

DISEÑO DE UN MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO RCM EN EL
CENTRO DE DIAGNÓSTICO AUTOMOTOR VILLA DEL ROSARIO

ANDRÉS LEONARDO QUINTERO NIÑO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2015

DISEÑO DE UN MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO RCM EN EL
CENTRO DE DIAGNÓSTICO AUTOMOTOR VILLA DEL ROSARIO

ANDRÉS LEONARDO QUINTERO NIÑO

Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de especialista
en gerencia de mantenimiento

Director

Carlos Mario Tamayo Domínguez

Ing Mecánico.

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

2015

DEDICATORIA

A Dios que nos da la vida y la sabiduría.

A mi novia Lizeth Pérez por su compañía y apoyo en todo el desarrollo de este proyecto fue invaluable y fundamental para su realización.

A nuestros familiares y amigos.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

Al Ingeniero Carlos Mario Tamayo Domínguez por el compromiso y dirección de esta monografía.

A Familiares y amigos que con su apoyo ayudaron a la realización de este proyecto.

CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN	14
1. CONTEXTUALIZACIÓN	15
1.1 ¿QUÉ ES UN CENTRO DE DIAGNÓSTICO AUTOMOTOR C.D.A?	15
1.2 UBICACIÓN DE LA EMPRESA	15
1.3 CENTRO DE DIAGNÓSTICO AUTOMOTOR VILLA DEL ROSARIO	15
1.4 EQUIPOS EMPLEADOS PARA LAS PRUEBAS DE INSPECCION.....	16
1.4.1 Pista Motos.	16
1.4.2 Pista Mixta.	16
1.5 DESCRIPCIÓN	16
1.5.1 Analizador de Gases.....	16
1.5.2 Frenometro Mixto.....	17
1.5.3 Opacímetro	18
1.5.4 Sonometro.	18
1.5.5 Alineado al paso.	19
1.5.6 probador de suspensión.....	19
1.5.7 Probador de taxímetro.	20
1.5.8 Alineador de luces.	21
1.5.9 Detector de holguras.....	21
1.6 MISION	22
1.7 VISION.....	22
1.8 LINEAS DE PRODUCCIÓN.....	23
1.9 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	23
2. MARCO TEÓRICO	24
2.1 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO.....	24
2.1.1 Primera generación.....	24
2.1.2 Segunda generación.....	25
2.1.3 Tercera generación.	25
2.1.4 Nuevas expectativas del mantenimiento.....	26
2.2 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM).....	27
2.2.1 Objetivos que persigue el RCM.	29

2.2.2 Las Siete Preguntas Básicas del RCM	30
2.2.2.1 ¿Cuáles son las funciones del equipo o del sistema?	31
2.2.2.2 ¿De qué forma puede fallar?	31
2.2.2.3 ¿Qué puede causar que falle?	31
2.2.2.4 ¿Qué efectos tienen los fallos?.....	31
2.2.2.5 ¿Qué se puede hacer para prevenir los fallos?	32
2.2.2.6 ¿Es rentable prevenir dicho fallos?	32
2.2.2.7 ¿Qué se debe hacer si no se puede prevenir el fallo?	32
2.3 ÁRBOL LÓGICO DE DECISIONES DEL RCM.....	32
2.3.1 Tareas Proactivas (preventivas)	32
2.3.2 Acciones a falta.....	33
2.4 FMECA	36
2.4.1 Las etapas de desarrollo del procedimiento FMECA son:	36
2.5 METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD.....	38
2.5.1 Modelo de criticidad de factores ponderados basado en el concepto del riesgo.	39
2.6 GESTION DE ACTIVOS	41
2.6.1 PAS 55.....	42
2.6.2 ISO 55000.	42
2.7 INDICADORES DE GESTION DE MANTENIMIENTO	43
2.7.1 Tasa de falla (λ).	44
2.7.2 Tiempo inactivo por mantenimiento (Mdt).....	44
2.7.3 Tiempo medio inactivo (MDT).	44
2.7.4 Tiempo medio entre fallas (MTBF).....	44
2.7.5 Tiempo Promedio Para Reparar (MTTR).	44
2.7.6 Tiempo promedio para mantener (MTTM). Es el tiempo promedio que toma mantener un componente, incluyendo los tiempos de logística.	44
2.7.7 Confiabilidad	45
2.7.8 Mantenibilidad.....	45
2.7.9 Disponibilidad. E	46
3. RECOPIACION DE INFORMACION	48
3.1 ESTADO DE MANTENIMIENTO	48
3.1.1 Elaboración del modelo de auditoria.....	48

3.1.2 Ponderacion y estado de la gestion de mantenimiento en CDA Villa del Rosario S.A.S.	49
3.1.3 Acciones correctivas formularas como resultado de la Auditoria de mantenimiento	53
3.2 CRITICIDAD DE EQUIPOS CDA VILLA DEL ROSARIO	55
3.2.1 Desarrollo del análisis de criticidad.....	57
3.2.2.1 Frecuencia de falla (HZ falla).....	58
3.2.2.2 Impacto operacional (Imp-ope).....	58
3.2.2.3 Flexibilidad operacional (Flex-opez).....	58
3.2.2.4 Costo de mantenimiento (Costo mtt).....	59
3.2.2.5 Impacto en seguridad ambiente higiene (SAH).....	59
3.2.2.6 Equipos con clacificacion critica.....	62
4. RESULTADOS.....	63
4.1 APLICACIÓN DE FMECA.....	63
4.1.1 Analizador de gases ciclo otto	64
4.1.2 Opacimetro	70
4.1.3 Probador de Suspensión.....	75
4.1.4 Frenometro	78
4.2 MODELO DE MANTENIMIENTO PROPUESTO	83
5. KPI UTIL PARA GESTION DE MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA CENTRO DE DIAGNOSTICO AUTOMOTOR VILLA DEL ROSARIO S.AS	91
6. CONCLUSIONES.....	94
BIBLIOGRAFÍA.....	95

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Resultados de auditoria	50
Tabla 2. Inventario de equipos codificados.....	56
Tabla 3. Resultados factores ponderados	59
Tabla 4. Resultados del análisis de criticidad	61
Tabla 5. Equipos criticos	63
Tabla 6. Femeca analizador de gases.....	67
Tabla 6. Femeca opacimetro	73
Tabla 7. Femeca Probador de suspension	77
Tabla 8. Femeca Frenometro.....	81
Tabla 9. Modelo de mantenimiento propuesto para Frenometro	83
Tabla 10 Modelo de mantenimiento propuesto para probador de suspension	85
Tabla 11. Modelo de mantenimiento propuesto para Opacidad.	86
Tabla 12. Modelo de mantenimiento propuesto para Analizador de gases.	87
Tabla 13. Disponibilidad pista de motos	92
Tabla 14. Disponibilidad pista de mixta.....	93

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Analizador de gases Marca Motorscan 8060	17
Figura 2. Frenometro Marca Vamag	18
Figura 3. Frenometro Marca Vamag	18
Figura 4. Sonometro Marca PCE-GROUP	19
Figura 5. Alineador al paso liviano Marca Indutesa	19
Figura 6. Probador de suspension Marca Motorscan	20
Figura 7. Probador de taximetro Marca Indutesa	20
Figura 8. Luxometro Marca Gamar	21
Figura 9. Probador de juegos mecánicos Marca Vamag-tecol	22
Figura 10. Evolución del mantenimiento	26
Figura 11. Tareas de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)	29
Figura 12. Árbol de Decisión del Proceso de RCM	35
Figura 13. Gráfica resultados de auditoria	51
Figura 14 . Gráfica radar resultados de auditoria	52
Figura 15. Fronteras ó diagrama del proceso analizador de gases	65
Figura 16. Fronteras ó diagrama Del proceso opacimetro	72
Figura 17. Fronteras ó diagrama Del proceso probador de suspension	76
Figura 18. Fronteras ó diagrama Del proceso frenometro	80

RESUMEN

TITULO: DISEÑO DE UN MODELO DE GESTION DE MANTENIMIENTO RCM EN EL CENTRO DE DIAGNOSTICO AUTOMOTOR VILLA DEL ROSARIO *

AUTOR: ANDRES LEONARDO QUINTERO NIÑO **

Palabras Claves: Analizador de gases, RCM, Confiabilidad, Mantenimineto.

Esta monografía muestra el desarrollo de un modelo de mantenimiento basado en RCM para los equipos clasificados como críticos en la empresa Centro de Diagnóstico Automotor Villa del Rosario S.A.S realizado como apoyo a la gestión de mantenimiento con el fin de minimizar los impactos en la producción causados por las paradas no programada de los equipos críticos, y como punto de partida para abordar hacia las tendencias de mantenimiento desarrolladas en la actualidad, que plantean modelos de gestión conforme a la función operacional, específica de cada equipo. Características que cumple el mantenimiento centrado en confiabilidad. Este desarrollo está basado en información recopilada de las hojas de vida de los equipos, de las bitácoras de fallas, de los informes de las compras efectuadas por conceptos de mantenimiento tanto preventivos como correctivo y de las experiencias del personal que opera día a día los equipos.

El Soporte inicial de la monografía se basó en un estudio del estado actual de la gestión de mantenimiento en la empresa conforme al estándar PAS 55, seguido una clasificación de los equipos según nivel de criticidad, los cuales se tomaron los equipos más críticos para continuar en cada una de las etapas de la aplicación de la metodología, principalmente durante la identificación de los modos de falla y efectos de los mismos.

Una vez desarrollado esto, se aplicó la metodología RCM, a través del diagrama de decisión que brinda una herramienta que permite de una forma estructurada, establecer las actividades necesarias para preservar la función del activo, y de esta forma, a través de RCM se logra optimizar las actividades de mantenimiento, eliminando de las rutinas aquellas tareas que no generan valor agregado.

* Monografía de Especializacion

**Facultad de ingenierias fisico-mecanicas. Especializcion en Gerencia de Mantenimiento, Director Ing Mecanico. Carlos Mario Tamayo Domínguez.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN OF A MODEL RCM MAINTENANCE MANAGEMENT IN AUTOMOTIVE
DIAGNOSTIC CENTER VILLA DEL ROSARIO *

AUTHOR: ANDRES LEONARDO QUINTERO NIÑO **

Keywords: gas analyzer, RCM, Reliability, mantenimiento.

This paper shows the development of a model RCM based maintenance for equipment classified as critical in the enterprise Automotive Diagnostic Center Villa del Rosario apollo SAS performed as a maintenance management in order to minimize impacts on production caused by unscheduled downtime of critical equipment, and as a starting point towards addressing maintenance trends developed at present, models posed under the operational management, specific function of each team. Features that meets the reliability centered maintenance. This development is based on information collected from the resumes of the teams, fault logs, reports purchases by concepts of preventive and corrective maintenance and staff experiences day to day operating equipment .

The initial stand monograph vessel in a study of the current status of maintenance management in the company according to the standard PAS 55, followed a classification equipment according to criticality, which the most critical equipment were taken to continue each of the stages of the implementation of the methodology, primarily for the identification of failure modes and effects thereof.

Once developed this, the RCM methodology was applied through the decision chart that provides a tool that allows a structured way, the measures necessary to maintain the role of active activities, and thus, through RCM is achieved optimize maintenance activities, eliminating routine tasks that do not generate value added.

* Monograph of Specialization

Faculty ** physicomechanical engineerings. Especializcion in Management
Maintenance Manager Mechanical Eng. Carlos Mario Tamayo Dominguez.

INTRODUCCIÓN

El proceso de revisión técnico mecánica y emisiones contaminantes depende principalmente de la confiabilidad de las intervenciones de los equipos dispuestos en cada uno de los pasos del proceso de revisión, razón por la cual, la disponibilidad y confiabilidad de los equipos en el servicio prestado son de vital importancia para el cumplimiento de los objetivos y políticas de la empresa.

Los equipos de medición son piezas importantes en el proceso de revisión, puesto que estos son encargados de diagnosticar y de servir de apoyo para determinar el estado técnico mecánico de los vehículos, cualquier falla en estos equipos afectará directamente el proceso de inspección ante esto, surge la necesidad de implementar un modelo de mantenimiento que se adapte a la función que realizan los equipos dentro del proceso y que permita reducir los tiempos de mantenimiento a la vez de garantizar la efectividad del mismo.

Mantenimiento centrado en Confiabilidad proporciona ese marco estratégico en el cual se pueden desarrollar los planes de mantenimiento de cualquier activo, demostrando ampliamente que la adopción de esta metodología trae beneficios en los costos de implementación, calidad de las intervenciones, aumento de la disponibilidad y confiabilidad, además de favorecer el conocimiento específico de los equipos, aprovechando la experiencia y conocimiento de grupos interdisciplinarios de trabajo.

Esta monografía muestra el desarrollo de un plan piloto de mantenimiento basado en RCM, para los equipos de medición empleados para la revisión técnico mecánica en la empresa CENTRO DE DIAGNOSTICO AUTOMOTOR VILLA DEL ROSARIO S.A.S.

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1 ¿QUÉ ES UN CENTRO DE DIAGNÓSTICO AUTOMOTOR C.D.A?

Los Centros de Diagnóstico Automotor (CDA), son empresas destinadas a prestar el servicio de revisión técnico-mecánica teniendo como función primordial evitar y/o disminuir la accidentalidad en las vías mediante la detección preventiva de fallas mecánicas en los vehículos automotores y la contaminación del medio ambiente mediante el análisis de su emisión de gases.

El Centro de Diagnóstico Automotor Villa del Rosario S.A.S cuenta con una planta de personal compuesta por 12 empleados, entre los que se encuentran el Gerente, Administrador, Director Técnico, Auxiliares Administrativas e Inspectores de Línea.

1.2 UBICACIÓN DE LA EMPRESA

El Centro de Diagnóstico Automotor Villa del Rosario S.A.S, se encuentra ubicado en el Km 1. 5 Anillo Vial Oriental, Sector Sabana de los Trapiches, en municipio de villa del rosario en el departamento de Norte de Santander y se caracteriza por la rapidez, confiabilidad del servicio y una excelente atención al cliente, además cuenta con amplias y modernas instalaciones para la prestación del servicio de revisión técnico mecánica.

1.3 CENTRO DE DIAGNÓSTICO AUTOMOTOR VILLA DEL ROSARIO

Está habilitado como un centro de diagnóstico automotor Clase D, por el ministerio de transporte el cual nos permite realizar la revisión técnico mecánica y de gases a una amplia gama del parque automotor dispuesto en la región como lo son vehículos pesados, livianos y motocicletas. Cuenta con equipos especializados para la realización de las inspecciones técnicas mediante dos líneas de

inspección 1(una) líneas de revisión mixta y 1(una) línea de revisión para motocicletas las cuáles tienen una capacidad de atención para 2 (dos) vehículos pesados, 8 (ocho) vehículos livianos así como también 9 (nueve) motocicletas por hora.

El proceso de revisión técnico mecánica se lleva a cabo por medio de un proceso en serie en donde el producto final es un informe de resultados y un certificado en caso que de aprobara en conformidad a la normatividad vigente aplicable para el caso, la revisión técnico mecánica emplea en sus procedimientos diferentes tipos de maquinas, el cual son la encargadas de registra, medir y apoyar en el proceso de inspección.

1.4 EQUIPOS EMPLEADOS PARA LAS PRUEBAS DE INSPECCION

1.4.1 Pista Motos. Sonómetro, Camara, Bomba Elevador de Motos, Elevador de Motos, Bloqueador neumático fabricado, Bloqueador neumático 22, Bloqueador neumático 23, Alineador de Luces, Frenometro, Analizador de gases, Camara 2.

1.4.2 Pista Mixta. Cámara 1, Sonómetro, Detector de Holguras, Analizador de Gases, Capelec 1,2,3, Opacímetro, Alineador al paso pesado, Freno metro, Cámara 2, Alineador al Paso Liviano, Probador de Suspensión, Probador de Taxímetro, Alineador de Luces, Termo higrómetro, Compresor de aire puli, Captadores rpm capelec.

