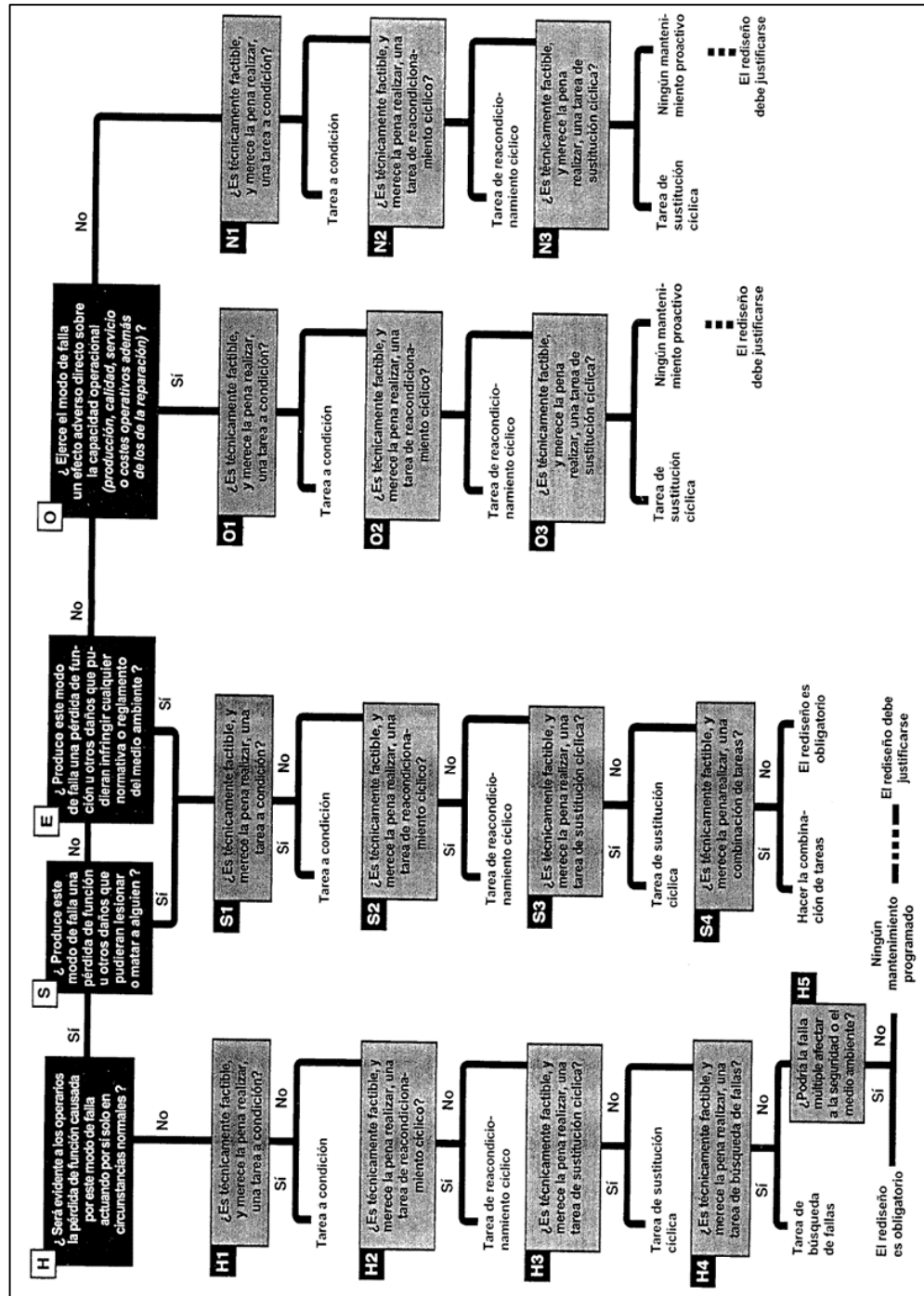
Etapa 7. Análisis del ciclo de vida y de la posible renovación de equipos.

2.9.1 Diagrama de decisión. La hoja de decisión de RCM, permite asentar respuestas en el direccionamiento final para el tratamiento de los modos de fallas, permite registrar:

- Que mantenimiento de rutina será realizado, con qué frecuencia será realizado y quien lo hará.
- Que fallas son lo suficientemente serias como para justificar el rediseño.
- Casos en los que se toma la decisión deliberada de dejar que las fallas ocurran.³⁷

³⁷ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español. Leicester: Aladon Ltd, 2004. p. 202. ISBN 09539603-2-3.

Figura 8. Diagrama de decisión RCM.



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español. Leicester: Aladon Ltd, 2004. p. 205. ISBN 09539603-2-3.

3. MARCO LEGAL

El medio ambiente es un patrimonio común; por eso el objeto de la presente ley prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente, es buscar el mejoramiento, la conservación es una actividad de utilidad pública y la restauración de los recursos naturales renovables, para defender la salud y el bienestar de todos los habitantes del territorio nacional en las que deberán participar el Estado y los particulares. Para efectos de la presente ley, se entenderá que el medio ambiente está constituido por la atmósfera y los recursos naturales renovables.³⁸

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial ha realizado estudios que arrojaron diferentes resultados sobre llantas en Colombia, se concluyó lo siguiente:

Se estima para el año 2008 un consumo de 4.493.092 llantas discriminadas así: 1.067.072 llantas de camiones y busetas, y 3.426.020 llantas de automóviles y camionetas. Considerando un promedio de recambio de llantas de 18 meses y unos pesos promedio para carcasas usadas de 7 kg por llanta para auto; de 15 kg para camioneta y de 50 kg para camión, la generación de residuos de llantas de automóvil, camioneta, camión y buseta se estima en 61.000 toneladas al año.

En Colombia gran parte de las llantas luego de su uso, son almacenadas en depósitos clandestinos, techos o patios de casas de vivienda y en espacios públicos (lagos, ríos, calles y parques) con graves consecuencias en términos ambientales,

³⁸ COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 23 de 1973, Por la cual se conceden facultades extraordinarias al Presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y protección al medio ambiente y se dictan otras disposiciones. [En línea]. Bogotá: El Congreso, 1973. 3 p. [Consultado el: 20 de mayo de 2017]. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/leyes/2a-ley_0023_1973.pdf

económicos y sanitarios. Las llantas usadas se convierten en el hábitat ideal para vectores como las ratas y mosquitos, que transmiten enfermedades como el dengue, la fiebre amarilla y la encefalitis equina. Cuando las llantas usadas se disponen en botaderos a cielo abierto, contaminan el suelo, los recursos naturales renovables y afectan el paisaje. Adicionalmente, generan dificultades en la operación en los rellenos sanitarios.

Algunos subsectores utilizan las llantas usadas como combustible en sus procesos productivos en forma inadecuada. Así mismo, grupos informales que forman parte de la cadena de llantas usadas, las queman a cielo abierto para extraer el acero, generando problemas de contaminación atmosférica; Que se hace necesario tomar medidas destinadas a proteger el medio ambiente y la salud humana mediante la prevención de la generación o la reducción de los posibles impactos adversos de la generación y manejo inadecuado de llantas usadas

Que se requiere organizar la recolección y la gestión ambiental de las llantas usadas (reciclaje de llantas) para que estas actividades se realicen de forma selectiva y de manera separada de los demás residuos para su adecuada gestión.³⁹

Se considera infracción en materia ambiental toda acción u omisión que constituya violación de las normas contenidas en el Código de Recursos Naturales Renovables, Decreto-ley 2811 de 1974, en la Ley 99 de 1993, en la Ley 165 de 1994 y en las demás disposiciones ambientales vigentes en que las sustituyan o

³⁹ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 1457 de 2010, por la cual se establecen los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas y se adoptan otras disposiciones. [En línea]. Bogotá: El Ministerio, 2010. 9 p. [Consultado el: 20 de mayo de 2017]. Disponible en: <http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/files/RESOLUCI%C3%93N%201457%20DE%202010.pdf>

modifiquen y en los actos administrativos emanados de la autoridad ambiental competente.⁴⁰

Resolución 3841 de 2011 Por la cual se establece la especificación técnica para la aplicación del grano de caucho reciclado (GCR) en mezclas asfálticas en caliente por vía húmeda.