1.5 DESCRIPCIÓN

1.5.1 Analizador de Gases. Es un equipo que mide la concentración de los valores de CO, CO₂, HC, O₂. Contenidos en los gases de escape de un motor de ciclo OTTO.

Mediante un rayo de luz infrarrojo alcanza una muestra de gas, algunos lo atraviesan, otros son en parte absorbidos. Se miden las concentraciones de CO, CO₂ Y HC.

A mayor concentración del gas también es mayor la absorción de luz y por lo tanto el calentamiento de la muestra.

El analizador de gases mide este calentamiento con la ayuda de micro sensores de flujo.

Figura 1. Analizador de gases Marca Motorscan 8060



Fuente: Quintero, A. 2014

1.5.2 Freno metro Mixto. Este equipo mide las fuerzas de frenado y mide el peso de vehículos y camiones, mediante una prueba que consiste en poner a andar los rodillos mediante unos motores trifásicos y en determinado tiempo se debe frenar el vehículo en prueba hasta el fondo y de forma progresiva.

Cuando los neumáticos derrapan sobre los rodillos, que a su vez tiene una superficie rugosa con el fin que esta fuerza con que frena el vehículo sea transmitido hasta unas celdas de torsión que son los sensores de fuerza.

Figura 2. Freno metro Marca Vamag



Fuente: Quintero, A. 2014

1.5.3 Opacímetro. Este es un equipo que mide el nivel de opacidad que posee una muestra de gas dentro en la LTOE que es la longitud de trayectoria óptica efectiva, mediante una luz que es lanzada desde un emisor hacia un receptor y calculando en porcentaje la diferencia de luz que fue recibida contra la cantidad de luz que fue enviada.

Figura 3. Freno metro Marca Vamag



Fuente: Quintero, A. 2014

1.5.4 Sonómetro. Es un instrumento de medida que sirve para medir niveles de presión sonora. En concreto, el sonómetro mide el nivel de ruido que existe en determinado lugar y en un momento dado.

Figura 4. Sonómetro Marca PCE-GROUP



Fuente: Quintero, A. 2014

1.5.5 Alineado al paso. Es un instrumento para medir la desviación lateral en los vehículos, mediante una prueba que consiste en pasar un vehículo en línea recta sobre una plataforma que se desvía conforme se desvía el vehículo, y mediante una resistencia lineal se registra el desplazamiento sobre el eje X que ha tenido el vehículo mientras el rueda en el eje Y.

Figura 5. Alineador al paso liviano Marca Indutesa



Fuente: Quintero, A. 2014

1.5.6 probador de suspensión. Es un equipo que mide la adherencia de los vehículos que es la eficiencia con que los vehículos disipan la fuerza producida por las irregularidades del camino y el peso del vehículo.

Mediante unas celdas de fuerzas que capturan las diferentes presiones que ejercen los neumáticas contra una plataforma que oscila en un movimiento

ascendente y descendente producido por una biela accionado por un motor trifásico.

Figura 6. Probador de suspensión Marca Motorscan



Fuente: Quintero, A. 2014

1.5.7 Probador de taxímetro. Es un equipo que mide la distancia recorrida por un vehículo especialmente taxi y el tiempo para ser confrontada con el taxímetro que es el dispositivo que mide estas mismas variables en el taxi para determinar si está o no desajustado.

Mediante rodillos en donde están dispuestos unos sensores encoder y calcular la cantidad de vueltas que ha recorrido los rodillos e indirectamente poder calcular la distancia lineal recorrida por el taxi previamente conocido el diámetro de las llantas y el diámetro de los rodillos.

Figura 7. Probador de taxímetro Marca Indutesa



Fuente: Quintero, A. 2014

1.5.8 Alineador de luces. Es un instrumentos que mide las intensidad e inclinación de las luces de la farolas de los vehículos en pruebas, mediante una cámara de video que se posiciona frente a la farola y por medio de un software de reconocimiento de imágenes calcula la intensidad e inclinación de la luces del vehículo.

Figura 8. Luxómetro Marca Gamar

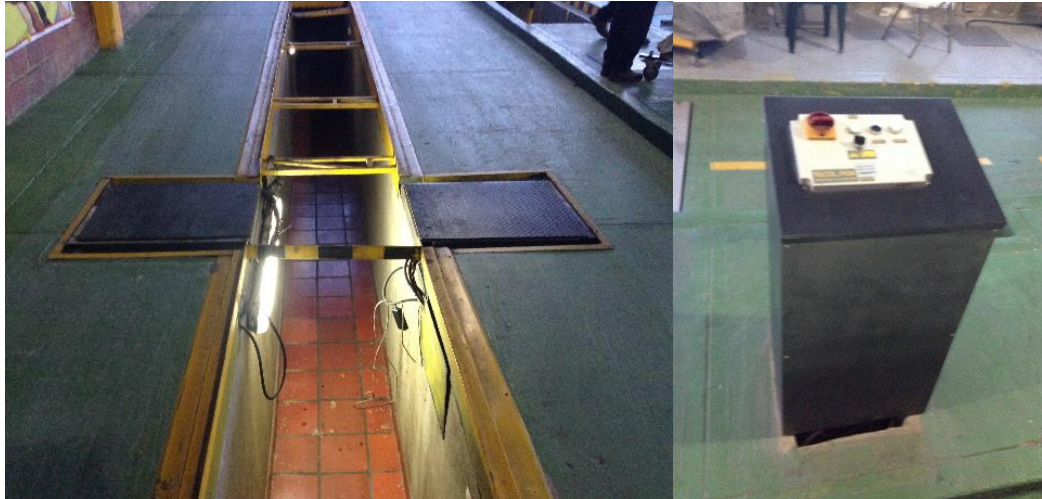


Fuente: Quintero, A. 2014

1.5.9 Detector de holguras. Es una herramienta de apoyo para la revisión técnico mecánica que consiste en placas metálicas posicionadas horizontalmente accionadas mediante pistones neumáticos que las mueven en sentido $y -y$, $x -x$ con el fin de poder detectar fisuras o desgaste en los elementos de la dirección y chasis de los vehículos en pruebas.

Mediante el posicionamiento de las llantas del vehículo encima de las plataformas móviles con el fin hacer movimiento hacia a fuera y contrario en cada una de las llanta y movimiento hacia adelante.

Figura 9. Probador de juegos mecánicos Marca Vamag-tecol



Fuente: Quintero, A. 2014

1.6 MISION

Contribuir como centro de diagnostico automotor al cumplimineto de las normas de transito y ambientales en el pais mediante la prestacion del servicio y expedicion del certificado de revision tecnico mecanica y de emisiones contaminantes a vehiculos livianos, pesados y motocicletas.

1.7 VISION

En el 2016 convertirnos en el mejor Centro de Diagnostico Automotor en la region, en la prestacion del servicio y expedicion deel certificado de revision tecnico mecanica y de Emisiones Contaminantes a vehiculos pesados, livianos y motocicletass diferenciandonos de la competencia por la rapidex y confiabilidad de nuestro servicio y una excelente atencion al cliente.

1.8 LINEAS DE PRODUCCIÓN

El Centro de Diagnóstico Automotor esta habilitado como centro de clase D, con dos lineas de inspeccion, una linea de inspeccion mixta para vehiculos livianos y pesados, y una linea de inspeccion para motocicletas en las cuales cuenta con un total de ocho estaciones de trabajo y en cada estacion cuenta con equipo especializado para realizar las inpecciones.

1.9 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para ser congruentes con los compromisos con la calidad y la mejora continua surge el problema de ejercer control, supervición a los indicadores de manteniemento, ejercer control sobre los costos de mantenimiento y ante todo lograr unos equipos que pueden prestar un servicio oportuno y confiable cuando se requiera.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO

Durante los pasados 20 años, el mantenimiento cambio, quizás mucho más que cualquier otra disciplina de gerenciamiento. El cambio se debe a un enorme incremento en el número y variedad de bienes. El cambio se debe a un enorme incremento en el número y variedad de vienes físicos (plantas, equipos, edificios) que deben ser mantenidos alrededor del mundo, diseños muchos ms complejos, nuevas técnicas de mantenimientos, y cambiante ideología con respectos a la organización y responsabilidades del mantenimiento.

Estos cambios están poniendo al máximo actitudes y capacidades en todas las ramas de la industria. El personar se ve obligado a adoptar un nuevo modo de pensar y actuar, como ingenieros y como gerentes. Al mismo tiempo las limitaciones de los sistemas de mantenimiento se están haciendo más evidentes, no importa cuán computarizados estén.

Esta visión del mantenimiento representa un avance significativo de lo que debe ser el objetivo del mantenimiento. John Moubray, en su libro Mantenimiento centrado en confiabilidad, distingue un camino de tres generaciones de mantenimiento al observar cuales eran las prácticas utilizadas en cada época.¹

2.1.1 Primera generación. La primera generación cubre el período hasta la segunda guerra mundial. En esa época la industria no era altamente mecanizada, de modo que los tiempos de inactividad no tenían demasiada importancia. Esto significa que la prevención de fallas en equipos no era una prioridad en la mente de la mayoría de los gerentes. Al mismo tiempo la mayoría de los equipos eran y muy bien diseñados esto los hacia confiables y fáciles de reparar.

¹ Moubray, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. México: Aladon, 2004. p.6

Como consecuencia, no había necesidad de mantenimiento sistemático de ningún tipo, más allá que la limpieza, control y lubricación de rutina. La necesidad de habilidades específicas era inclusive menor de los que es ahora.

2.1.2 Segunda generación. Durante la segunda guerra mundial, se vio disminuida la fuerza laboral, por lo que se aumentó abruptamente la mecanización. Ya durante los años 50's había aumentado la cantidad y complejidad de todo tipo de máquinas y la industria cada día dependía más de ellas.

Al depender tan directamente la producción de las máquinas, se empezó a prestar importancia en los tiempo que las máquinas no trabajaban, lo que llevó a la idea que se debía actuar preventivamente ante las fallas, dando lugar al concepto del mantenimiento preventivo, que en un principio consistía principalmente en reparaciones mayores y cambio de componentes a intervalos definidos. La edad de un dispositivo y la probabilidad de falla se pensaba estaban estrechamente relacionadas.

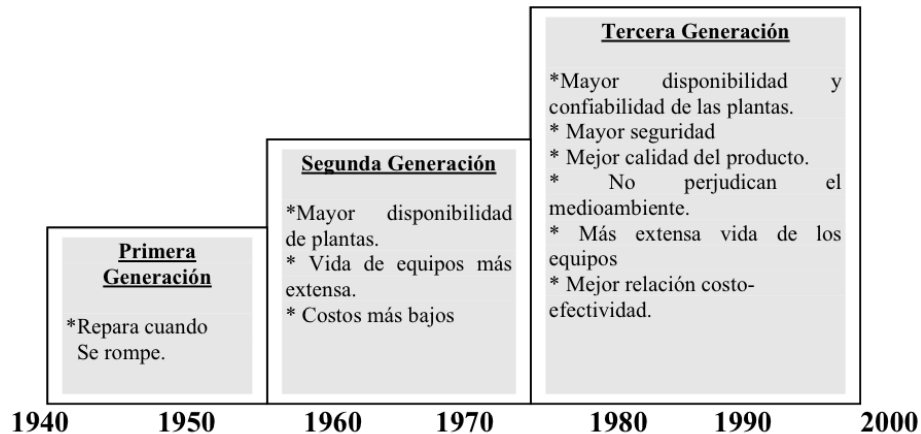
Este tipo de acciones llevaron a incrementar excesivamente los costos de mantenimiento dando lugar al desarrollo de los sistemas de planeación y control que ayudaron a controlarlo y han sido establecidos como una parte del mismo.

Finalmente la cantidad de capital invertido en bienes físicos y los costos crecientes, llevo a que los propietarios buscaran el modo de maximizar la vida de esos bienes.

2.1.3 Tercera generación. En las décadas de los sesentas y setentas se volvió mucho más prioritario los impactos a la producción por tiempos de parada de las máquinas, agravados por la tendencia mundial a sistemas de producción "Just in time", en donde una pequeña falla de cualquier equipo probablemente podría

causar la parada de toda la planta. Las expectativas del usuario subieron y el mantenimiento debió evolucionar para cumplirlas.²”

Figura 10. Evolución del mantenimiento



Fuente: Moubray, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. México: Aladon, 2004. p.7

2.1.4 Nuevas expectativas del mantenimiento. La preocupación por la seguridad y el medio ambiente es otro de los temas que desde hace unos años tomó fuerza, inclusive por encima de la producción, algunas compañías literalmente deben adecuarse a las expectativas de seguridad y cuidado ambiental o dejar de operar. Aquí es cuando la dependencia a la integridad de los activos (Que puedan causar algún impacto) cobra una nueva magnitud que va más allá del costo, y que se torna en un ítem de supervivencia de la organización. En muy poco tiempo el mantenimiento pasó de no tener importancia a estar en la más alta prioridad de las organizaciones.

Esto llevó a desarrollar nuevas investigaciones que cambiaron muchas de las creencias más profundas en torno al mantenimiento. En particular la generalizada teoría que ligaba la edad de un activo con la probabilidad de falla del mismo, cada día parece tener menos validez, de hecho se han revelado seis patrones de falla

² Moubray, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. México: Aladon, 2004. P 7

distintos. Lo que muestra que muchas de las tareas que tradicionalmente venían haciéndose en nombre del mantenimiento preventivo no logren ningún resultado, de hecho pueden llegar a ser contraproducentes aunque se hagan de forma planeada.³”

2.2 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

El RCM encuentra sus raíces a principios de los años sesenta; inicialmente es desarrollado por la industria de la aviación civil norteamericana; el primer esfuerzo serio lo promulga la ATA (Air Transport Association) en Washington (USA) en 1968, conocido como informe MSG1; posteriormente actúa el departamento de defensa de USA y, por comisión, F. Stanley Nowlan y Howard Heap escriben por primera vez su trabajo bajo el nombre de Reliability Centered Maintenance en 1978 (publicación de United Airlines por el Ministerio de Defensa de los Estados Unidos), que procura optimizar los factores humanos y productivos alrededor del mantenimiento. El estudio MSG2, primero, y el MSG3, promulgado en 1980, han permitido la divulgación de la metodología RCM.⁴”

RCM ES una estrategia que permite determinas cuales son las tareas minimas de mantenimiento para los equipos en estudio cumplan con las funciones esperadas.

“RCM es un proceso específico usado para identificar las políticas que deben ser implementadas para administrar los modos de falla que pueden causar fallas funcionales en cualquier activo físico en su contexto operacional⁵”

“RCM es un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual⁶”.

³ Moubray, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. México: Aladon, 2004. p.8

⁴ Mora, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios. Colombia: AMG, 2009. p.271

⁵ Sae JA1011. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. Society of Automotive Engineers, Inc 1999

“El RCM es el proceso usado para determinar el enfoque más efectivo del mantenimiento esto implica identificar acciones que cuando se toman reducen la probabilidad de falla de la forma más costo-efectiva buscando una mezcla optima de acciones basadas por condición, acciones basadas en ciclos o en tiempo o el enfoque de operar hasta que falle⁷”

La filosofía del RCM se fundamenta en:

- Evaluación de los componentes de los equipos, su estado y su función.
- Identificación de los componentes críticos.
- Aplicación de las técnicas de mantenimiento proactivo y predictivo.
- Chequeo en sitio y en operación del estado corpóreo y funcional de los elementos mediante permanente revisión y análisis.

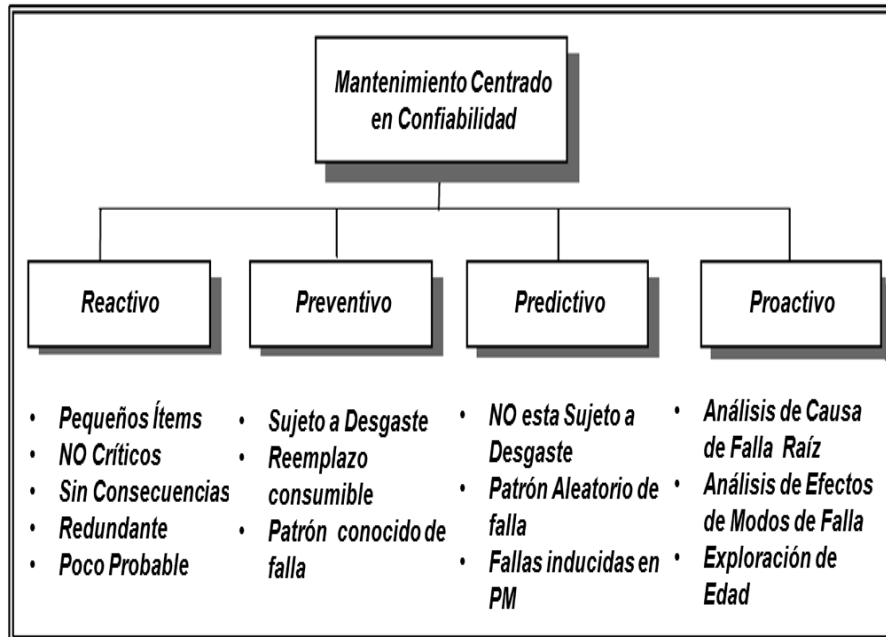
El mantenimiento centrado en confiabilidad es una filosofía de gestión de mantenimiento que sirve de guía para identificar las actividades de mantenimiento con sus respectivas frecuencias a los activos más importantes de un contexto operacional.

Esta no es una fórmula matemática y su éxito se apoya principalmente en el análisis funcional de las fallas de un determinado contexto operacional, realizado por un equipo de trabajo multidisciplinario, el cual desarrolla un sistema de gestión de mantenimiento flexible que se adapta a las necesidades reales de mantenimiento de la organización, tomando en cuenta la seguridad personal, el ambiente, las operaciones y la razón costo / beneficio

⁶ MOUBRAY. JHON. Reliability-Centered Maintenance RCM II. New York: Industrial Press Inc, 1997. P. 7.

⁷ NASA. Reliability Centered Maintenance Guide or Facilities and Collateral Equipment. 2000. P. 1-1

Figura 11. Tareas de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)



Fuente: NASA Reliability Centered Maintenance Guide or Facilities and Collateral Equipment.

2.2.1 Objetivos que persigue el RCM. El mantenimiento centrado en la confiabilidad se plantean unos objetivos fundamentales que ayuda a cumplir con el objetivo principal del *RCM* con lo son:

- Eliminar las averías de las máquinas.
- Suministrar fuentes de información de la capacidad de producción de la planta a través del estado de sus máquinas y equipos.
- Minimizar los costos de mano de obra de reparaciones, en base a un compromiso por parte de los responsables del mantenimiento en la eliminación de fallas de máquinas.

- Permitir a los Departamentos de Producción y de Mantenimiento una acción conjunta y sincronizada a la hora de programar y mantener la capacidad de producción de la planta.
- Incrementar los beneficios de explotación directamente mediante la reducción de los presupuestos del departamento de mantenimiento.

Partimos de la base de que RCM es un proceso para determinar cuáles son las operaciones que debemos hacer para que un equipo o sistema continúe desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional, siempre y cuando ellas sean rentables para la empresa.

Y para ello se debe tener muy claras y analizadas las siguientes preguntas:

2.2.2 Las Siete Preguntas Básicas del RCM. El RCM plantea siete preguntas básicas acerca del activo o sistema que se quiere revisar:

- ¿Cuáles son las funciones del equipo o del sistema?
- ¿De qué forma puede fallar?
- ¿Que puede causar que falle?
- ¿Qué sucede realmente cuando falla?
- ¿Qué ocurre si se produce el fallo y qué repercusiones reales (disponibilidad, costes, accidentes, E.T.C.) tiene?
- ¿Qué se puede hacer para prevenir los fallos?
- ¿Es rentable prevenir dicho fallos?
- ¿Qué se debe hacer si no se puede prevenir el fallo?

Es importante determinar, cuando nos pongamos a responder dichas preguntas, qué es lo que la empresa, la planta o el cliente quiere realmente que el sistema haga dentro del contexto operacional en que nos encontramos en nuestra planta.

2.2.2.1 ¿Cuáles son las funciones del equipo o del sistema? Entendiendo como contexto operacional el lugar, el entorno, las circunstancias de trabajo, Ello implica saber cuáles son verdaderamente los límites o estándares de funcionamiento necesarios en realidad para nuestro cliente o para nuestra actividad.

2.2.2.2 ¿De qué forma puede fallar? Una vez determinadas cuáles son las funciones y prestaciones, hay que identificar y conocer sus fallos. Hay que Identificar una a una las posibilidades de fallo de cada elemento o cada equipo, entendiendo como fallo dejar de realizar las funciones requeridas o salir de los márgenes de validez. Por tanto, el fallo funcional a localizar e identificar por el grupo de trabajo de RCM será aquel que implique la incapacidad de cualquier equipo o activo físico para cumplir un estándar medible de funcionamiento.

2.2.2.3 ¿Qué puede causar que falle?: Conocidas las funciones las prestaciones y los fallos funcionales, debemos pasar a la siguiente pregunta: ¿que puede causar que falle? para responderla hay que identificar las causas más probables de cada fallo funcional o de cada pérdida de las prestaciones que hacen que la máquina o equipo deje de funcionar adecuadamente, a ello se les denomina modo de fallo: Dichos modos de fallos de incluir todas aquellas causas de fallos que hayan ocurrido, las que se están evitando por el mantenimiento preventivo que estamos llevando a cabo y las que aún no han ocurrido pero tienen posibilidad de ocurrir.

2.2.2.4 ¿Qué efectos tienen los fallos? Qué pasa si ocurre una determinada avería y, además, qué pasaría si ocurriera un nuevo modo de fallo o avería asociada. Con ello no nos vamos a limitar exclusivamente a cada fallo individualizado, sino que vamos abordar la casuística asociada a los fallos múltiples esto es lo que realmente va a permitir al grupo de trabajo de terminar las consecuencias de los fallos.

2.2.2.5 ¿Qué se puede hacer para prevenir los fallos? La siguiente pregunta que nos debemos hacer en el proceso de estudio y definición del RCM es: **¿qué se puede hacer para prevenir los fallos?** De forma asociada, es necesario que cada vez que el grupo de trabajo analice (avería a avería o fallo a fallo) se pregunte este interrogante y cuando conteste el mismo, anote y valore con toda claridad sus propuestas que nos servirán para la elaboración de los planes de intervención que deben ser ejecutadas en conformidad con el análisis de RCM a cada máquina es específico.

2.2.2.6 ¿Es rentable prevenir dicho fallos? Esta pregunta es muy importante puesto los costos son muy relevantes en las empresas y de ahí depende muchas decisiones de intervención del activo o incluso dejarlo simplemente que llegue hasta la falla.

2.2.2.7 ¿Qué se debe hacer si no se puede prevenir el fallo?: Esta pregunta tiene relación a fallas que no se pueden prevenir habrá que tener planes de contingencias que puedan tomarse para manejar las fallas las acciones pueden dividirse en dos categorías: Tareas proactivas y Acciones a falta de.

2.3 ÁRBOL LÓGICO DE DECISIONES DEL RCM

Las actividades o tareas de mantenimiento según RCM pueden ser:

2.3.1 Tareas Proactivas (preventivas). Las tareas proactivas se realizan antes de que ocurra una falla, con el fin que el activo llegue a un estado de falla que abarcan las tareas de mantenimiento preventivo y predictivo, que corresponden a una estrategia de prevención de fallas.⁸

⁸ Mora, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios. AMG, 2009. p.273.

- Sustitución y Reacondicionamiento Cíclico (Time Based Maintenance).
- Condicionales o Predictivas (Conditional Based Maintenance).

2.3.2 Acciones a falta. Pero cuando no es posible identificar una tarea proactiva efectiva es necesario realizar “acciones a falta de” corresponden a una estrategia de acción contra la falla:

- Búsqueda de fallas ocultas.
- Rediseño.
- Mantenimiento a rotura o averías

Como resultado de este análisis se elabora la “Hoja de Decisión”, en la cual para cada modo de falla se define la actividad de mantenimiento correspondiente y Finalmente se establece el “Plan de Mantenimiento” resultante de la aplicación del método, en un formato lo más simple posible, donde se especifica el listado de tareas de mantenimiento, su frecuencia de implementación y la fecha estimada de ejecución.⁹”

Las siguientes son algunas acciones que se pueden diferenciar dentro del RCM:

- Acción correctiva: reparación o reemplazo sobre las fallas. El costo de control o detección de fallas excede los beneficios.
- Acción preventiva: reparación o reemplazo sobre tiempos o ciclos.
- Acción predictiva: se emplean condiciones de monitoreo para detectar fácilmente etapas de falla. Reemplazo o reparación sobre condición.
- Además de estas acciones, el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), combina algunas actividades del mantenimiento proactivo para

⁹ GANGI SERGIO, INGARAMO RICARDO, SASTRE JAVIER, PONTELLI DANIEL. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad: Ejemplo de Aplicación en una Industria Farmacéutica, 1er. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba, 2012. p 6

detectar y analizar la presencia de algunas causas de falla reduciéndolas en un periodo determinado.¹⁰”

Conociendo y enlistados todos los modos y efectos de fallas y sus consecuencias, podemos realizar el proceso llamado arbol logico de decisions del RCM con el fin de determinar:

- Si la falla es merecedora de prevención, esfuerzos para predecirla.
- Algún tipo de intervención periódica, para evitarla.
- Rediseño, para eliminarla.
- Simplemente ninguna acción.

y de esta forma encontrar cuáles son las tareas adecuadas y el programa de mantenimiento que deberan se aplicados a los activos físicos

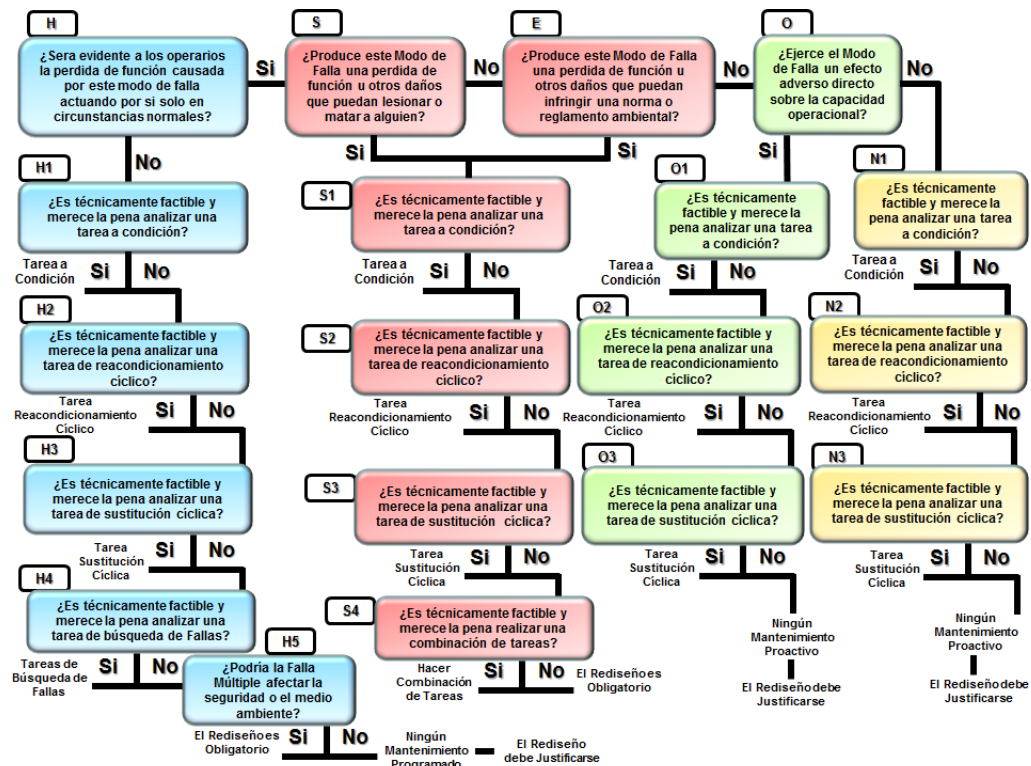
Pasos para la implementación

- Formación del equipo natural de trabajo.
- Selección y definición de las áreas y equipos restricción donde se implementará el RCM.
- Definición de criticidad y selección de los sistemas críticos, estableciendo sus Funciones primarias, secundarias, auxiliares y de apoyo logístico.
- Análisis de las fallas funcionales reales o potenciales para cada una de las funciones.
- Realización del análisis de los modos y de los efectos de las fallas, para determinar los modos de fallos a que se tiene lugar en cada falla funcional para cada función (utiliza el procedimiento FMECA).

¹⁰ Mora, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios. Colombia: AMG, 2009. p.273.

- Selección de las estrategias y procedimientos de mantenimiento (árbol lógico de decisión).
- Implantación y evaluación del CMD en cada caso.
- Asigna estrategias y los recursos adecuados para el plan general de priorización asignado con base en el RPN y los costos / beneficios asociados a cada modo de falla.
- Revisión y monitoreo periódico de todo el esquema general y específico.¹¹

Figura 12. Árbol de Decisión del Proceso de RCM



Fuente: Reliability-Centered Maintenance RCM II, Jhon Moubray.

¹¹ MORA, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios. Colombia: AMG, 2009. p.273.

2.4 FMECA

El procedimiento FMECA tiene como función principal organizar todas las tareas correctivas, modificativas o proactivas a realizar de mantenimiento, después de haber realizado exhaustivamente el análisis de fallas y el RCFA, el método procedimental FMECA parte del concepto de que ya se conocen todas las fallas reales y potenciales, se sabe de los modos de fallas en que se pueden presentar y se tiene un perfecto dominio de todas las funciones principales y auxiliares de los elementos o máquinas a evaluar con el procedimiento.

Por su parte el RPN lo que hace es jerarquizar cada una de las tareas a realizar en los diferentes elementos o equipos, con el fin de priorizar los esfuerzos en los equipos que más lo requieran acorde a su grado de criticidad. ¹²

El procedimiento FMECA se puede aplicar en forma independiente, más sin embargo el RPN es parte fundamental del FMECA. ¹³

2.4.1 Las etapas de desarrollo del procedimiento FMECA son:

- Describir las funciones: primaria y secundarias de los equipos.
- Establecer todas las fallas funcionales reales y potenciales conocidas.
- Los modos de fallas.
- Evaluar las consecuencias y los efectos de cada modo de falla, con su falla y su función.
- Medir el RPN mediante la evaluación de la severidad, la probabilidad de ocurrencia y la posibilidad de detección.
- Establecer las acciones correctivas, planeadas y proactivas

¹² Mora, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios. Colombia: AMG, 2009. p.212, 273.

¹³ Orlando R, Alexander T, Wilson T. Estrategia de Mantenimiento Para la Nueva Planta de Gas de Ecopetrol S.A. p50-51

- Realizar las tareas.
- Medir nuevamente el RPN y replantear las acciones.