Resolución 6981 de 2011 Por la cual se dictan lineamientos para el aprovechamiento de llantas y neumáticos usados, y llantas no conforme en el Distrito Capital.

Resolución 1045 de 2003 Por la cual se adopta la metodología para la elaboración de los planes de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS), y se toman otras determinaciones.

Resolución 1457 de 2010 Por la cual se establecen los sistemas de Recolección Selectiva y gestión ambiental de llantas usadas y se adoptan otras disposiciones.

Resolución 0058 de 2002 Se establecen normas y límites máximos permisibles de emisión para incineradores y hornos crematorios de residuos sólidos y líquidos.

Resolución 1488 de 2003 Requisitos, condiciones y límites máximos permisibles de emisión para la disposición final de llantas usadas en hornos de producción de Clinker.

⁴⁰ COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 1333 de 2009, Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones. [En línea]. Bogotá: El Congreso, 2009. 28 p. [Consultado el: 20 de mayo de 2017]. Disponible en: <http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/file/LEY%201333%20DE%202009.pdf>

4. RECOPIACIÓN Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN PARA DESARROLLAR UN MODELO GERENCIAL RCM EN MANTENIMIENTO ELECTROMECAÁNICO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE LLANTAS

Todo proceso de estructuración sistemática en búsqueda de un modelo gerencial basado en la metodología RCM, tiene por pilar la acumulación de información concerniente al componente o maquina a analizar; siendo este el fundamento inicial para delimitar el estudio a detalle sobre los posible modos de fallo que puedan afectarle. Es así que se deben mantener un orden estructurado, que pasa por la identificación de componentes, subcomponente o sistemas acomodados a la profundidad del estudio al que serán sometidos. Pasando por la selección de fronteras que marcan funciones primarias o secundarias explicitas con respecto a la secuencia de trabajo en el proceso en que se encuentren.

El tratamiento de la información y la puesta en marcha de la metodología RCM, se fundamente en el análisis de criticidad por elemento a analizar, en búsqueda de los modos de fallo posibles acorde al alcance presupuestado por el equipo de trabajo. Todo el proceso termina con la consecución de una sábana de trabajo en detalle capaz de dar respuesta a las decisiones a seguir acorde a los posibles modos de fallos ocultos o visibles que pudiesen interferir en el cumplimiento de la función básica. La ruta posible para la generación de cronogramas de trabajo o programas de mantenimiento, tendrán como sustento el análisis que fue desarrollado en la planificación, puesta en marcha y finalización del estándar para el trabajo con RCM.

4.1 PENSAMIENTO DEL MANTENIMIENTO EN LA ACTUALIDAD

El proceso de tratamiento de llantas, es un proceso en serie donde todos los activos fijos juegan un rol importante para obtener productos finales (Granulo de caucho reciclado de diferentes tamaños y mulch) que tienen diferentes usos como mezclas asfálticas, relleno de los campos de futbol en césped artificial, fabricación de tapetes y losas para parques infantiles, suelas de Calzado y el mulch; Sustrato para Jardinería y evita la contaminación ambiental.

Las empresas cuando dan inicio a realizar este proceso, la mentalidad de un mantenimiento a los equipos es errónea, ya que, el tipo de proceso es serie. Por esta razón cuando los equipos son nuevos, o no han tenido ninguna modificación o ningún tipo de falla estos productos podrían tener una alta demanda en los productos finales, por esta razón se optaría a realizar un solo Mantenimiento correctivo; en él que es un Mantenimiento costoso ya que si un equipo se encuentra fuera de línea afectaría la producción y los tiempos muertos, por lo tanto, se obtendría una pérdida económica bastante grande para dichas empresas.

Hay empresas como Mundo Limpio, GMN, Rueda Verde, Corpaul, etc, que están implementando mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo a todos los activos fijos ya que tienen conocimiento de cuáles son los equipos más importantes y cuáles son las que han tenido menos impacto dentro del proceso por medio de sus hojas de vida, matriz de mantenimiento, fichas técnicas, lista de activos físicos, etc, para poder intervenir las maquinas antes de que ocurra una falla y poder alargar la vida útil de estos.

Para el proceso de trituración de llantas, las máquinas clasificadas por su criticidad son: Desgarradora 72 72, Satrind y Rasper. En primera instancia, la desgarradora 72 72.

4.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS

Se realiza la identificación de los componentes en los equipos más críticos del proceso de trituración de las llantas.

4.2.1 Desgarradora 72 72. La desgarradora 72 72 se compone de un motor 1, reductor 1, motor 2, reductor 2, un sistema de transmisión y cuchillas, banda transportadores 1, banda de cinta de trasmisión 1 y cinta de trasmisión 2. Cuando se desvena la llanta, se coloca en la banda transportador 1, después cae a la desgarradora 72 72 donde hace su respectiva función de desgarre, el resultado de dicha operación son grandes trozos de llantas de tamaño no uniforme que caen en la cinta de trasmisión 1 en la que es llevada al foso externo que almacena residuos de trozos de llantas y a la cinta de trasmisión 2 luego, es trasladada a la cinta transportadora 1 de la Satrind 1 y finalmente foso interno que tiene como función almacenar residuos de trozo de llantas salientes de la Desgarradora 72 72.

4.2.1.1 Motor 1 y 2.

- Medición corriente y voltaje en líneas de alimentación
- Verificación continuidad embobinado entre extremos y tierra
- Revisión rodamientos y ventilador

4.2.1.2 Reductor 1 y 2.

- Revisión y ajuste tornillos acople mecánico

4.2.1.3 Sistema de transmisión y cuchillas.

- Revisión perpendicularidad y filo cuchillas
- Revisión integridad ejes y movimiento uniforme

4.2.2 Satrind 1 y 2. Los equipos se compone de una unidad hidráulica satrind 1 y 2, motor unidad hidráulica satrind 1 y 2, bomba unidad hidráulica satrind 1 y 2, motor cooler unidad hidraulica satrind 1 y 2, indicador presión unidad satrind 1 y 2, indicador temperatura unidad hidraulica satrind 1 y 2, estructura y equipo en general satrind 1 y 2.

Cuando los grades trozos de llanta caen a la cinta de trasmisión 1 y es llevada a la cinta de transmisión 2 donde es trasladada a la cinta transportadora 1 de la Satrind 1, después cae a la satrind 1 donde hace su respectiva función de desgarre, el resultado de dicha operación son medianos trozos de llantas de tamaño no uniforme que caen en la cinta de trasmisión 2 de la satrind 1 y es llevada a la cinta transportadora 1 de la Satrind 2 donde el producto entra a la satrind 2 para hacer su respectiva función de desgarre, el resultado de dicha operación son pequeños trozos de llantas de tamaño no uniforme que caen en la cinta de trasmisión 2 de la satrind 2 y finalmente cae a la cinta transportadora 3 de la satrind 2, la cual llega el producto a la banda transportadora 1 de la rasper.