Una vez se establecen todas las funciones, sus fallas funcionales y sus correspondientes modos de fallas, se procede a calificar la severidad, la posibilidad de ocurrencia y la probabilidad de detección temprana de las fallas con el fin de constituir el valor del RPN, con el cual se jerarquizan las tareas correctivas, modificativas y proactivas a realizar con el fin de erradicar o controlar las fallas¹⁴.

$$\text{RPN} = \text{Severidad} \times \text{Posibilidad de Ocurrencia} \times \text{Probabilidad de Detección} = S \times O \times D$$

Primero se procede a calcular el valor de severidad :

El cálculo de la Severidad se realiza en dos partes, una de ellas asigna unos valores probabilísticos a cada criterio y en la segunda parte que se obtiene por análisis y discusión del GCF al utilizar las tablas internacionales de valores de los distintos criterios de severidad.

$$\text{RPN} = \text{Severidad} \times \text{Posibilidad de Ocurrencia} \times \text{Probabilidad de Detección} \\ = S \times O \times D$$

La calificación de la Severidad se realiza mediante el concurso de cinco criterios :

FO : Fallas Ocultos

SF : Impacto Seguridad Física

MA : Impacto Medio Ambiente

IC : Impacto en Imagen Corporativa

¹⁴ Orlando R, Alexander T, Wilson T. Estrategia de Mantenimiento Para la Nueva Planta de Gas de Ecopetrol S.A. p50-51

OR : Costos de Reparaciones o Mantenimientos

OC : Efectos en Clientes

2.5 METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD

El análisis de criticidad es una herramienta que permite identificar y jerarquizar por su importancia los elementos de una instalación sobre los cuales vale la pena dirigir recursos (humanos, económicos y tecnológicos). En otras palabras, el análisis de criticidad ayuda a determinar eventos potenciales indeseados, en el contexto de la confiabilidad operacional, entendiéndose confiabilidad operacional como: la capacidad de una instalación (procesos, tecnología, gente), para cumplir su función o el propósito que se espera de ella, dentro de sus límites de diseño y bajo un contexto operacional específico en un tiempo determinado.

El término “crítico” y la definición de criticidad pueden tener diferentes interpretaciones y van a depender del objetivo que se está tratando de jerarquizar. Desde esta óptica existen una gran diversidad de herramientas de criticidad, según las oportunidades y las necesidades de la organización: ¹⁵”.

- Flexibilidad operacional (disponibilidad de función alterna o de respaldo)
- Efecto en la continuidad operacional / capacidad de producción
- Efecto en la calidad del producto
- Efecto en la seguridad, ambiente e higiene
- Costos de paradas y del mantenimiento
- Frecuencia de fallas / confiabilidad
- Condiciones de operación (temperatura, presión, fluido, caudal, velocidad)
- Flexibilidad / accesibilidad para inspección & mantenimiento
- Requerimientos / disponibilidad de recursos para inspección y mantenimiento

¹⁵ Andrés Vera, MTO: criticidad [en línea], <<http://uts-vera.blogspot.com/2013/03/mto-criticidad.htm>> [citado en agosto del 2014]

- Disponibilidad de repuestos

2.5.1 Modelo de criticidad de factores ponderados basado en el concepto del riesgo. Este método fue desarrollado por un grupo de consultoría inglesa denominado: The Woodhouse Partnership Limited [Woodhouse Jhon. “**Criticality Analysis Revisited**”, The Woodhouse Partnership Limited, Newbury, England 1994].

Este es un método semicuantitativo bastante sencillo y práctico, soportado en el concepto del riesgo: **frecuencia de fallas x consecuencias.**

A continuación se presenta de forma detallada la expresión utilizada para jerarquizar sistemas:

$$\text{Criticidad total} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencias de fallas}$$

$$\text{Frecuencia} = \text{Rango de fallas en un tiempo determinado (fallas/año)}$$

$$\text{Consecuencias} = ((\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costos de Mtto.} + \text{Impacto Seguridad, Ambiente e Higiene})$$

Los factores ponderados de cada uno de los criterios a ser evaluados por la expresión del riesgo se presentan a continuación: ¹⁶

Frecuencia de falla (HZ falla):

Pobre mayor a 2 fallas/año	4
Promedio 1-2 fallas/año	3
Buenas 0.5 1 fallas/año	2
Excelente menos de 0.5 fallas/año	1

¹⁶ Andrés Vera, MTO: criticidad [en línea], <<http://uts-vera.blogspot.com/2013/03/mto-criticidad.html>> [citado en agosto del 2014]

Costo de mantenimiento (Costo mtt):

Mayor o igual a 300.000 \$	2
Inferior a 300.000 \$	1

Impacto operacional (Imp-ope):

Parada operativa mayor a 5 días	10
Parada operativa entre 3 a 5 días	7
Parada operativa entre 1 a 3 días	4
No genera parada mayor a un día	1

Flexibilidad operacional (Flex-opez):

No existe opción de producción y no hay función de repuesto	4
Hay opción de repuesto compartido/almacén	2
Función de repuesto disponible	1

Impacto en seguridad ambiente higiene (SAH):

Afecta el ambiente/instalaciones	7
Afecta las Instalaciones causando daños severos	5
Provoca daños menores (Ambiente-seguridad)	3
No provoca ningún tipo de daño a personas, Instalaciones o al ambiente	1

Estos factores se evalúan en reuniones de trabajo con la participación de las distintas personas involucradas en el contexto operacional (operaciones, mantenimiento, procesos, seguridad y ambiente). Una vez que se evalúan en consenso cada uno de los factores presentados anteriormente, se introducen en la fórmula de Criticidad Total y se obtiene el valor global de criticidad.

Máximo valor de criticidad que se puede obtener a partir de los factores ponderados evaluados = 200¹⁷”.

2.6 GESTION DE ACTIVOS

La Gestión de Activos o, en idioma inglés, “**Asset Management**” se corresponde con la planificación y programación sistemática e integrada de los recursos físicos a lo largo de su ciclo de vida útil. Esto puede incluir la especificación, diseño y construcción del activo, sus operaciones y su modificación durante el uso, así como su retirada en el momento oportuno.

Amendola L. (2006), define la gestión integral de activos y la visualiza como un sistema de control en que todo debe controlarse y optimizarse cuidadosamente. Es la gestión o gerencia de los activos tangibles e intangibles, con enfoque hacia “un planteamiento integrado para operar, mantener, mejorar y adaptar las plantas e infraestructuras de una organización con el fin de crear un entorno que soporte firmemente los objetivos primarios de la empresa. La correcta aplicación de las técnicas de gerencia de activos permitirá a las empresas proporcionar el adecuado entorno para dirigir su núcleo de negocio sobre la base de una eficacia de costes y una buena relación calidad-precio.

Así como otras áreas funcionales en el control de procesos, la gestión del mantenimiento de activos tiene un impacto directo en la ejecución de las estrategias técnicas y financieras¹⁸”.

¹⁷ Andrés Vera, MTO: criticidad [en línea], <<http://uts-vera.blogspot.com/2013/03/mto-criticidad.html>> [citado en agosto del 2014]

¹⁸ Amendola, L. Gestión integral Del Mantenimiento de Activos Como Estrategia de Negocios (Assessment, PAS 55 – ISO 55000) [en línea], <<http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/amendola2011.pdf>> [citado en agosto Del 2014].

2.6.1 PAS 55. Es la Especificación British Standard Disponible al Público para la gestión optimizada de activos físicos, esta provee las definiciones claras y la especificación de 28 requerimientos para establecer y auditar un sistema de gestión integrado y optimizado a lo largo del ciclo de vida para todo tipo de activo físico. La actualizada y reconocida internacionalmente PAS 55 está demostrando ser la esencial, clara y objetiva definición de todo lo requerido para demostrar competencia, establecer prioridades de mejora y capitalizar dichas mejoras, lograr conexiones claras entre los planes estratégicos organizacionales y el trabajo real diario y las realidades de los activos.

PAS 55 aplica a cualquier organización bien sea pública o privada, regulada o no regulada, que tenga una alta dependencia en infraestructura o equipos físicos. Esta describe qué debe ser hecho en una planificación e implementación sincronizadas, en la gestión integrada de la adquisición/creación, operación, mantenimiento y renovación/desincorporación y en los muchos "habilitadores" que impulsan un desempeño optimizado y sustentable¹⁹.

2.6.2 ISO 55000. En 2002-2004 el Instituto de Gestión de Activos, en conjunto con British Standards Institution (BSI) ha desarrollado PAS 55, la primera especificación disponible públicamente para la gestión optimizada de los activos físicos. Esto se ha convertido en un bestseller internacional, con la adopción generalizada de los servicios públicos, el transporte, la minería, el proceso y las industrias de fabricación de todo el mundo. La actualización de 2008 (PAS 55:2008) fue desarrollado por 50 organizaciones de 15 sectores de la industria en 10 países. La Organización Internacional de Normalización (ISO) aceptó la PAS 55 como base para el desarrollo de la nueva serie ISO 55000 de normas internacionales.

¹⁹ British Standards Institution BSI. Pas 55 asset management [en línea] <<http://pas55.net/spanish/whatis.asp#>>. [Citado en agosto del 2014]

La serie ISO 55000 se compone de tres niveles:

- **ISO 55000** proporciona una **visión general** del tema de la gestión de activos y los **términos y las definiciones** que se utilizarán estándares.
- **ISO 55001** es la **especificación de los requisitos** para un sistema de gestión integrada y eficaz para la gestión de activos.

Nota: 55001 define los requisitos para un sistema de gestión, de la misma manera como la norma ISO 9001 especifica un sistema de gestión de calidad e ISO 14001 cubre un sistema de gestión ambiental. ISO 55001 **no es**, por lo tanto, una especificación para un sistema de gestión de la información de los activos (a veces llamado sistema de "gestión de activos empresariales"). Estos sistemas de software son, sin embargo, reconocidos ser herramientas útiles ('facilitadores') para la buena gestión de activos.

- **ISO 55002** proporciona **una guía para la implementación de un sistema de este tipo.**²⁰.

2.7 INDICADORES DE GESTION DE MANTENIMIENTO

El seguimiento a indicadores de mantenimiento es el que permite medir el grado de éxito alcanzado de todo lo que se realiza el enfoque sistémico kantiano, mediante índices de aceptación mundial y con el uso de metodologías de validez universal.²¹, que permiten valorar la gestión y operación integral de mantenimiento en una empresa.

²⁰ The Institute of Asset Management (IAM). What is ISO 55000 [en línea] <<http://www.assetmanagementstandards.com/index.html>>. [Citado en agosto Del 2014].

²¹ Mora, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios. AMG, 2009. p.286

2.7.1 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.

2.7.2 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.

2.7.3 Tiempo medio inactivo (MDT). Es el tiempo promedio de inactividad causada por mantenimiento programado y no programado, incluyendo cualquier tiempo de logística.

2.7.4 Tiempo medio entre fallas (MTBF). Es el tiempo de exposición promedio entre fallas consecutivas de un componente.

2.7.5 Tiempo Promedio Para Reparar (MTTR). Es el tiempo medio para reparar o reemplazar un componente. Los tiempos de logística asociados a la 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 promedio del tiempo de reparaciones. La unidad más común para medir este indicador es de horas.

2.7.6 Tiempo promedio para mantener (MTTM). Es el tiempo promedio que toma mantener un componente, incluyendo los tiempos de logística.

Índices internacionales La mayoría de las casas mundiales que tratan el mantenimiento como SAE, OREDA, EIREDA, ESREDA, ALADON, Military Standard, AFNOR, British Standard, etc., aceptan tres indicadores básicos:

confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad como las medidas más estandarizadas que permiten evaluar el grado de gestión y operación por parte de los elementos estructurales de mantenimiento, así:

2.7.7 Confiabilidad. Valora las acciones que ejecuta producción sobre el manejo y operación de los equipos, desde la óptica de fabricación y explotación de los mismos, las medidas fundamentales en que se apoya son las cantidades y los tiempos de fallas inherentes a los equipos.

2.7.8 Mantenibilidad. Mide las actividades de reparaciones y tareas proactivas que realizan el área de mantenimiento sobre los equipos, sus medidas básicas son el volumen de reparaciones (o tareas planeadas) y los tiempos efectivos de realización y sus demoras, en el caso de la mantenibilidad la evaluación se asocia a los grupos de personas que hacen los mantenimientos o las reparaciones

Es la probabilidad que un equipo pueda ser puesto en condiciones operacionales en un tiempo dado²². 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.

²² BORRAS PINILLA, Carlos. Principios de mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2011. p.126.

2.7.9 Disponibilidad. Es una relación que muestra la proporción de tiempo útil efectivo frente al tiempo total disponible, la relación está gobernada por parámetros y metodologías.

La utilización de los parámetros directos y asociados al CMD permite la comparación contra equipos similares o afines a nivel mundial o también establece una relación de comportamiento en el tiempo consigo mismo, es decir permite la valoración de la misma máquina en el tiempo para conocer su evolución.

De la interpretación, uso y análisis de las curvas características CMD, de sus pronósticos y de todos los cálculos asociados se desprenden las estrategias a realizar para lograr alcanzar las metas, objetivos, misión y visión de las empresas a través del uso intensivo de estos instrumentos en la gestión y operación de mantenimiento.

Indudablemente, los valores CMD son de índole operativo y de mantenimiento como de gestión integral de una fábrica, ellos en sí mismos no tienen en cuenta los aspectos económicos y monetarios, es indispensable relacionar los valores calculados CMD con la inversión en dinero realizada para alcanzarlos, para ello se utiliza a nivel universal el concepto de LCC y de costos de mantenimiento.

EL Life Cycle Cost permite valorar la situación económica de la máquina y su viabilidad técnica y financiera al través de su ciclo de vida, es allí donde se puede tener un criterio claro de la efectividad lograda con todo lo realizado en los cuatro niveles de mantenimiento.²³.

La disponibilidad es el objetivo principal del mantenimiento, y es definida como la capacidad de un elemento de desarrollar las funciones para las que es requerido

²³ MORA, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios. Colombia: AMG, 2009. p.286

en un determinado instante de tiempo o durante un determinado periodo de tiempo. En la práctica, en sistemas de operación continua, la disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que un elemento está en condiciones de operar.

$$D(t) = \frac{\sum \text{Tiempo disponible para producir}}{\sum \text{Tiempo disponible para producir} + \sum \text{Tiempo en mantenimiento}} \quad 1$$

En general los indicadores de disponibilidad se dividen en dos sub-grupos: Disponibilidad Operacional (A_o) y Disponibilidad inherente (A_i). La Disponibilidad inherente considera la tasa de falla de los componentes y el tiempo medio de reparación de los mismos. La Disponibilidad operacional va más allá al considerar los tiempos de parada por mantenimiento, tiempos de espera de componentes, tiempos de logística etc., proporcionan una medida más real de la disponibilidad del sistema.

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad 2$$

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + MDT} \quad 3$$

3. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

3.1 ESTADO DE MANTENIMIENTO

3.1.1 Elaboración del modelo de auditoria. La evaluación de la gestión se realizara conforme a los veintiocho requerimientos del estándar PAS 55-2008 para los cuales se formulan una serie de preguntas en búsqueda de resolver el interrogante del estado en que se encuentras cada uno de los veintiocho requerimientos del estándar PAS 55-2008.

Para lo cual se le asignara un peso respectivo en con relación a su nivel de importancia dentro de la organización.

La calificación de cada pregunta tiene un valor mínimo de 0 y una máxima de 10 según en nivel de cumplimiento el cual será multiplicado por el peso y dividido por el valor máximo posible de calificación para hallar el puntaje del nivel de madurez mediante los parámetros del estándar internacional PAS 55-2008 que se establece de la siguiente forma.

Para el ponderar el resultado de la auditoria de mantenimiento enmarcado en el estándar técnico PAS 55 se usara la siguiente clasificación:

0 a 0,9 Se están aprendiendo los elementos de PAS 55, está desarrollando los conceptos pero no aplica el mismo aun.

1 a 1,9. La organización posee el conocimiento básico de PAS 55, comienza la aplicación de algunos elementos de PASS 55.

2 a 2,9 La organización posee el conocimiento básico de PAS 55 y trabaja progresivamente en su implementación con un plan que abarca todos los elementos.