4.2.2.1 Unidad hidráulica.

- Revisión y reposición nivel de aceite
- Verificación válvula multidireccional (solenoides y accionadores)
- Calibración de presión válvula de alivio y revisión electro válvula retorno

4.2.2.2 Motor unidad hidráulica.

- Medición corriente y voltaje en líneas de alimentación
- Revisión rodamientos y ventilador
- Verificación continuidad embobinado entre extremos y tierra
- Reemplazo Rodamientos y engrase

4.2.2.3 Bomba unidad hidráulica.

- Revisión empaques e integridad (variación de presión en el tiempo)
- Limpieza y pruebas de sentido de giro

4.2.2.4 Motor Cooler unidad hidráulica.

- Medición corriente y voltaje en líneas de alimentación
- Revisión rodamientos y ventilador
- Verificación continuidad embobinado entre extremos y tierra
- Revisión rodamientos y ventilador

4.2.2.5 Indicador presión.

- Limpieza equipo, caja de conexionado y acople a tubería
- Medición de voltaje y verificación de impedancia interna y de la acometida
- Calibración según parámetros de proceso

4.2.2.6 Indicador temperatura.

- Limpieza equipo, caja de conexionado y acople a tubería
- Medición de voltaje y verificación de impedancia interna y de la acometida
- Calibración según parámetros de proceso

4.2.2.7 Estructura y equipo en general.

- Revisión perpendicularidad y filo cuchillas
- Revisión integridad ejes y movimiento uniforme

4.2.3 Rasper. La máquina se compone de un motor equipo trituración rasper, reductor equipo trituración rasper, motor secundario equipo trituración rasper, reductor motor secundario equipo trituración rasper, unidad hidráulica rasper, motor unidad hidráulica rasper, bomba unidad hidráulica rasper, válvula temporizada sistema riego rasper, sistema de transmisión y cuchillas.

Al llegar el producto a la banda transportadora 1 de la rasper, este es traslado y entra a la rasper donde hace su respectiva función de corte por medio de sus cuchillas fijas y móviles, el resultado de dicha operación son pequeños trozos de llantas que pasan por medio de unas cribas de tamaño (1-3”) no uniforme que caen en la cinta de trasmisión 1 donde separa el acero del producto por medio de un selector magnético que se encuentra ubicado en la cinta trasmisión 1 de la rasper y finalmente sigue camino del proceso.

4.2.3.1 Motor.

- Medición corriente y voltaje en líneas de alimentación
- Revisión rodamientos y ventilador
- Verificación continuidad embobinado entre extremos y tierra
- Revisión rodamientos y ventilador

4.2.3.2 Reductor.

- Revisión y ajuste tornillos acople mecánico
- Revisión de acople mecánico
- Revisión y reposición nivel de aceite

4.2.3.3 Motor secundario.

- Medición corriente y voltaje en líneas de alimentación
- Revisión rodamientos y ventilador
- Verificación continuidad embobinado entre extremos y tierra
- Revisión rodamientos y ventilador

4.2.3.4 Reductor motor secundario.

- Revisión y ajuste tornillos acople mecánico
- Revisión y reposición nivel de aceite

4.2.3.5 Unidad hidráulica.

- Revisión y reposición nivel de aceite
- Verificación válvula multi direccional (solenoides y accionadores)
- Calibración de presión válvula de alivio y revisión electro válvula retorno

4.2.3.6 Motor unidad hidráulica.

- Medición corriente y voltaje en líneas de alimentación
- Revisión rodamientos y ventilador
- Verificación continuidad embobinado entre extremos y tierra
- Reemplazo Rodamientos y engrase

4.2.3.7 Bomba unidad hidráulica.

- Revisión empaques e integridad (variación de presión en el tiempo)
- Limpieza y pruebas de sentido de giro

4.2.3.8 Válvula temporizada sistema riego.

- Limpieza equipo, caja de conexionado y acople a tubería
- Medición de voltaje y verificación de impedancia de la acometida

4.2.3.9 Sistema de transmisión y cuchillas.

- Revisión cuchillas y ajuste tambor
- Revisión y reemplazo rodamientos sistema contra peso
- Ajuste tornillos chumaceras y placas media lunas
- Revisión integridad ejes y movimiento uniforme

4.3 ANÁLISIS FUNCIONAL, DETERMINACIÓN DE MODOS DE FALLA, EFECTOS DE FALLA Y CONSECUENCIA DE FALLA.

En esta sección se realizará un análisis funcional principal de cada uno de los 3 equipos críticos del proceso de reciclaje de llantas (Desgarrador 72-72, Satrind 1 y 2, Rasper), con lo cual, conoceremos sus características principales, condiciones operacionales y ambientales de trabajo, diagramas de frontera y su función primordial.

Posterior a este análisis, se realizará un cuadro RCM independiente para cada equipo en el que se verán los principales modos y efectos de falla, con lo que se podrá determinar si es o no, falla oculta y cuál es el componente analizado.

Cabe resaltar que una de las grandes ventajas que tiene el RCM es que puede ser alimentado constantemente para mejorar su aplicabilidad, estos cuadros son un parámetro de entrada en los cuales se tienen las fallas más comúnmente presentadas.

A continuación se presentará parte del estudio realizado para la unidad Desgarradora 72-72, para visualizar el estudio completo de ésta y las demás unidades, se pueden consultar los anexos A al G, respectivamente.

Tabla 2. Análisis funcional y definición de fronteras – Unidad desgarradora 72-72.
(Ver Anexos A, B, C y D)

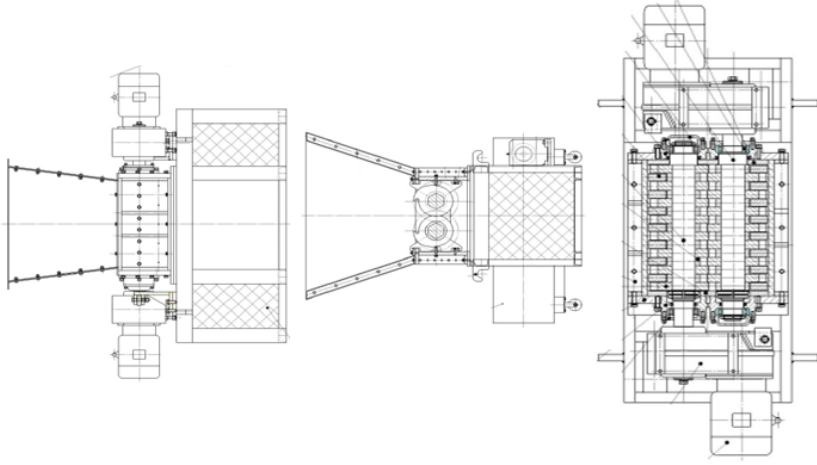
DEFINICIÓN DE FUNCIONES - UNIDAD DESGARRADORA 72-72 (REF. SHREDDER ECO-182)					
ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	CONDICIONES OPERACIONALES	CONDICIONES AMBIENTALES	FRONTERAS (PLANO-DIAGRAMA)	FUNCIONES
SISTEMA TRITURADOR INICIAL DEL CAUCHO DE LAS LLANTAS A SER RECICLADAS	<p>Desgarrador de doble eje Shredder ECO - 182 ECO Green Equipment.</p> <p>- Motores Eléctricos: Ref. GL6180 Pot. 55 KW c/u Marca: E3 Machinery</p> <p>- Capacidad de la tolva de alimentación: 2,5 m3</p> <p>- Dimensiones de la recámara de trituración (mm): 1800 x 1800.</p> <p>- Cantidad de ejes: 2</p> <p>- Velocidad de rotación de los ejes: 7,5 rpm.</p> <p>- Espesor de los discos de corte (mm): 75</p> <p>- Cantidad de discos de corte por eje: 24</p> <p>- Peso total (Kg): 25.000</p> <p>- Grado de protección del motor: IP44</p>	<p>Desgarrador de doble eje Shredder ECO - 182 ECO Green Equipment.</p> <p>- Q_sistema Eléctrico = 110 KW</p> <p>- Trabajo continuo 10h/día</p> <p>- Capacidad nominal: 12 Ton/h.</p> <p>- P_trab = Ambiente (Recinto cerrado)</p> <p>- Nivel de ruido = 81 dB (A)</p>	<p>Trabajo en condiciones ambientales controladas.</p> <p>- Altitud: Ambiente</p> <p>- Temperatura: 30°C.</p> <p>- Humedad= Dependende de la ubicación geográfica.</p> <p>- Presión ambiente (Sistema no presurizado).</p>		<p>a. Triturar el caucho de la llanta a reciclar llevándolo a un tamaño de entre 12" - 15".</p>

Tabla 3. Análisis RCM de la unidad desgarradora 72-72. Ver Anexos E, F y G.

CUADRO RCM - DESGARRADORA 72-72 ECO 182 PROCESO DE TRITURACIÓN PRIMARIO PARA RECICLAJE DE LLANTAS									
Código Función	Función	Cód. Falla Funcional	Descripción Falla Funcional	Cód. Modo de Falla	Modo de Falla	Descripción Efectos	Falla Oculta	Recurso Humano	Componente
A	Triturar el caucho de la llanta a reciclar llevándolo a un tamaño de entre 12" - 15".	a1	No realiza la trituración adecuada.	a1.1	El sistema moto-reductor no trabaja	Es evidente la falla; supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; hay daños físicos en el sistema moto-reductor; Fuga de aceite en los sellos del reductor; Verificación en 1h (\$ 6.000.000)	NO	Enc, mec, eléct, ayudante	Reductor
A	Triturar el caucho de la llanta a reciclar llevándolo a un tamaño de entre 12" - 15".	a1	No realiza la trituración adecuada.	a1.2	El sistema moto-reductor no trabaja	Es evidente la falla; no supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; puede haber daños físicos en el sistema moto-reductor; vibración excesiva del sistema moto-reductor; Verificación en 1h (\$ 10.000.000)	NO	Enc, mec, eléct, ayudante	Reductor
A	Triturar el caucho de la llanta a reciclar llevándolo a un tamaño de entre 12" - 15".	a1	No realiza la trituración adecuada.	a1.3	El sistema moto-reductor no trabaja	Es evidente la falla; si supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; puede haber daños físicos en el sistema moto-reductor; El sistema presenta un calentamiento excesivo; Verificación en 1h (\$ 10.000.000)	NO	Enc, mec, eléct, ayudante	Reductor

4.4 APLICACIÓN DEL DIAGRAMA DE DECISIÓN RCM PARA LA DETERMINACIÓN E TAREAS, FRECUENCIAS Y RECURSOS A APLICAR A CADA MODO DE FALLA.

Teniendo en cuenta la estructura RCM según John Moubray y posterior al primer análisis RCM realizado a los equipos críticos del sistema de reciclaje de llantas (desgarradora 72-72, Satrind y Rasper), pasaremos a la determinación de decisiones, tareas, frecuencias y recurso humano para poder tener un panorama más amplio y estructurar de la mejor manera nuestro cronograma y planeación de mantenimiento.

A continuación se presenta parte del diagrama de decisión RCM para la unidad Desgarradora 72-72, para visualizar el diagrama de decisión RCM de las demás unidades, se pueden consultar los anexos H al J, respectivamente.

Tabla 4. Diagrama de decisión RCM de la desgarradora 72-72. Ver Anexos H, I y J.

CUADRO RCM - DESGARRADORA 72-72 ECO 182 PROCESO DE TRITURACIÓN PRIMARIO PARA RECICLAJE DE LLANTAS									
Cód. Modo de Falla	Modo de Falla	Descripción Efectos	Falla Oculta	Valor ec (\$)	TIPO DE DECISION	DESCRIPCIÓN TAREA	Frecuencia	Recurso Humano	Componente
a1.1	El sistema moto-reductor no trabaja	Es evidente la falla; supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; hay daños físicos en el sistema moto-reductor; Fuga de aceite en los sellos del reductor; Verificación en 1h (\$ 6.000.000)	NO	6MM	Tarea de sustitución cíclica	Verificación/ cambio de sello de doble labio para el reductor.	15d	Enc, mec, eléct, ayudante	Reductor
a1.2	El sistema moto-reductor no trabaja	Es evidente la falla; no supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; puede haber daños físicos en el sistema moto-reductor; vibración excesiva del sistema moto-reductor; Verificación en 1h (\$ 10.000.000)	NO	10MM	Tarea de acondicionamiento cíclico	Verificación de la integridad de los engranajes y acoplamiento del sistema moto-reductor	1m	Enc, mec, eléct, ayudante	Reductor
a1.3	El sistema moto-reductor no trabaja	Es evidente la falla; si supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; puede haber daños físicos en el sistema moto-reductor; El sistema presenta un calentamiento excesivo; Verificación en 1h (\$ 10.000.000)	NO	10MM	Tarea de sustitución cíclica	Verificación de nivel de aceite en el reductor (llenar si hace falta y no mezclar aceites - recomendado N680)	15d	Enc, mec, eléct, ayudante	Reductor

4.5 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Posterior al análisis RCM y de toma de decisiones; se realiza una cuantificación de la criticidad y el riesgo de cada uno de los modos de falla, como parámetro se usará la siguiente matriz de riesgo, con la cual, tendremos la posibilidad de cuantificar los efectos humanos, ambientales, económicos y de imagen, que se podrían generar con cada uno de los anteriormente nombrados modos de falla.

Tabla 5. Matriz de riesgo.

RIESGOS				CONSECUENCIA	PROBABILIDAD						
HUMANAS	AMBIENTALES	COSTOS	IMAGEN		IMPOSIBLE	IMPROBABLE	REMOTO	OCASIONAL	MODERADO	FRECUENTE	
Más de un muerto	Efectos irreversibles	>100	Internacional	Catastrófico	5	5	10	15	20	25	30
Incapacidad permanente	Efectos irreversibles en menos de 2 años	ENTRE 100M - 10M	Nacional	Critico	4	4	8	12	16	20	24
Incapacidad temporal	Efectos reversibles en menos de 6 meses	ENTRE 10 M- 1M	Regional	Marginal	3	3	6	9	12	15	18
Lesiones	Efectos pueden ser controlados	ENTRE 1M-.05M	Local	Insignificante	2	2	4	6	8	10	12
Ninguna	No afecta el medio ambiente	<0.05M	Ninguno	Ninguno	1	1	2	3	4	5	6
						> 10 Años	< 10 Años	< 5 Años	< 2 Años	< 6 Meses	± 1 Mes
						A	B	C	D	E	F
						1	2	3	4	5	6

Tabla 6. Valoración de la criticidad.

ANÁLISIS DE CRITICIDAD		
CRITERIO	RANGO	IDENTIFICACIÓN
BAJA	1 24	
MEDIA	25 48	
ALTA	49 120	

La criticidad de cada componente está dada por la puntuación obtenida, teniendo tres criterios principales: Baja (1-24), Media (25-48) y alta (49-120).