3 a 3,9 La organización tiene todos los elementos de PAS 55 de manera integrada, solo algunas inconsistencias se aceptan, requisito de certificación.

4,0 La organización implementa los elementos de PASS 55 superando los requerimientos de esta y genera nuevas ideas e innovaciones.

Los niveles de madurez están alineados con los principios del manual internacional de gestión de infraestructuras IIMM (International Infraestructura Management Manual).

3.1.2 Ponderación y estado de la gestión de mantenimiento en CDA Villa del Rosario S.A.S. En la gráfica de radar de la auditoria en la gestión de mantenimiento, como resultado de un ejercicio de auditoria a la empresa en este estándar se realizó de forma de plan piloto y de auto diagnóstico para evaluar el estado de la gestión de mantenimiento y generar a partir de ello acciones de mejora.

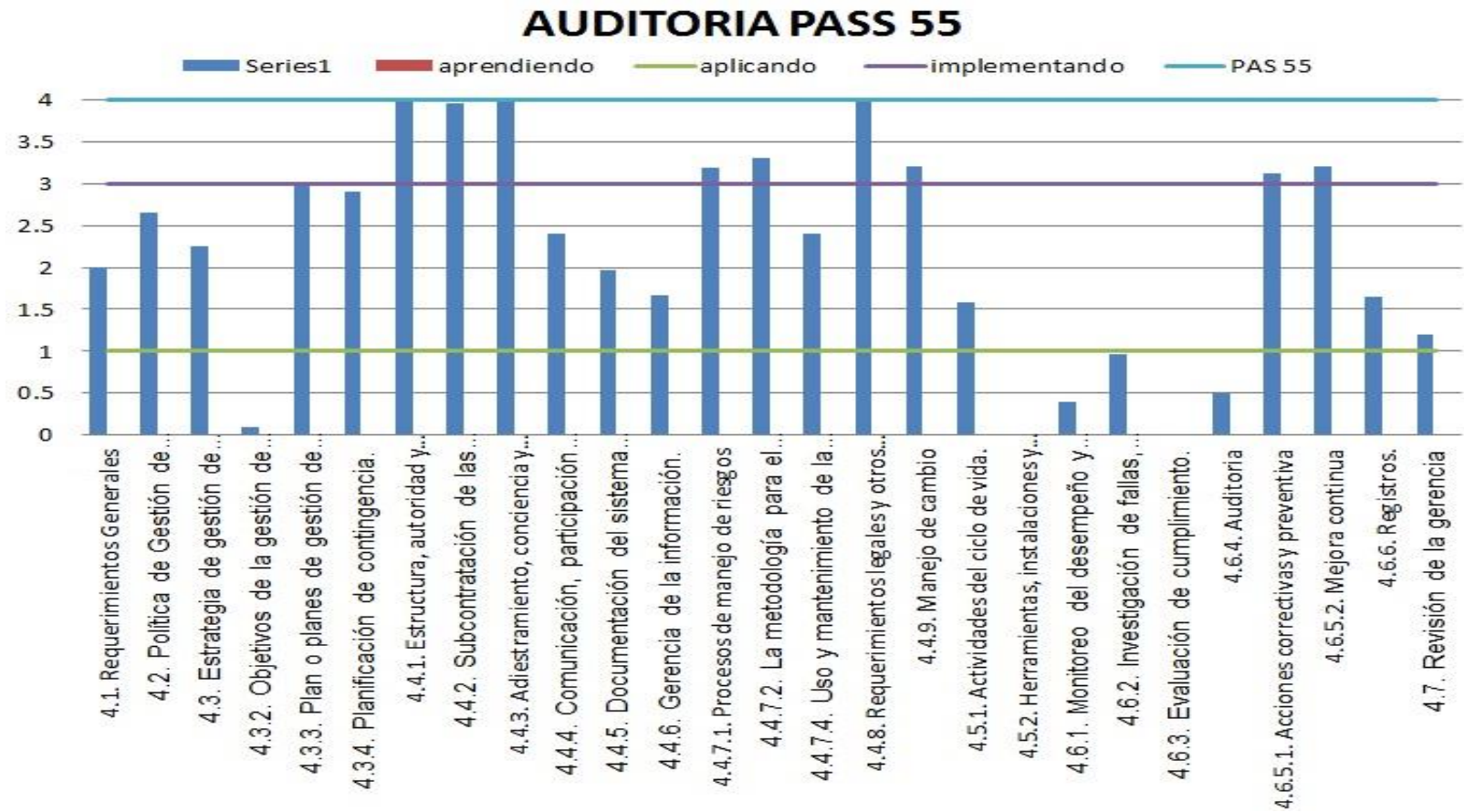
En la empresa CDA VILLA DEL ROSARIO S.A.S tenemos una precesión generalizada de la gestión de mantenimiento, en la cual determinamos que la empresa está en transición, de aprendiendo los conceptos del estándar PASS 55 al estado de aplicación de los conceptos de la misma, conforme a la auditoria y análisis a los resultados de la misma se formularon una serie de acciones de mejora encaminadas a aportar al mejoramiento de la gestion de mantenimiento en la empresa.

Tabla 1. Resultados de auditoria

Requerimientos	Nota	Ponderación
4.1 Requerimientos Generales	2	Implementando
4.2 Políticas de Gestión de mantenimiento	2,65	Implementando
4.3 Estrategia de gestión de mantenimiento.	2244	Implementando
4.3.2 Objetivos de la gestión de mantenimiento.	0,088	Aprendiendo
4.3.3 Plan o planes de gestión de mantenimiento.	3	Pas 55
4.3.4 Planificación de contingencia.	2,904	Pas 55
4.4.1 Estructura, autoridad y responsabilidad	4	Pas 55
4.4.2 subcontrataron de las actividades de la gestión de mantenimiento.	3,96	Pas 55
4.4.3 Adiestramiento, conciencia y competencia.	4	Pas 55
4.4.4 Comunicación, participación y consulta	2,4	Implementando
4.4.5 Documentación del sistema de gestión de mantenimiento.	1,96	Implementando
4.4.6 Gerencia de la información.	1,67	Aplicando
4.4.7.1 Procesos de manejo de riesgos.	3,19	Pas 55
4.4.7.2 La metodología para el manejo de riesgo Requerido.	3,3	Pas 55
4.4.7.4 Uso y mantenimiento de la información de riesgos de los activos requeridos.	2,4	Implementando
4.4.8 Requerimientos legales y otros requerimientos.	4	Pas 55
4.4.9 Manejo de cambio.	3,2	Pas 55
4.5.1 Actividad del ciclo de vida.	1,575	Aplicando
4.5.2 Herramientas, instalaciones y equipos.	0	Aprendiendo
4.6.1 Monitoreo del desempeño y la condición.	0,4	Aprendiendo
4.6.2 Investigación de fallas, incidentes y no conformidades relacionadas con los activos	0,96	Aprendiendo
4.6.3 Evaluación de cumplimiento.	0	Aprendiendo
4.6.4 Auditoria.	0,5	Aprendiendo
4.6.5.1 Actividad del ciclo de vida.	3,12	Pas 55
4.6.5.2 Mejora Continua.	3,2	Pas 55
4.6.6 Registros	1,65	Aplicando
4.7 Revisión de la gerencia.	1,2	Aplicando

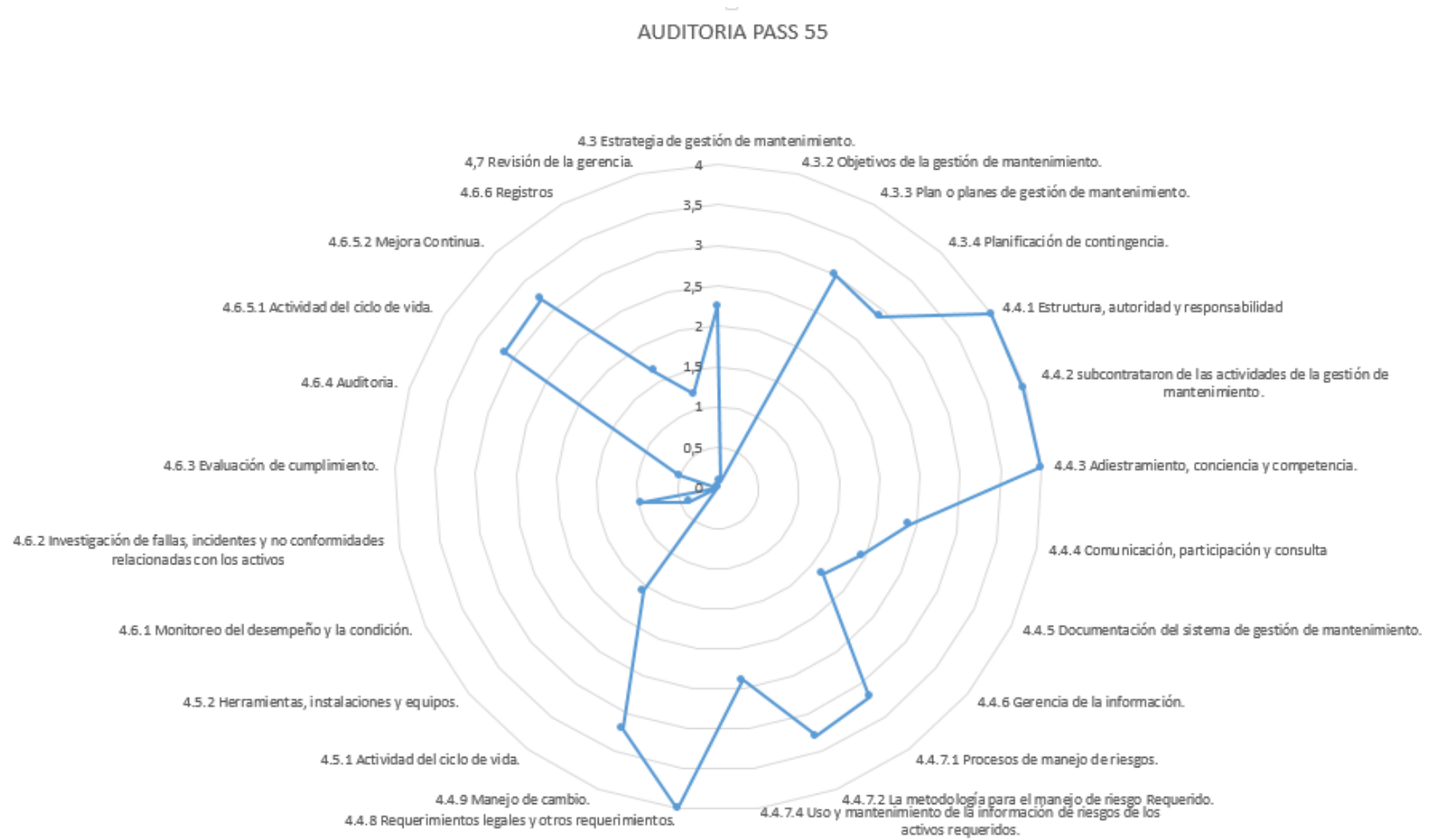
Fuente: Quintero, A. 2014

Figura 13. Gráfica resultados de auditoria



Fuente: Quintero, A. 2014

Figura 14. Gráfica radar resultados de auditoría.



Fuente: Quintero, A. 2014

3.1.3 Acciones correctivas formularas como resultado de la Auditoria de mantenimiento

Requerimientos Generales. Se deberá establecer los requerimientos y necesidades de mantenimiento en la empresa.

Políticas de Gestión de mantenimiento. Se deberá establecer las política y lineamiento de con el fin de orientar la gestión de mantenimiento.

Estrategia de gestión de mantenimiento. Se deberá implementar una estrategia de mantenimiento de clase mundial

Objetivos de la gestión de mantenimiento. Se deberá implementar objetivos que se desee seguir la organización para la gestión de activos.

Plan o planes de gestión de mantenimiento. Se deberá implementar planes de gestión que apoyen a lograr alcanzar los objetivos y políticas de mantenimiento en la organización.

Planificación de contingencia. Se deberá fortalecer el plan de contingencia.

Comunicación, participación y consulta. Se deberá fortalecer los canales de comunicación entre y hacia cada uno delos niveles que intervienen en la gestión de mantenimiento.

Documentación del sistema de gestión de mantenimiento. Se deberá fortalecer el sistema documental de la gestión de mantenimiento con el fin de poder evaluar en casos futuro la gestión.

Gerencia de la información. Se deberá registrar y almacenar la información resultante de cada una de las actividades de gestión de mantenimiento. Así como también la información que nos permite determinar los costos de mantenimiento.

Actividad del ciclo de vida. Se Deben documentar procedimiento, planes, formatos para la ejecución de las tareas de mantenimiento las cuales deben estar alineadas con los requerimientos de seguridad y manejo del medio ambiente.

Se deberá establecer objetivos e indicadores en conjunto entre el proceso de infraestructura y compras que permitan determinar los costos de mantenimiento.

Se debe documentar órdenes de trabajo.

Herramientas, instalaciones y equipos. Se debe documentar un procedimiento para el mantenimiento y preservación de las herramientas.

Monitoreo del desempeño y la condición. Se deberán fortalecer las bitácoras de operadores para que generen información más útil al momento de reconstruir análisis de fallas.

Se deberán establecer registros de rutinas de verificación de funcionamiento.

Investigación de fallas, incidentes y no conformidades relacionadas con los activos. Se deberán fortalecer las bitácoras de operarios con el fin de poder analizar las fallas y mitigar las consecuencias.

Evaluación de cumplimiento. Se deberán evaluar y analizar los indicadores de la gestión con el fin de determinar su cumplimiento.

Mejora Continua. Se deberá determinar las estrategias necesarias para llevar a cabo las acciones correctivas encaminadas a elevar los indicadores afectados en las auditorias.

Registros. Se deberá fortalecer los registros con el fin que los datos almacenados sean utilices y confiables en la determinación de acciones futuras.

3.2 CRITICIDAD DE EQUIPOS CDA VILLA DEL ROSARIO

Uno de los pasos que se debe dar antes de iniciar algún estudio de mantenimiento, es establecer cuales equipos tienen mayor incidencia dentro de los procesos de la empresa, equipos que requieren atención prioritaria.

Para determinar cuáles son estos equipos se usó el método de factores ponderados con base a una matriz de criticidad para determinar cuáles son los activos más críticos y de pronta intervención por parte de las estrategias de RCM a aplicar.

En la empresa CENTRO DE DIAGNOSTICO AUTOMOTOR VILLA DEL ROSARIO S.A.S cuenta con la siguiente lista de activos físicos empleados para las pruebas de inspección aplicada a cada vehículo que solicite los servicios de revisión técnico mecánica y de gases contaminantes, de los cuales se determinaron los equipos más críticos para los procesos de inspección.

Tabla 2. Inventario de equipos codificados.