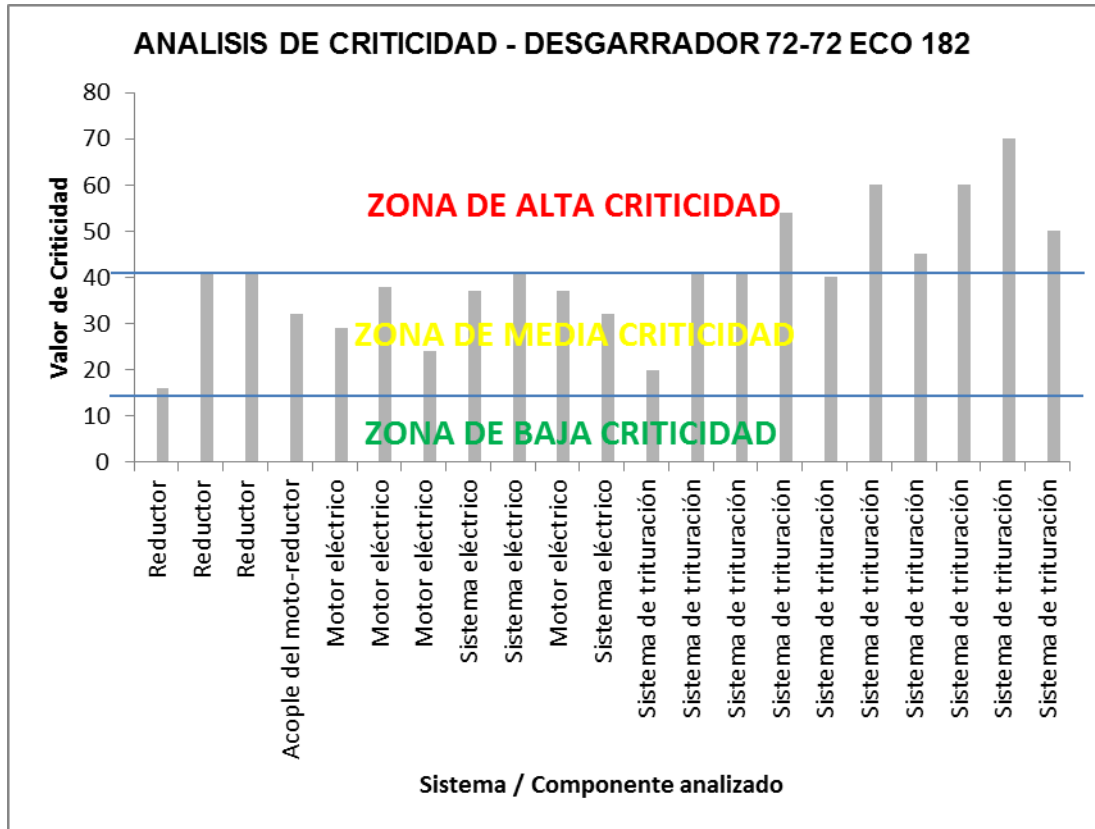
Con estos parámetros, empezamos a hacer los análisis de los tres equipos más críticos del proceso de reciclaje de las llantas de caucho.

4.5.1 Análisis de criticidad de la unidad desgarradora 72-72. La tabla 7 muestra una parte del análisis desarrollado para esta unidad; el análisis completo se puede visualizar en el Anexo K.

Tabla 7. Análisis de criticidad de la unidad desgarradora 72-72.

CUADRO RCM - DESGARRADORA 72-72 ECO 182 PROCESO DE TRITURACIÓN PRIMARIO PARA RECICLAJE DE LLANTAS												
Cód. Modo de Falla	Modo de Falla	Descripción Efectos	Riesgo Ambiental	Calificación R. A.	Riesgo Humano	Calificación R. H.	Riesgo Económico	Calificación R. E.	Riesgo de Imagen	Calificación R. I.	Total	DESCRIPCIÓN TAREA
a1.1	El sistema moto-reductor no trabaja	Es evidente la falla; supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; hay daños físicos en el sistema moto-reductor; Fuga de aceite en los sellos del reductor; Verificación en 1h (\$ 6.000.000)	F2	12	A2	2	A1	1	A1	1	16	Verificación / cambio de sello de doble labio para el reductor.
a1.2	El sistema moto-reductor no trabaja	Es evidente la falla; no supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; puede haber daños físicos en el sistema moto-reductor; vibración excesiva del sistema moto-reductor; Verificación en 1h (\$ 10.000.000)	F1	6	E2	10	E4	20	E1	5	41	Verificación de la integridad de los engranajes y acoplamiento del sistema moto-reductor

Figura 9. Resultado del análisis de criticidad de la unidad desgarradora 72-72.



El resultado del análisis de criticidad es contundente al arrojarnos que el sistema de trituración es el sistema más crítico de la planta trituradora / desgarradora 72-72.

Componentes críticos del sistema de trituración:

- Rodamientos
- Chumaceras
- Discos de corte
- Bujes espaciadores
- Pernos de anclaje

La tabla 8 muestra una parte del diagrama de decisión RCM de los componentes críticos de la unidad; el análisis completo se puede visualizar en el Anexo L.

Tabla 8. Diagrama de decisión RCM de los componentes críticos de la unidad desgarradora 72-72.

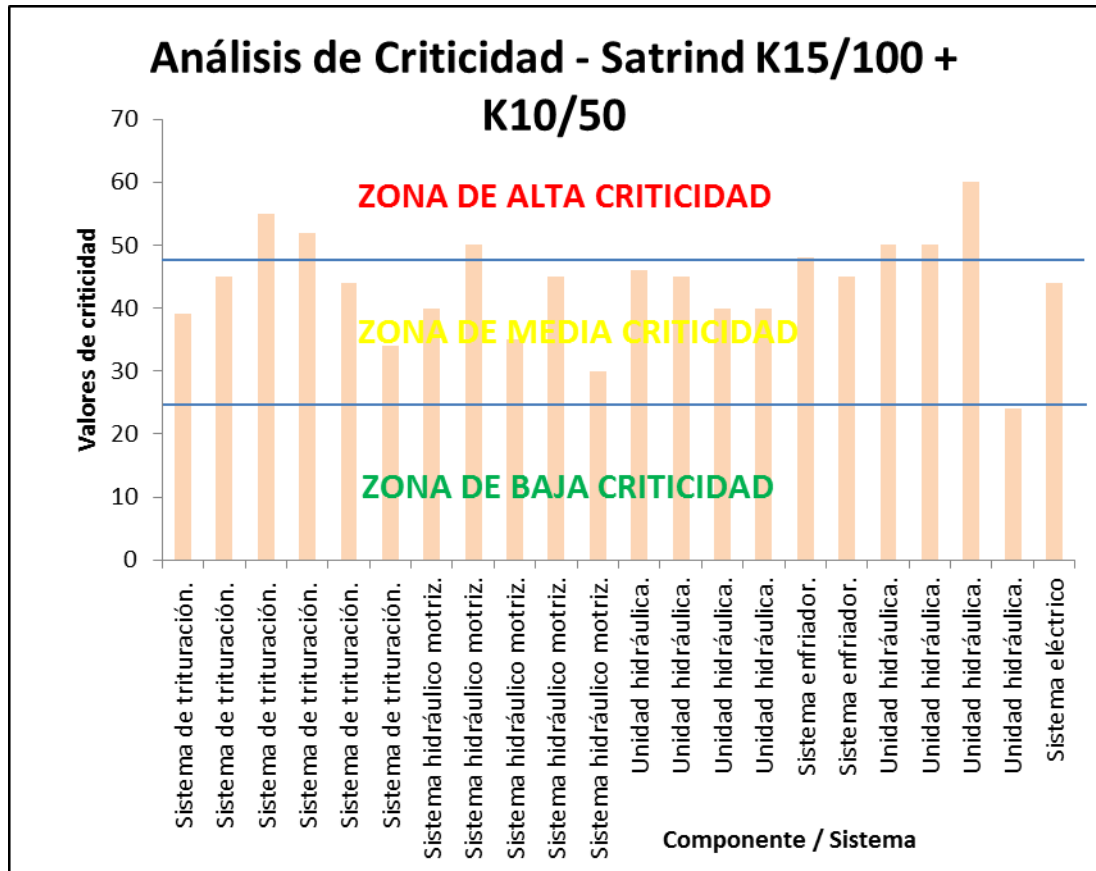
Cód. Modo de Falla	Modo de Falla	Descripción Efectos	Falla Oculta	Valor ec (\$)	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	Frecuencia	Recurso Humano	Componente
a1.15	El sistema de trituración no trabaja correctamente	No es evidente la falla; si supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción no perdida; puede haber daños físicos en la recámara y sistema de trituración; Presencia de vibración excesiva en los ejes del sistema de trituración; verificación en 4h (\$ 20.000.000)	SI	20MM	Tarea de sustitución cíclica	Revisión/Cambio inmediato de los rodamientos (prueba con estetoscopio) y la integridad de las chumaceras.	10d	Enc, mec, eléct, ayudante	Sistema de trituración