N°	Equipo	Código
1	Sonómetro	PVSO1
2	Sonómetro	PVSO3
3	Cámara	PMCA1
4	CPU visual mixto	PMPC3
5	Detector de holguras	PMJM1
6	Analizador de gases	PAAG1
7	Sonda de temperatura	PAAG1 t
8	Capelec	PACA1
9	Sonda de temperatura	PACA1 t
10	Sonda de temperatura	PACA1 st
11	Capelec	PACA2
12	Sonda de temperatura	PACA2 t
13	Capelec	PACA3
14	Sonda de temperatura	PACA3 t
15	Opacímetro	PAOP1
16	CPU análisis de gases	PAPC2
17	Alineador al paso pesados	PMAP2
18	Freno metro	PMFR1
19	Cámara	PVCA2
20	CPU freno metro mixto	PMPC1
21	Alineador al paso livianos	PMAP1
22	Luxómetro	PMAL2
23	Probador de suspensión	PMPS1
24	Probador de taxímetros	PMPT1
25	Termo higrómetro	PATH1
26	CPU suspensión mixto	PMPC2
27	Elevador de motos	PVEM1
28	Bomba elevador de motos	PVBE1
29	Cámara	PMCA2

30	Sonómetro	PVSO2
31	CPU visual moto	PMPC4
32	Freno metro	PMFR2
33	Luxómetro	PMAL1
34	Bloqueador neumático	PVBN1
35	Bloqueador neumático	PVBN2
36	Sistema de fijación	PVSF1
37	CPU freno metro moto	PMPC5
38	Cámara	PMCA1
39	Analizador de gases 4t	PAAG2
40	Sonda de temperatura	PAAG2 t
41	Pinza RPM	PAAG2 r
42	Pina RF	PAAG2 r
43	Analizador de gases 2t	PAAG3
44	Sonda de temperatura	PAAG3 t
45	Pinza RPM	PAAG2 r
46	Pina RF	PAAG3 r
47	CPU análisis de gases	PAPC3
48	Compresor	PACO1
49	Aspiradora	PMAI1
50	Planta eléctrica	PMPE1
51	Compresor	APCO1

Fuente: Quintero, A. 2014

3.2.1 Desarrollo del análisis de criticidad. El estudio de criticidad se llevó a cabo por medio del método de factores ponderados con los cuales se tuvieron en cuenta los siguientes criterios.

Frecuencia de falla (HZ falla):

Pobre mayor a 2 fallas/año	--4
Promedio 1-2 fallas/año	--3
Buenas 0.5 1 fallas/año	--2
Excelente menos de 0.5 fallas/año	--1

Costo de mantenimiento (Costo mtt):

Mayor o igual a 300.000 \$	--2
Inferior a 300.000 \$	--1

Impacto operacional (Imp-ope):

Parada operativa mayor a 5 días	--10
Parada operativa entre 3 a 5 días	--7
Parada operativa entre 1 a 3 días	--4
No genera parada mayor a un día	--1

Flexibilidad operacional (Flex-opez):

No existe opción de producción y no hay función de repuesto	--4
Hay opción de repuesto compartido/almacén	--2
Función de repuesto disponible	--1

Impacto en seguridad ambiente higiene (SAH):

Afecta el ambiente/instalaciones	--7
Afecta las Instalaciones causando daños severos	--5
Provoca daños menores (Ambiente-seguridad)	--3
No provoca ningún tipo de daño a personas, instalaciones o al ambiente	1

3.2.2 Recolección de información de cada una de los parámetros de evaluación de criticidad.

3.2.2.1 Frecuencia de falla (HZ falla). Se recopiló información por medio de la digitación de fallas reportada en las bitácoras de fallas y operadores en donde los operarios de los equipos registran todos los acontecimientos e intervenciones ocurridos con las máquinas.

Con los registros contables, órdenes de compras generados por conceptos de mantenimientos o insumos comprados para las diferentes intervenciones ejecutados a los equipos de inspección.

Con los registros que el sistema de gestión de calidad, en las hojas de vida cada equipo de las diferentes intervenciones hechas a los equipos de inspección.

Con los informes de mantenimiento entregados por el proveedor de los servicios de mantenimientos.

Con base al conocimiento de observación del funcionamiento y operación de los equipos por parte del autor / Director Técnico de la empresa.

3.2.2.2 Impacto operacional (Imp-ope). Para este parámetro se tuvo en cuenta que tan crítico es el equipo en el proceso de inspección, teniendo en cuenta que el proceso de inspección vehicular es un proceso en serie y de la importación de la prueba a realizar sobre los resultados de las condiciones técnicas mecánicas del vehículo.

3.2.2.3 Flexibilidad operacional (Flex-opez). Para este parámetro se tuvo en cuenta el nivel de provisión de partes o repuestos que se tiene en el almacén.

3.2.2.4 Costo de mantenimiento (Costo mtt). Para este parámetro de costos se requirió una retroalimentación del departamento de contabilidad de la empresa para la recolección de la información relacionada con los egresos generados desde el año 2011 de los gastos por concepto de mantenimientos tanto correctivos como preventivos.

3.2.2.5 Impacto en seguridad ambiente higiene (SAH). Para este parámetro se tuvo en cuenta los insumos requeridos por el equipo y por nivel de riesgo de accidentalidad al operar el equipo.

Presentamos a continuación los resultados del procesamiento de la información de la evaluación de criticidad.

Tabla 3. Resultados factores ponderados

N°	Equipo	Código	HZ falla	Imp-ope	Flex-ope	Costo mtt	(SAH)
1	Sonómetro	PVSO1	1	7	1	1	1
2	Sonómetro	PVSO3	1	7	1	1	1
3	Cámara	PMCA1	1	4	1	1	1
4	CPU visual mixto	PMPC3	1	4	1	1	1
5	Detector de holguras	PMJM1	1	1	1	2	3
6	Analizador de gases	PAAG1	4	10	4	2	1
7	Sonda de temperatura	PAAG1 t	3	4	1	1	1
8	Capelec	PACA1	3	7	2	1	1
9	Sonda de temperatura	PACA1 t	1	4	1	1	1
10	Sonda de temperatura	PACA1 st	1	4	1	1	1
11	Capelec	PACA2	3	7	2	1	1
12	Sonda de temperatura	PACA2 t	1	4	1	1	1
13	Capelec	PACA3	3	7	2	1	1
14	Sonda de temperatura	PACA3 t	1	4	1	1	1
15	Opacímetro	PAOP1	2	10	4	2	1
16	CPU análisis de gases	PAPC2	1	1	1	1	1
17	Alineador al paso pesados	PMAP2	3	4	2	1	1

18	Freno metro	PMFR1	4	10	4	2	5
19	Cámara	PVCA2	2	1	1	1	1
20	CPU freno metro mixto	PMPC1	1	1	1	1	1
21	Alineador al paso livianos	PMAP1	2	4	2	1	1
22	Luxómetro	PMAL2	2	1	2	1	1
23	Probador de suspensión	PMPS1	4	7	4	2	5
24	Probador de taxímetros	PMPT1	1	4	2	2	5
25	Termo higrómetro	PATH1	1	4	2	1	1
26	CPU suspensión mixto	PMPC2	1	1	1	1	1
27	Elevador de motos	PVEM1	1	1	1	1	1
28	Bomba elevador de motos	PVBE1	1	1	1	1	1
29	Cámara		1	1	1	1	1
30	Sonómetro	PVSO2	1	7	1	1	1
31	CPU visual moto	PMPC4	1	1	1	1	1
32	Freno metro	PMFR2	2	10	4	2	5
33	Luxómetro	PMAL1	1	1	1	1	1
34	Bloqueador neumático	PVBN1	1	1	1	1	1
35	Bloqueador neumático	PVBN2	1	1	1	1	1
36	Sistema de fijación	PVSF1	1	1	1	1	1
37	CPU freno metro moto	PMPC5	1	1	1	1	1
38	Cámara		1	1	1	1	1
39	Analizador de gases 4t	PAAG2	4	10	4	2	1
40	Sonda de temperatura	PAAG2 t	1	4	2	1	1
41	Pinza RPM	PAAG2 r	2	7	1	1	1
42	Pina RF	PAAG2 r	3	7	1	1	1
43	Analizador de gases 2t	PAAG3	4	10	4	1	1
44	Sonda de temperatura	PAAG3 t	1	4	1	1	1
45	Pinza RPM	PAAG2 r	2	7	1	1	1
46	Pina RF	PAAG3 r	3	7	1	1	1
47	CPU análisis de gases	PAPC3	1	1	1	1	1
48	Compresor	PACO1	1	1	1	1	1
49	Aspiradora	PMAI1	1	1	1	1	1
50	Planta eléctrica	PMPE1	1	4	4	1	5
51	Compresor	APCO1	1	1	1	2	3

Fuente: Quintero, A. 2014

Tabla 4. Resultados del análisis de criticidad

N°	Equipo	Código	consecuencia	criticidad total	nivel de criticidad
6	Analizador de gases	PAAG1	43	172	CRITICO
15	Opacímetro	PAOP1	43	86	CRITICO
18	Freno metro	PMFR1	47	188	CRITICO
23	Probador de suspensión	PMPS1	35	140	CRITICO
32	Freno metro	PMFR2	47	94	CRITICO
39	Analizador de gases 4t	PAAG2	43	172	CRITICO
43	Analizador de gases 2t	PAAG3	42	168	CRITICO
7	Sonda de temperatura	PAAG1 t	6	18	MUY CRITICO
8	Capelec	PACA1	16	48	MUY CRITICO
13	Capelec	PACA3	16	48	MUY CRITICO
17	Alineador al paso pesados	PMAP2	10	30	MUY CRITICO
42	Pina RF	PAAG2 r	9	27	MUY CRITICO
46	Pina RF	PAAG3 r	9	27	MUY CRITICO
47	CPU análisis de gases	PAPC3	3	3	NO CRITICO
48	Compresor	PACO1	3	3	NO CRITICO
49	Aspiradora	PMAI1	3	3	NO CRITICO
50	Planta eléctrica	PMPE1	22	22	NO CRITICO
51	Compresor	APCO1	6	6	NO CRITICO
1	Sonómetro	PVSO1	9	9	NO CRITICO
2	Sonómetro	PVSO3	9	9	NO CRITICO
3	Cámara	PMCA1	6	6	NO CRITICO
4	CPU visual mixto	PMPC3	6	6	NO CRITICO
5	Detector de holguras	PMJM1	6	6	NO CRITICO
9	Sonda de temperatura	PACA1 t	6	6	NO CRITICO
10	Sonda de temperatura	PACA1 st	6	6	NO CRITICO
11	Capelec	PACA2	16	48	NO CRITICO
12	Sonda de temperatura	PACA2 t	6	6	NO CRITICO
14	Sonda de temperatura	PACA3 t	6	6	NO CRITICO
16	CPU análisis de gases	PAPC2	3	3	NO CRITICO
19	Cámara	PVCA2	3	6	NO CRITICO
20	CPU freno metro mixto	PMPC1	3	3	NO CRITICO
21	Alineador al paso livianos	PMAP1	10	20	NO CRITICO
22	Luxómetro	PMAL2	4	8	NO CRITICO

24	Probador de taxímetros	PMPT1	15	15	NO CRITICO
25	Termo higrómetro	PATH1	10	10	NO CRITICO
26	CPU suspensión mixto	PMPC2	3	3	NO CRITICO
27	Elevador de motos	PVEM1	3	3	NO CRITICO
28	Bomba elevador de motos	PVBE1	3	3	NO CRITICO
29	Cámara		3	3	NO CRITICO
30	Sonómetro	PVSO2	9	9	NO CRITICO
31	CPU visual moto	PMPC4	3	3	NO CRITICO
33	Luxómetro	PMAL1	3	3	NO CRITICO
34	Bloqueador neumático	PVBN1	3	3	NO CRITICO
35	Bloqueador neumático	PVBN2	3	3	NO CRITICO
36	Sistema de fijación	PVSF1	3	3	NO CRITICO
37	CPU freno metro moto	PMPC5	3	3	NO CRITICO
38	Cámara		3	3	NO CRITICO
40	Sonda de temperatura	PAAG2 t	10	10	NO CRITICO
41	Pinza RPM	PAAG2 r	9	18	NO CRITICO
44	Sonda de temperature	PAAG3 t	6	6	NO CRITICO
45	Pinza RPM	PAAG2 r	9	18	NO CRITICO

Fuente: Quintero, A. 2014

En la recopilación de información y estudio de criticidad se obtuvo como resultado la clasificación de las máquinas según nivel de criticidad.

De las cuales las máquinas con un nivel de clasificación de criticidad alto serán de objeto de aplicación de la estrategia RCM con el fin de reducir y controlar su nivel de criticidad.

3.2.2.6 Equipos con clasificación crítica. Analizador de gases, Opacómetro, Freno metro de automóviles, Probador de suspensión, Freno metro de motos, Analizador de gases 4t, Analizador de gases 2t.

4. RESULTADOS

4.1 APLICACIÓN DE FMECA

El estudio de FEMECA se realiza sobre los equipos con clasificación de nivel crítico como resultado del estudio de criticidad, que son los siguientes:

Tabla 5. Equipos críticos

Equipos	Marca	Modelo	Codigo	Pista
Analizador de gases,	Motorscan	8060	PAAG1	Mixta
Freno metro de automóviles,	Vamag	RBT/C2VFW	PMFR1	Mixta
Opacímetro,	Motorscan	911	PAO1	Mixta
Probador de suspension,	Motorscan	2210	PMPS1	Mixta
Frenometro de motos,	Vamag	RBT/C2V	PMFR2	Motos
Analizador de gases 4t,	Motorscan	8060	PAAG2	Motos
Analizador de gases 2t.	Motorscan	8060	PAAG3	Motos

Fuente: Quintero, A. 2014

De los equipos clasificados como críticos se distingues dos grupos que contienen el igual principio de funcionamiento como los son los equipos analizadores de gases mixto, 4t, 2t. Y los equipos freno metro motos, automóviles de los cual se llevara a cabo un solo estudio de **FMECA** para cada grupo.

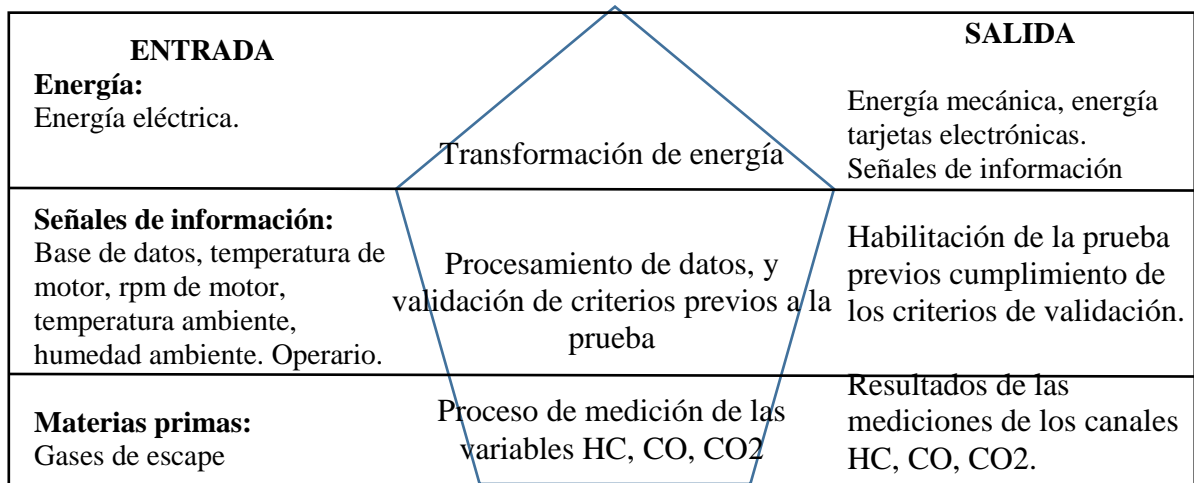
A continuación mostramos los estudios de RCM que se aplica a nuestra labor de análisis de criticidad el cual tomaremos como un punto de partida organizada para realizar el trabajo de RCM en lo relacionado en la identificación, caracterización y análisis RCM de los equipos sujetos al alcance en esta labor.

4.1.1 Analizador de gases ciclo otto

EQUIPO:	ANALIZADOR DE GASES CICLO OTTO
FECHA:	2014-FEB-11
EMPRESA:	CDA VILLA DEL ROSARIO
PLANTA:	PISTA MIXTA
AREA:	ESTACION AMBIENTAL
SISTEMA:	ESTACION DE GASES
CODIGO:	PAAG2
SUBSISTEMA:	
<ul style="list-style-type: none">• Bomba.• Motor eléctrico.• Tarjeta de comunicación.• Canales de muestreo.• Fuente poder.•	
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:	
MARCA: MOTORSCAN	
MODELO: 8060	
SERIAL: 1039001840134 P.E.F: 0.53	
PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO: Absorción infrarroja no dispersiva	
PESO: 12 Kg	
DIMENSIONES: 500X260X480 mm	
TENSION DE RED: 115-240V (+10%-15%)	
TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO: +5 a +40 °C	
HÚMEDAD RELATIVA: < 90 %, SIN CONDENSACION	
PRESIÓN ATMOSFERICA: 700 A 1100 hPA.	