4.5.2 Análisis de criticidad de las unidades trituradoras Satrind K15/100 y K10/50. La tabla 9 muestra una parte del análisis desarrollado para esta unidad; el análisis completo se puede visualizar en el Anexo M.

Tabla 9. Análisis de criticidad de las unidades trituradoras Satrind K15/100 y K10/50.

ANÁLISIS DE CRITICIDAD - SATRIND K15/100 + K10/50												
Cód. Modo de Falla	Modo de Falla	Descripción Efectos	Riesgo Ambiental	Riesgo Humano	Riesgo Económico	Riesgo de Imagen	Total	DESCRIPCIÓN TAREA				
			Calificación R. A.	Calificación R. H.	Calificación R. E.	Calificación R. I.						
a1.1	El sistema triturador no trabaja adecuadamente.	Es evidente la falla; supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; puede haber daños físicos en el sistema de trituración; Fuga de grasa por los sellos de la chumacera; Verificación en 3h (\$ 5.000.000)	F2	A2	E3	E2	39	Verificar sistema de engrase de los rodamientos, si presenta problema, realizar cambio inmediato de sellos, si no, ajustar.				
a1.2	El sistema triturador no trabaja adecuadamente.	No es evidente la falla; supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; puede haber daños físicos en el sistema de trituración; vibración excesiva del sistema de soporte de los ejes de trituración; Verificación en 1h (\$ 10.000.000)	E1	E1	E5	E2	45	Realizar prueba del estetoscopio para conocer el estado de los rodamientos, revisar ajuste de los tornillos de sujeción. Durante la operación, se recomienda tomar registros termográficos.				
a1.3	El sistema triturador no trabaja adecuadamente.	Es evidente la falla; si supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; puede haber daños físicos en el sistema de trituración; El sistema de trituración presenta un calentamiento excesivo y ruido permanente en sus rodamientos; Verificación en 1h (\$ 10.000.000)	E1	E2	E5	E3	55	Cambio del conjunto rodamiento / chumacera o lo que se requiera.				

Figura 10. Resultados del análisis de criticidad de las unidades trituradoras Satrind K15/100 y K10/50.



En este caso, el análisis de criticidad arroja varios sistemas del equipo como críticos: Sistema de trituración, sistema hidráulico motriz, sistema enfriador y unidad hidráulica.

Componentes críticos del sistema de trituración:

- Rodamientos
- Chumaceras
- Eje
- Discos de corte
- Sistema de anclaje al chasis (pernos de anclaje)

Componentes críticos del sistema hidráulico motriz:

- Acoplamiento del moto – reductor
- Reductor
- Motor hidráulico
- Filtro de aceite del sistema

Componentes críticos del sistema enfriador:

- Termostato
- Conexión eléctrica del motor

Componentes críticos de la unidad hidráulica:

- Interruptor principal
- Breakers
- Termostatos (Interbloqueos)
- Presostatos (Interbloqueos)
- Válvula de alivio
- Mangueras de alta presión y conexiones
- Filtro de retorno

La tabla 10 muestra una parte del diagrama de decisión RCM de los componentes críticos de la unidad; el análisis completo se puede visualizar en el Anexo N.

Tabla 10. Diagrama de decisión RCM de los componentes críticos de las unidades trituradoras Satrind K15/100 y K10/50.

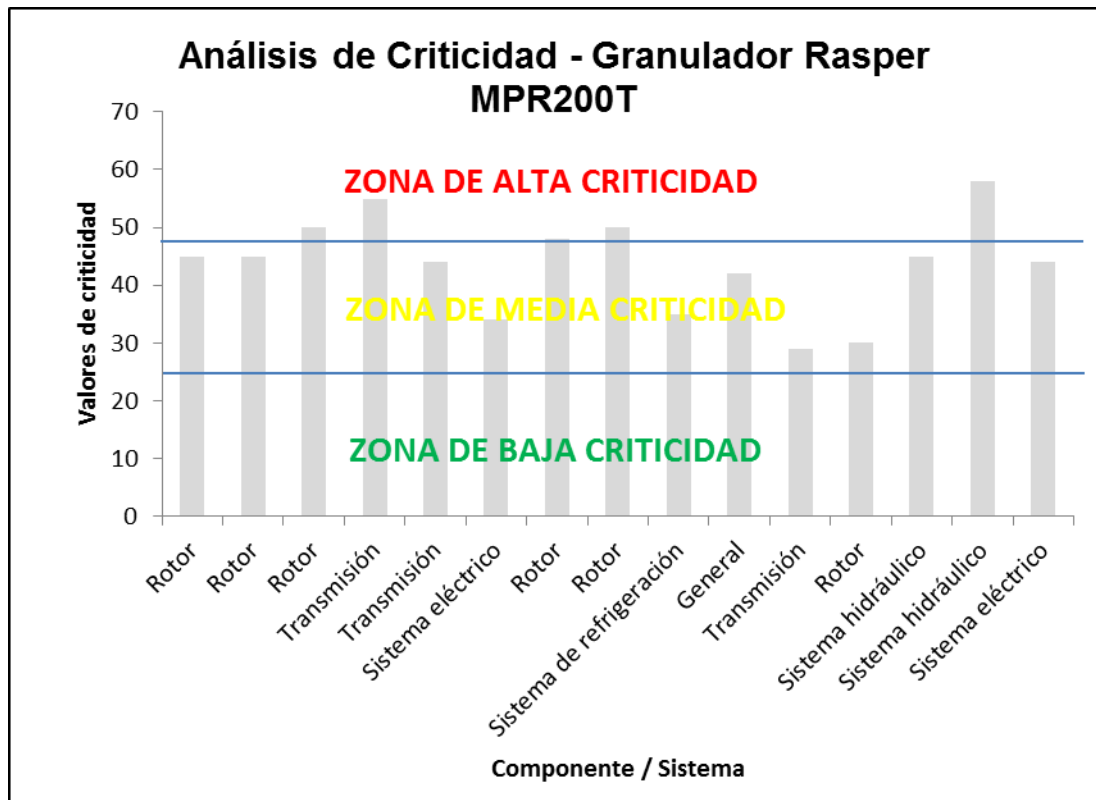
Cód. Modo de Falla	Modo de Falla	Descripción Efectos	Falla Oculta	Valor ec (\$)	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	Frecuencia	Recurso Humano	Componente
a1.3	El sistema triturador no trabaja adecuadamente.	Es evidente la falla; si supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; puede haber daños físicos en el sistema de trituración; El sistema de trituración presenta un calentamiento excesivo y ruido	NO	10MM	Tarea de sustitución cíclica	Cambio del conjunto rodamiento / chumacera o lo que se requiera.	12m	Enc, mec, eléct, ayudante	Sistema de trituración.

4.5.3 Análisis de criticidad de la unidad granuladora RASPER MPR200T. La tabla 11 muestra una parte del análisis desarrollado para esta unidad; el análisis completo se puede visualizar en el Anexo O.

Tabla 11. Análisis de criticidad de la unidad granuladora RASPER MPR200T.

ANÁLISIS DE CRITICIDAD - GRANULADOR RASPER MPR200T												
Cód. Modo de Falla	Modo de Falla	Descripción Efectos	Riesgo Ambiental	Calificación R. A.	Riesgo Humano	Calificación R. H.	Riesgo Económico	Calificación R. E.	Riesgo de Imagen	Calificación R. I.	Total	DESCRIPCION TAREA
a1.1	El sistema granulador no trabaja adecuadamente.	Es evidente la falla; supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; puede haber daños físicos en el sistema de granulación; Vibración excesiva en el rotor; Verificación en 3h (\$ 4.000.000)	E 1	5	E3	15	E3	15	E2	10	45	Verificación del ajuste de las cuchillas dinámicas y estáticas.
a1.2	El sistema granulador no trabaja adecuadamente.	Es evidente la falla; supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; puede haber daños físicos en el sistema de granulación; El material granulado presenta sobre tamaño y mal corte; Verificación en 3h (\$ 4.000.000)	E 1	5	E1	5	E5	25	E2	10	45	Verificación del desgaste y ajuste de las cuchillas (Dinámicas hasta 45mm espesor - estáticas hasta 30mm espesor)

Figura 11. Resultado del análisis de criticidad de la unidad granuladora RASPER MPR200T.



Los sistemas críticos arrojados por el análisis son: Rotor, transmisión y sistema hidráulico.

Componentes críticos del rotor:

- Clutch
- Chumaceras
- Rodamientos
- Eje
- Cuchillas fijas y móviles

Componentes críticos de la transmisión:

- Rodamientos del motor eléctrico
- Correa

Componentes críticos del sistema hidráulico:

- Mangueras de alta presión
- Cilindros accionadores

La tabla 12 muestra una parte del diagrama de decisión RCM de los componentes críticos de la unidad; el análisis completo se puede visualizar en el Anexo P.

Tabla 12. Diagrama de decisión RCM de los componentes críticos de la unidad granuladora RASPER MPR200T.

Cód. Modo de Falla	Modo de Falla	Descripción Efectos	Falla Oculta	Valor ec (\$)	TIPO DE DECISION	DESCRIPCION TAREA	Frecuencia	Recurso Humano	Componente / Sistema
a1.3	El sistema granulador no trabaja adecuadamente.	Es evidente la falla; supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; puede haber daños físicos en el sistema de granulación; El sistema motriz funciona pero el rotor no trabaja a las revoluciones normales; Verificación en 5h (\$ 8.000.000)	SI	8MM	Tarea de reacondicionamiento cíclico	Revisión del estado del clutch del rotor; ajuste de tomillería, revisión del resorte e integridad del revestimiento de fricción.	2m	Enc, mec, eléct, ayudante	Rotor

5. ESTANDARIZACIÓN METODOLÓGICA DE PLANTAS DE TRATAMIENTO Y RECICLAJE DE LLANTAS BASADO EN RCM

La forma que propicia un proceso de estandarización, se encuentra en la capacidad de aplicación de cada una de las pautas descritas por John Moubray para la implementación correcta de RCM, en cualquier elemento, equipo o sistema de una compañía. Por tanto la diferenciación de trabajo y aplicación de la anterior metodología descrita, en plantas de tratamiento y reciclaje de llantas, solo dependerá de la aplicación a detalle de lo que se desee realizar, la veracidad de la información recopilada, los históricos de fallos si los hay; pero sin ninguna duda esta robusta metodología se retroalimenta cuantas veces sea posible aumentando su efectividad.

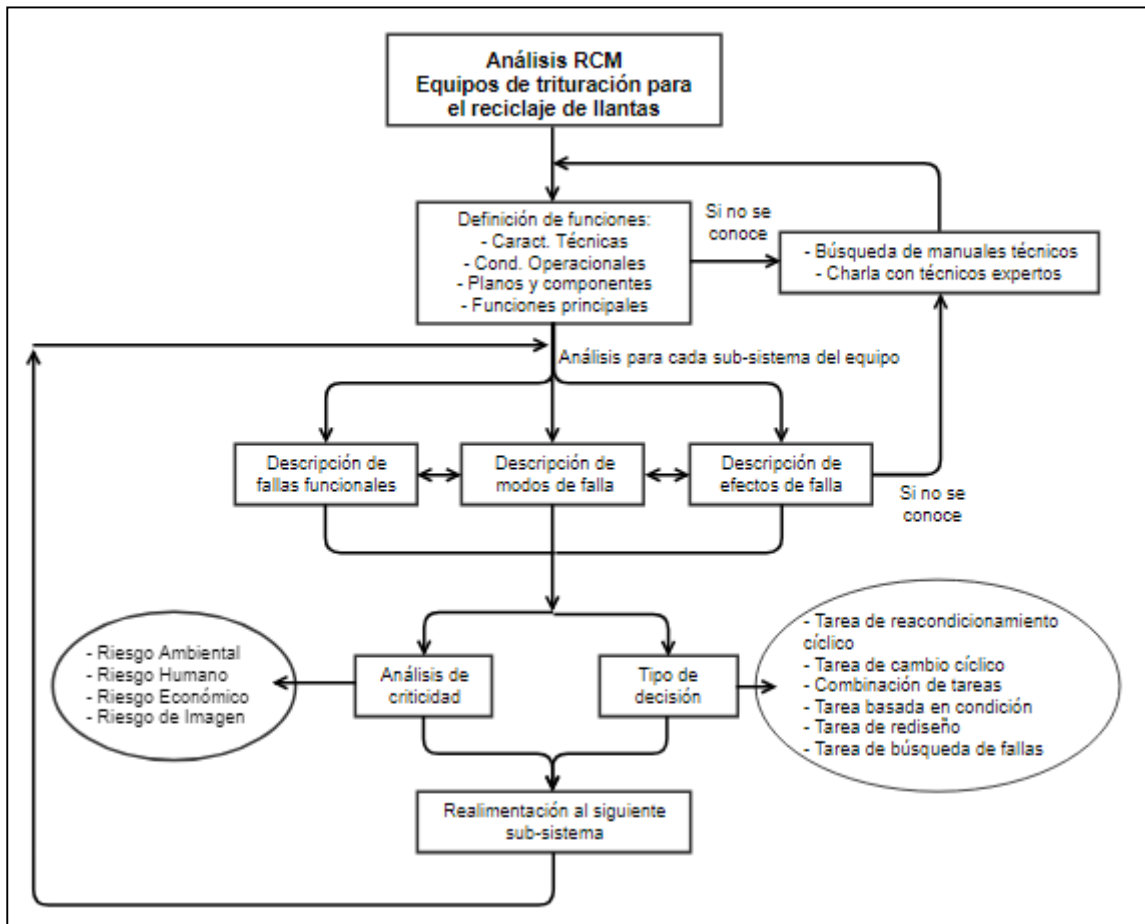
El elemento diferenciador en la búsqueda de un estándar, estará definido por la forma en que se desarrolle un modelo de pasos que puedan resumir su aplicación, tal y como se describe la figura 12.