<p>CONDICIONES OPERATIVAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • 10,5 horas de operación de 7:30 am a 6 pm • Equipo sin back up.
<p>CONDICIONES AMBIENTALES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Equipo expuesto al polvo. • Equipo expuesto a alta condensación de agua producto de la humedad los gases de escape vehicular. • Equipo es puesto a gases de combustión y hollines. • Equipo expuesto a altas temperaturas ambiente operativas cercana o iguales a 40C°.

Figura 15. Fronteras ó diagrama del proceso analizador de gases



Fuente: Quintero, A. 2014

Función primaria

0) Medir las concentraciones de los gases de escape HC, CO, CO₂, O₂ con los siguientes exactitud.

Canal	Rango	Exactitud	Canal	Rango	Exactitud	Canal	Rango	Exactitud
HC	0-400	12	CO	0-2	0.06	Co ₂	0-4	0.6
HC	401-1000	30	CO	2.01-5	0.15	Co ₂	4.1-14	0.6
HC	1001-2000	80	CO	5.01-10	0.40	Co ₂	14.1-16	0.6

Con una temperatura ambiental entre 5 °C y 55 °C y una humedad relativa de 30% y 90%.

Funciones secundarias

- 1) Verificar correcto funcionamiento y la correcta comunicación antes de iniciar las pruebas.
- 2) Verificar satisfactoriamente la hermeticidad del sistema.
- 3) Realizar el procedimiento interno de auto-cero con lecturas de oxígeno entre 20% y 22% procedentes del ambiente previamente filtradas y consideradas limpias, y realizar el ajuste cero.
- 4) Verificar residuos de gases de escape menores a 20ppm durante un tiempo de 60 segundos.

Fallo funcional

0. A. Exactitudes fuera de rango.
0. B. Variables ambientales fuera de rango.
1. A. Fallo de la verificación de comunicación
1. B. Fallo de la verificación de correcto funcionamiento
2. A. Presión de vacío no alcanza.
2. B. Reprueba la verificación de hermeticidad
3. A. Lecturas de oxígeno fuera de rango.
3. B. No enciende la bomba "ingresar aire del ambiente".
4. A. Mensaje bench alarma.
4. B. Mensaje sensor de oxígeno desgastado.

Tabla 6. Femeca analizador de gases.

Función principal:								
0). Medir las concentraciones de los gases de escape HC, CO, CO ₂ , O ₂ con los siguientes exactitud.								
Cana l	Rang o	Exactitu d	Cana l	Rang o	Exactitu d	Cana l	Rang o	Exactitu d
HC	0-400	12	CO	0-2	0.06	Co ₂	0-4	0.6
HC	401- 1000	30	CO	2.01-5	0.15	Co ₂	4.1-14	0.6
HC	1001- 2000	80	CO	5.01- 10	0.40	Co ₂	14.1- 16	0.6
Con una temperatura ambiental entre 5 °C y 55 °C y una humedad relativa de 30% y 90%.								
Funciones secundarias:								
1). Verificar correcto funcionamiento y la correcta comunicación antes de iniciar las pruebas.								
2). Verificar satisfactoriamente la hermeticidad del sistema.								
3). Realizar el procedimiento interno de auto-cero con lecturas de oxigeno entre 20% y 22% procedentes del ambiente previamente filtradas y consideradas limpias, y realizar el ajuste cero.								
4). Verificar residuos de gases de escape menores a 20ppm durante un tiempo de 60 segundos.								

Código de la función	Función			falla funcional	Falla funcional	modo de fallo	Descripción de modo de falla
0	Canal	Rango	Exactitud	A	Exactitudes fuera de rango.	1	Equipo contaminado con residuos.
	HC	0-400	12				
	HC	401-1000	30				
	HC	1001-2000	80				
	CO	0-2	0.06			2	Equipo descalibrado
	CO	2.01-5	0.15				
	CO	5.01-10	0.40				
	Co2	0-4	0.6	B	Variables ambientales fuera de rango.	1	Error de comunicación puerto usb.
	Co2	4.1-14	0.6				
	Co2	14.1-16	0.6				
	Medir las concentraciones de los gases de escape HC, CO, CO2, O2 con los siguientes exactitud. Con una temperatura ambiental entre 5 °C y 55 °C y una humedad relativa de 30% y 90%.						
1	Verificar el correcto funcionamiento y la correcta comunicación entre Software SIIT y analizador de gases.			A	Fallo en la verificación de comunicación, no ingresa al Software SIIT.	1	Cable de datos en mal estado.
						2	Cable de datos mal conectado.
						3	Equipos apagados.
						4	Servidor apagado
						5	Validación de autenticidad del software SIIT
				B	Fallo en el funcionamiento del analizador	1	Fuente de poder del equipo en mal estado

				2	Falta de fluido eléctrico en la red.
				3	Temperatura ambiente muy alta provocando que los circuitos electrónicos se saturen > 40 °C.
2	Verificar satisfactoriamente la hermeticidad del sistema.	A	Presión de vacío no alcanza.	1	Bomba no arranca.
				2	Membranas o diafragmas Rotas.
		B	Reprueba la verificación de hermeticidad	1	Membranas o diafragmas sucios.
				2	Filtros en mal estado o mal instalados.
3	Realizar el procedimiento interno de auto-cero con lecturas de oxígeno entre 20% y 22% procedentes del ambiente previamente filtradas y consideradas limpias, y realizar el ajuste cero.	A	Lecturas de oxígeno fuera de rango.	1	Degradación química del sensor de oxígeno.
				2	Sensor de oxígeno desconectado.
				3	Válvula de flujo sucia, desconectada.
		B	No enciende la bomba "ingresar aire del ambiente".	1	Fuente de poder en mal estado.
2	Carbones de las escobillas				

					ajustado.
4	Verificar residuos de gases de escape menores a 20ppm durante un tiempo de 60 segundos.	A	Mensaje bench alarma.	1	Equipo contaminado de residuos de gases de escape. Filtros, mangueras.
				2	Desajuste de los parámetros de configuración en la tarjeta sibeck.
		B	Mensaje sensor de oxígeno desgastado.	1	Degradación química del sensor de oxígeno. Tensión eléctrica del sensor por debajo a 7 mVolt
				2	Sensor de oxígeno no energizado.
				3	Analizador en procedimiento de calentamiento

Fuente: Quintero, A. 2014

4.1.2 Opacimetro

EQUIPO:	OPACIMETRO
FECHA:	2014-FEB-11
EMPRESA:	CDA VILLA DEL ROSARIO
PLANTA:	PISTA MIXTA
AREA:	ESTACION AMBIENTAL
SISTEMA:	OPACIMETRO
CODIGO:	PAOP1

SUBSISTEMA:

- Bomba.
- Motor eléctrico.
- Tarjeta de comunicación.
- Canales de muestreo.
- Fuente poder.

CARACTERISTICAS TÉCNICAS:

MARCA: MOTORSCAN

MODELO: 911

SERIAL: 0930000760020

PESO: 450 Kg

ERROR MAXIMO PERMITIDO: 3%.

DIMENSIONES: 610X260X270 mm

TENSION DE RED: 110-330 V (+10% Vac)

LINEALIDAD: <2%

TIEMPO TOTAL DE RESPUESTA: < 0,5 s.

TIEMPO DE RESPUESTA FÍSICA: < 0,4 s.

UNIDAD DE MEDIDA: %.

TIEMPO DE RESPUESTA ELÉCTRICA: < 0,91(+/-0,01) s.

RECEPTOR: fotodiodo con pico espectral en 570 nm

TIEMPO DE RESPUESTA DEL FILTRO: filtro tipo A 0,3 s; filtro tipo B 1,0 s filtro A y B : 1 er orden.

LONGITUD EFECTIVA DE LA CÁMARA: 430 mm(+0,5-3,5).

TIEMPO DE CALENTAMIENTO: < 14 min.

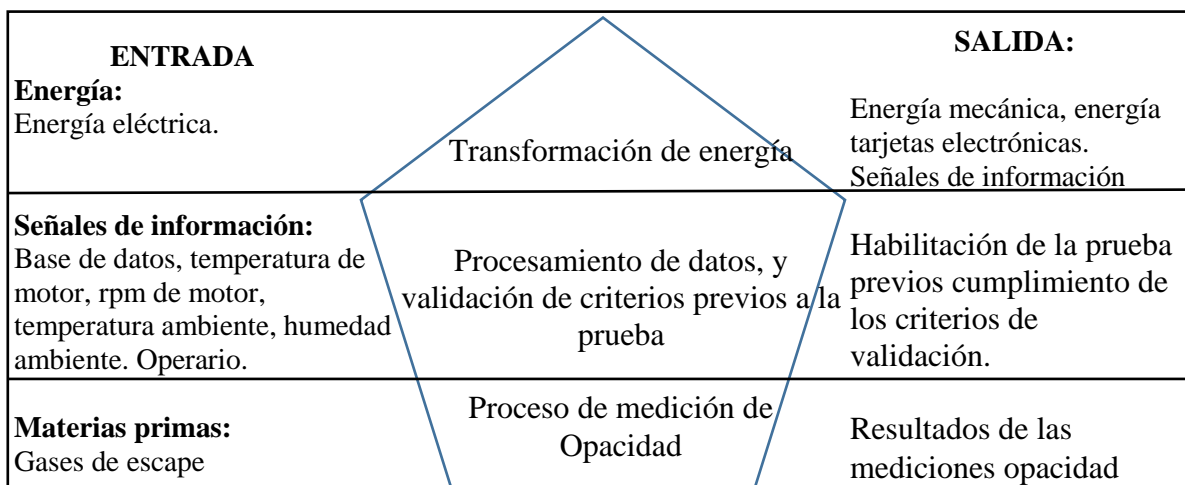
CONDICIONES OPERATIVAS

- 10,5 horas de operación de 7:30 am a 6 pm
- Equipo sin back up.

CONDICIONES AMBIENTALES

- Equipo expuesto al polvo.
- Equipo expuesto a alta condensación de agua producto de la humedad los gases de escape vehicular.
- Equipo es puesto a gases de combustión y hollines.
- Equipo expuesto a altas temperaturas ambiente operativas cercana o iguales a 40C°.

Figura 16. Fronteras ó diagrama Del proceso opacimetro



Fuente: Quintero, A. 2014

Función primaria:

0) Medir la opacidad con una linealidad no mayor del 1% en los puntos de 0% y 100% y del 2% en puntos intermedios de las emisiones de gases de escape de vehículos accionados con Diésel.

Tabla 6. Femeca opacimetro

Función principal:					
0). Medir la opacidad con una linealidad no mayor del 1% en los puntos de 0% y 100% y del 2% en puntos intermedios de las emisiones de gases de escape de vehículos accionados con Diésel.					
1. Verificar correcto funcionamiento y la correcta comunicación antes de iniciar las pruebas.					
2. Falla en power box.					
Código de la función	Función	Letra de la falla funcional	Falla funcional	Numero modo de falla	Descripción de modo de falla
0	Medir opacidad con una linealidad no mayor del 1%	A	No aprueba la verificación de linealidad en los	1	Filtros sucios.
				2	Lampara desajustada

	en los puntos de 0% y 100% y del 2% en puntos intermedios de las emisiones de gases de escape de vehículos accionados con Diésel.		puntos 0%, 28,4%,66,7% 100%	3	Lampara defectuosa.
				4	Desajuste de ganancia en la unidad LTOE.
		B	Variables ambientales fuera de rango	1	Condiciones ambientales inadecuadas para realizar las pruebas.
				2	Error de comunicación del puesto USB termo higrómetro
				3	Sensor termo higrómetro en mal estado
		1	Verificar correcto funcionamiento y la correcta comunicación antes de iniciar las pruebas.	A	Fallo en la verificación de comunicación, no ingresa al Software SIIT.
2	Cable de datos mal conectado.				
3	Equipos apagados.				
4	Servidor apagado				
5	Validación de autenticidad del software SIIT.				
B	Fallo de verificación de funcionamiento Auto-prueba o desconectado			1	Fuente de poder del equipo en mal estado
				2	Falta de fluido eléctrico en la red.
				3	Temperatura ambiente muy alta provocando que los circuitos electrónicos se saturan > 40 °C.

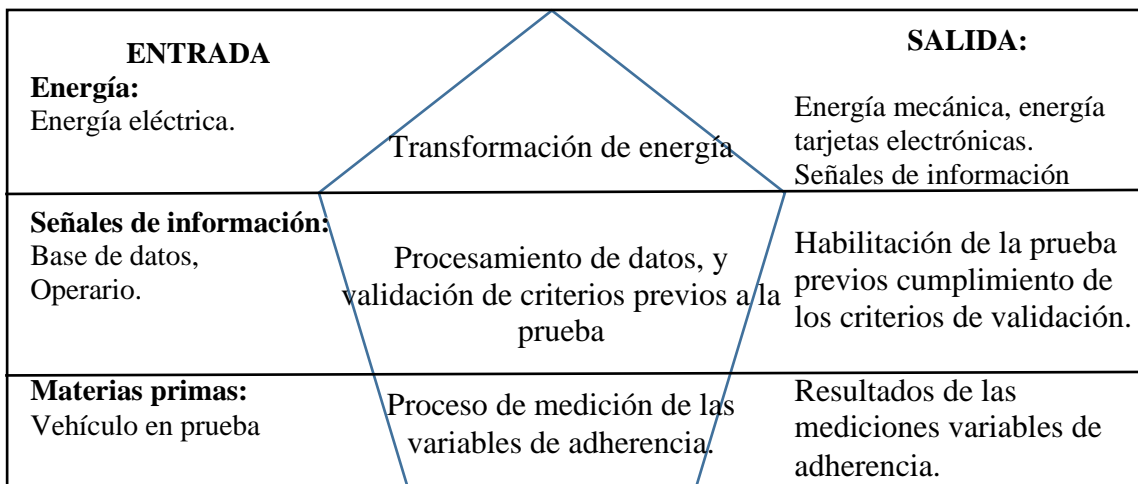
Fuente: Quintero, A. 2014

4.1.3 Probador de Suspensión

EQUIPO:	PROBADOR DE SUSPENSIÓN
FECHA:	2014-FEB-11
EMPRESA:	CDA VILLA DEL ROSARIO
PLANTA:	PISTA MIXTA
AREA:	ESTACION MECANIZADA
SISTEMA:	SUSPENSION
CODIGO:	PMPS1
SUBSISTEMA:	
<ul style="list-style-type: none">• Motor eléctrico.• Tarjeta de comunicación.• Rodamientos.• Celdas de carga.	
CARACTERISTICAS TECNICAS:	
MARCA: MOTORSCAN	
MODELO: 2210	
SERIAL: 3481523	
ERROR MAXIMO PERMITIDO: 3%.	
PESO: 450 Kg	
PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO: EUSAMA	
DIMENSIONES: 220X80X40 cm	
TENSION DE RED: 3 x 110 / 330 V 60Hz	
FRECUENCIA DE EJERCICIO: 0.25 Hz	
POTENCIA: 2.5 kW por motor trifase X 2	
PESO MAX POR EJE: 1800 Kg.	

<p>CONDICIONES OPERATIVAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • 10,5 horas de operación de 7:30 am a 6 pm • Equipo sin back up.
<p>CONDICIONES AMBIENTALES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Equipo expuesto al polvo. • Equipo expuesto a altas temperaturas ambiente operativas cercana o iguales a 40C°. • Equipo expuesto esfuerzos de trabajo / vibraciones.