El diagrama de flujo nos muestra una manera sencilla de cómo debe ser el análisis y la estructuración de nuestro plan de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) para los equipos críticos de las plantas de reciclaje de llantas en general.

Se observa un paso a paso para que todos los integrantes del grupo de mantenimiento puedan acceder a la alimentación del sistema de información que se tenga, facilitando las labores de programación de tareas y control de stocks.

En el primer nivel del diagrama, se observa que es requerido el material técnico del equipo, ya que este nos da todos los parámetros de funcionamiento bajo condiciones normales de operación, de no tener estos documentos, debemos acudir a algún experto que pueda brindarnos la información.

Figura 12. Análisis RCM Equipos de Trituración Plantas Reciclaje de Llantas.



En el segundo nivel, debemos estructurar nuestro RCM con información vital como lo es: fallas funcionales, modos de falla y efectos de falla; parte de esta información la brindan los fabricantes de los equipos, pero el grueso de ésta sección debe ser brindado por el grupo de mantenimiento, el cual está día a día lidiando con el equipo y conoce a fondo de sus componentes y problemas.

En el tercer nivel, se encuentra el análisis de criticidad de cada uno de los modos de falla, los cuales serán calificados de acuerdo a un cuadro de criticidad estandarizado, con el que cuantificaremos el nivel de riesgo de cada modo de falla

y podremos determinar la decisión de mantenimiento más acertada, la frecuencia y el recurso humano que la misma necesitará.

Finalmente, el cuarto nivel se continúa analizando los demás sub-sistemas de la planta y realimentando nuestro RCM.

6. CONCLUSIONES

Desarrollar un modelo gerencial de mantenimiento electromecánico basado en la metodología RCM, permite mejorar continuamente en cada uno de los procesos ya que puede ser alimentado constantemente.

Realizar un análisis de RCM para poder tomar una decisión y ejecutar la tarea de mantenimiento, requiere de información, hacer la taxonomía, definir funciones o delimitar fronteras de los equipos para empezar a realizar el análisis RCM.

Los equipos son unifuncionales, por esta razón se analizaron las características técnicas, condiciones de operación y condiciones ambientales, donde se delimitaron las fronteras y su función principal de cada equipo.

Al generarse una falla funcional, se debe realizar un análisis RCM, identificando los modos de fallas, sus efectos de falla en cada componente utilizando el recurso humano capacitado para corregir la falla funcional.

En los equipos más críticos de una planta de tratamiento de llantas, es necesario hacer un análisis de criticidad para conocer cuáles son los componentes de alta criticidad para poder tomar acciones de acuerdo al diagrama de decisión establecido por John Moubray y planear tareas de mantenimiento a los equipos.

La estandarización de la metodología de RCM en plantas de tratamiento y reciclaje de llantas, permite establecer pautas que van ligadas al sistema de gestión de calidad para una previa certificación de las empresas de tratamiento de llantas, incorporando una herramienta de gestión de la información como SAP.

BIBLIOGRAFÍA

BORRÁS PINILLA, Carlos. Memorias de clase de Principios de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. 2016. 160 p.

CAMARA DE COMERCIO DE BOGOTÁ, Guía para el manejo de llantas usadas. [En línea]. Bogotá: Editorial Kimpres Ltda, 2006. p. 21. [Consultado el: 14 de abril de 2017]. Disponible en: <http://bibliotecadigital.ccb.org.co/handle/11520/14583>.

CARDONA GÓMEZ, Laura y SÁNCHEZ MONTOYA, Luz. Aprovechamiento de llantas usadas para la fabricación de pisos decorativos. [En línea]. Monografía de Especialización en PML. Medellín: Universidad de Medellín, 2011. 79 p. [Consultado el: 23 de mayo de 2017]: Disponible en: <http://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/375>

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 23 de 1973, Por la cual se conceden facultades extraordinarias al Presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y protección al medio ambiente y se dictan otras disposiciones. [En línea]. Bogotá: El Congreso, 1973. 3 p. [Consultado el: 20 de mayo de 2017]. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/leyes/2a-ley_0023_1973.pdf

_____. Ley 1333 de 2009, Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones. [En línea]. Bogotá: El Congreso, 2009. 28 p. [Consultado el: 20 de mayo de 2017]. Disponible en:
[http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/file/LEY%201333 %20DE%202009.pdf](http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/file/LEY%201333%20DE%202009.pdf)

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 1457 de 2010, por la cual se establecen los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas y se adoptan otras disposiciones. [En línea]. Bogotá: El Ministerio, 2010. 9 p. [Consultado el: 20 de mayo de 2017]. Disponible en:
<http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/files/RESOLUCI%C3%93N%201457%20DE%202010.pdf>

CRESPO MÁRQUEZ, Adolfo. The maintenance management framework. Models and methods for complex systems maintenance. Londres: Springer London Ltd. 2007. 333 p. ISBN 978-1-84628-820-3.

DÍAZ NAVARRO, Juan. Técnicas de mantenimiento industrial. Algeciras, España: Calpe Institute of Technology, 2010. 318 p. ISBN 978-84-613-7747-3.

GÓMEZ LUGO, Néstor Rafael. Modelo de mantenimiento basado en RCM para las subestaciones portátiles 69 kV / 7,2 kV de la empresa carbones del cerrejón Ltd. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad

Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2012.

GUEVARA, Carlos. Cada día más de 2.050 llantas terminan invadiendo el espacio público. [En línea]. Bogotá: EL TIEMPO, 2015. [Consultado el: 23 de mayo de 2017]. Disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15317455>.

MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español. Leicester: Aladon Ltd, 2004. 443 p. ISBN 09539603-2-3.

RECICLAJE DE llantas usadas: la nueva economía ecológica. [En línea]. 15 p. [Consultado el: 24 de mayo de 2017]: Disponible en: http://www.vivoenitalia.com/wp-content/uploads/2009/05/reciclaje-de-llantas-usadas_la-nueva-economia-ecologica.pdf.

RODRÍGUEZ BARRERO, Ofer. Modelo gerencial de mantenimiento para flotas de transporte de cargas. [En línea]. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2006. 98 p. [Consultado el: 12 de abril de 2017]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2006/121728.pdf>

SANDOVÁL GUTIÉRREZ, María Gabriela y CASTRO MARTÍNEZ, Antony Michel. Plan de negocio de una empresa pulverizadora de caucho de llanta usada para la industria asfaltera en la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana. [En línea].

Trabajo de grado de Ingeniero Industrial. Bucaramanga: Universidad de Santander. Facultad de Ingenierías, Programa de Ingeniería Industrial. Bucaramanga, 2013. 186 p. [Consultado el: 13 de abril de 2017]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Antony_Castro_Martinez/publication/263162898

SUÁREZ, Ronny. El reciclaje de llantas, un mercado que todavía falta por explorar. [En línea]. Bogotá: EL TIEMPO, 2016. [Consultado el: 23 de mayo de 2017]. Disponible en: <http://www.eltiempo.com/vida/ciencia/reciclaje-de-llantas-en-colombia-52722>.

SUH, N. P.; BELL, A. C. y GOSSARD D. C. On an Axiomatic Approach to Manufacturing and Manufacturing Systems. *ASME. Journal for Engineering for Industry*. 1978, vol. 100, nro. 2. pp. 127 – 130.