Figura 17. Fronteras ó diagrama Del proceso probador de suspensión



Fuente: Quintero, A. 2014

<p>Función primaria:</p> <p>0. Medir la eficacia del sistema de amortiguadores “adherencia” con un error máximo de 3 % de los vehículos en prueba.</p>

Fallo funcional:

0. A. las mediciones registrados superan el error maximo de 3%

0. B. Falla en power box

Tabla 7. Femeca Probador de suspensión

Función principal:					
0). Medir la eficacia del sistema de amortiguadores "adherencia" con un error máximo de 3 % de los vehículos en prueba.					
Falla funcional					
0. A. las mediciones registrados superan el error maximo de 3%.					
0. B. Falla en power box.					
Código de la función	Función	falla funcional	Falla funcional	modo de falla	Descripción de modo de falla
0	Medir la eficacia del sistema de amortiguadores "adherencia" con un error máximo de 3 % de los vehículos en prueba.	A	las mediciones registrados superan el error maximo de 3%	1	Resorte desajustado, partido.
				2	Mala operación de la maquina
				3	Motor desalineado
				4	Fallas en las chumaceras
				5	Rodamiento de bulones en mal estado
				6	Bulores desajustados
				7	Salto de la protección térmica por sobre calentamiento en los motores
				8	Celdas de carga en mal estado
				9	Amplificadora de celdas de carga en mal estado.
				10	Cableado de celdas de carga en mal

					estado.
				11	Desajuste del confas
		B	Falla en power box	1	SMS no se reconoce USB incorrecta instalación de capturadora de datos
				2	Cable de USB en mal estado
				3	Fusible de motores fundidos
				4	Falla en el suministro eléctrico externo.
				5	Salto de la protección térmica por sobre carga o refrigeración en los motores
				6	Falla interna de power box

Fuente: Quintero, A. 2014

4.1.4 Freno metro

EQUIPO:	FRENOMETRO
FECHA:	2014-FEB-11
EMPRESA:	CDA VILLA DEL ROSARIO
PLANTA:	PISTA MIXTA
AREA:	ESTACION MECANIZADA
SISTEMA:	ESTACION DE FRENOS
CODIGO:	PMFR1
SUBSISTEMA:	
<ul style="list-style-type: none"> • Motor eléctrico trifásico. • Tarjeta de comunicación. • Tarjetas de potencia. • Sensores: peso, fuerza, presencia, giro. 	

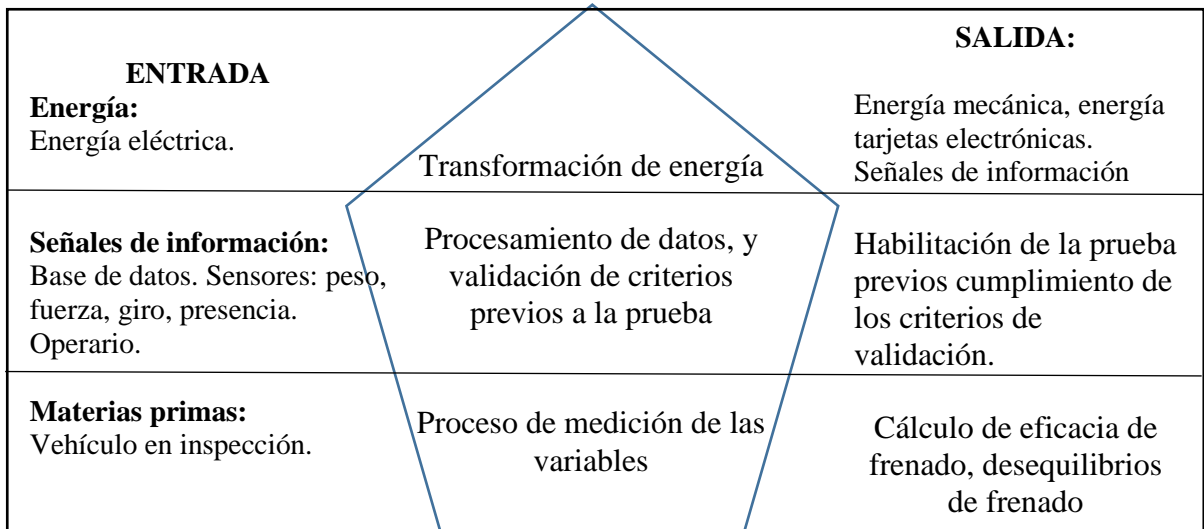
CARACTERISTICAS TECNICAS:**MARCA:** VAMAG**MODELO:** RBT/C2VFW**SERIAL:** 07074138**PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO:** RODILLOS**DIMENSIONES:** 4000X1250X670 mm**TENSION DE RED:** 3300 (+10%-15%)**CAPACIDAD DE CARGA POR EJE:** 120000N=12000Kg.**COEFICIENTE DE FRICCION MOJADO:** 0,6**FONDO DE ESCALA FUERZA DE FRENADO:** 30000 N.**POTENCIA MINIMA DE LOS MOTORES:** 2X11 Kw.**ERROR MAXIMO EN PESO:** 3% (valor medido).**ERROR MAXIMO EN FRENADO:** 3% (escala completa).**CONDICIONES OPERATIVAS**

- 10,5 horas de operación de 7:30 am a 6 pm
- Equipo sin back up.
- Equipo expuesto a vibraciones mecánicas.

CONDICIONES AMBIENTALES

- Equipo expuesto al polvo.
- Equipo expuesto a alta condensación de agua.

Figura 18. Fronteras ó diagrama Del proceso freno metro



Fuente: Quintero, A. 2014

Medir las eficacia y desequilibrio de frenado de los vehículos en prueba con una exactitud de fuerzas de frenado dentro del 3% de error “fondo de escala” y peso dentro del 3% de error “valor medido”.

FALLO FUNCIONAL

- 0. A. Sensor de peso registra datos con errores superiores a 3%.
- 0. B. Sensores de giro no registra datos.
- 0. C. Sensor de presencia no registra datos.
- 0. D. Capturadora de datos.
- 0. E. Tarjeta de potencia en mal estado.
- 0. F. Fusible caídos.
- 0. G. Salto de la protección térmica.
- 0. H. motor caído.
- 0. I. Fallo operacional de los motores.
- 0. J. Perdidas de las fases.
- 0. K. Falla en chumaceras.

Tabla 8. Femeca Freno metro

Función principal					
0). Medir las eficacia y desequilibrio de frenado de los vehículos en prueba con una exactitud de fuerzas de frenado dentro del 3% de error “fondo de escala” y peso dentro del 3% de error “valor medido”.					
0. A. Sensor de peso registra datos con errores superiores a 3%.					
0. B. Sensores de giro no registra datos.					
0. C. Sensor de presencia no registra datos.					
0. D. Capturadora de datos.					
0. E. Tarjeta de potencia en mal estado.					
0. F. Fusible caídos.					
0. G. Salto de la protección térmica.					
0. H. motor caído.					
0. I. Fallo operacional de los motores.					
0. J. Perdidas de las fases.					
0. K. Falla en chumaceras.					
Código de la función	Función	Letra de la falla funcional	Falla funcional	Numero modo de falla	Descripción de modo de falla
0	Medir las eficacia y desequilibrio de frenado de los vehículos en prueba con una exactitud de fuerzas de frenado dentro del 3% de error “fondo de escala” y peso dentro del 3% de error “valor medido”.	A	Sensores de peso o fuerza registran datos con errores superiores a 3%.	1	Sensores de peso o fuerza en corto.
				2	Des configuración del confas.
				3	Estructura del freno metro desalineada o desajustada.
				4	Sensor de peso o fuerza abierto.
		B	Sensor de giro no registra datos	1	Sensor desajustado.
				2	Cables del sensor rotos.
		C	Sensor de presencia no registra datos y Los motores no arrancan	1	Sensor desajustado.
				2	Cables del sensor rotos
		D	Capturadora de datos.	1	El fusible de alimentación en la capturadora está abierto.

			"SMS no se reconoce USB"	2	Mala instalación de la capturadora de datos.
		E	Tarjeta de potencia en mal estado. "Los motores no giran".	1	Desprendimiento de las pista del circuito impreso
		F	Fusibles fundidos "Los motores no giran"	1	Corto circuito.
				2	Sobre carga de corriente.
		G	Salto de la Protección térmica. "Los motores se detiene"	1	Corto circuito.
				2	Por refrigeración deficiente de los motores.
				3	Sobre carga de producción.
		H	Motor caído	1	Cargas excesivas sobre los rodillos.
				2	Tornillos de sujeción de la celda de fuerza partidos.
		I	Fallo operacional en los motores.	1	Desgaste, fractura de la corona en el reductor de velocidad." Ruido inusual del motor."
				2	Rodamientos del motor en mal estado.
				3	Tornillos de la bornera flojos.
		J	Perdida de las fases	1	Perdida de alguna fase en el suministro eléctrico
				2	Llave de contactores en mal estado.
				3	Breaker caídos.
		K	Falla en chumaceras	1	Rodamiento frenado
				2	Por desalineación del motor
				3	Por Fatiga en lo rodamientos del sistema.

Fuente: Quintero, A. 2014

4.2 MODELO DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

Ya teniendo clasificados los equipos críticos que serán objeto de estudio de mantenimiento centrado a la confiabilidad y llevado a cabo, el análisis de fallas, solo resta analizar resta llenar la hoja de decisión de los equipos clasificados como críticos.

Hoja que llevara las diferentes intervenciones sobre que rutinas de mantenimiento se va a realiza, con qué frecuencia y quien la va llevar a cabo.

Tabla 9. Modelo de mantenimiento propuesto para Freno metro

Código de la función	Letra de la falla funcional	Número o modo de falla	H	S	E	O	H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	H4	H5	Acciónn	HZ días	Quien
0	A	1	S	N	N	S	S					Sustitución de los celdas de fuerza	0	Indutesa
0	A	2	N				S					Verificación del correcto funcionamiento del software siit y configuración del confas	0	Indutesa
0	A	3	S	N	N	S						Verificación de alineación, ajuste y alineación de la estructura	120	Inspector
0	A	4	N				S					Sustitución de los celdas de fuerza	0	Indutesa
0	B	1	N				S					Verificar correcto funcionamiento puesta a punto del sensor.	8	Indutesa
0		2	S	N	N	S						Sustitucion del cable ado	0	Indutesa
0	C	1	N				S					Verificar correcto funcionamiento puesta a punto del sensor.	8	Indutesa
0		2	S	N	N	S						Sustitucion del cable ado	0	Indutesa
0	D	1	S	N	N	S						Sustitución del fusible y verificación del correcto funcionamiento.	0	Ing
0	D	2	S	N	N	S						Verificación del correcto instalación de la capturadora de datos	120	Indutesa

0	E	1	N				S				Verificación de la pista impresas del circuito de la etapa de control	120	Ing
0	F	1	S	N	N	S					Verificación y eliminación del corto circuito	0	Indutesa
0	F	2	S	N	N	S					Verificación y eliminación de la sobre carga	0	Indutesa
0	G	1	S	N	N	S					Verificación y eliminación del corto circuito	0	Indutesa
0	G	2	S	N	N	S					Verificación del estado de los ventiladores y/o sustitución	0	Indutesa
0	G	3	S	N	N	S					Verificación del peso de carga aplicado y garantizar la carga adecuada	0	Inspector
0	H	1	S	N	N	S					Verificación del peso de carga aplicado y garantizar la carga adecuada	0	Inspector
0	H	2	N				S				Verificación y ajuste de los tornillos de sujeción de la celda de carga	8	Inspector
0	I	1	S	N	N	S					Sustitución de la corona reductora	0	Indutesa
0	I	2	S	N	N	S					Verificación del estado y/o sustitución.	0	Inspector
0	I	3	N				S				Ajuste de los tornillos en la bornera	120	
0	J	1	S	N	N	S					Verificación del correcto suministro de la red eléctrica encender planta eléctrica	0	Ing
0	J	2	S	N	N	S					Verificación del correcto funcionamiento de la llave de contactores	120	Inspector
0	J	3	S	N	N	S					Verificar el funcionamiento y motive del disparo de los breaker	0	Inspector
0	K	1	N				S				Sustitucion de rodamientos	0	Indutesa
0	K	2	N				S				Verificación y ajuste de las alineaciones de los motores del freno metro	120	Indutesa
0	K	3	S	N	N	S					Sustitucion de los rodamientos	0	Indutesa

Fuente: Quintero, A. 2014

Tabla 10 Modelo de mantenimiento propuesto para probador de suspensión

Código de la función	Letra de la falla funcional	Numero modo de falla	H	S	E	O	H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	H4	H5	Accion	Quien
0	A	1	S	N	N	S						Revisar resortes y ajustar los que se encuentran sueltos	8 Inspector
0	A	2	S	N	N	S						Supervisar cual es el error de operación u reentrenar el personal	180 Ing
0	A	3	S	N	N	S						Verificar el correcto funcionamiento y alineación de los motores	120 Ing
0	A	4	N				S					Verificar el estado de la chumaceras y sustituir si es necesario	120 Inspector
0	A	5	S	N	N	S						Verificar el estado de los bulos, rayados, desajustados o con ausencia de balines en las canastillas.	8 Inspector
0	A	6	N				S					Verificar el estado de los bulos, rayados, desajustados o con ausencia de balines en las canastillas.	8 inspector
0	A	7	S	N	N	S						Verificar la causa del salto térmico y resetear los contactores	0 Ing
0	A	8	S	N	N	S						Verificar el correcto funcionamiento de la celda de carga y/o sustituir	0 Indutessa
0	A	9	N				S					Verificar el correcto funcionamiento de la celda de carga y/o sustituir	0
0	A	10	N				S					Sustitucion del cable ado	0 Inspector
	A	11	N				S					Verificación del correcto funcionamiento del software siit	8 Ing
0	B	1	S	N	N	S						Verificar el correcto funcionamiento e instalación de la capturadora de datos.	120 Ing
0	B	2	S	N	N	S						Sustitución del cable de USB	0 Inspector
0	B	3	S	N	N	S						Sustitución de los fusibles del motor	0 Inspector

0	B	4	S	N	N	S							Verificar el suministro eléctrico y/o encender la planta eléctrica	0	Inspector
0	B	5	S	N	N	S							Verificar el correcto funcionamiento de los motores y Sistema eléctrico de control si carga.		Inspector
0	B	6	S	N	N	S							Verificar el correcto funcionamiento y componentes electrónicos de la power box	120	inspector

Fuente: Quintero, A. 2014

Tabla 11. Modelo de mantenimiento propuesto para Opacidad.

Código de la función	Letra de la falla funcional	Numero modo de falla	H	S	E	O	H1	S1	O1	N1	H2	S2	O2	N2	H3	S3	O3	N3	H4	H5			
0	A	1	S	N	N	S															Aseo general del equipo	8	Inspector
0	A	2	N				S														Ajustar lampara	0	Lab indutesa
0	A	3	N				S														Sustitucion de lampara	0	Lab indutesa
0	A	4	N				S														Ajustar ganancia	0	Lab indutesa
0	B	1	S	N	N	S															Verificar conexiones del termo higrómetro y espera que mejore el clima	0	Inspector
0	B	2	S	N	N	S															Verificar conexiones del termo higrómetro/sustituir el cable	8	Inspector
0	B	3	N				S														Sustituir termohigromero	0	Inspector
1	A	1	S	N	N	S															Sustituir cable rs232	0	Inspector

1	A	2	S	N	N	S							Sustituir cable rs232	0	Inspector
1	A	3	S	N	N	S							Verificación de conexiones y encender los equipos	0	Inspector
1	A	4	S	N	N	S							Encender servidor y verificar conectividad en la red de datos	0	Inspector
1	A	5	S	N	N	S							Solicita clave de validación a indutes	0	Inspector
1	B	1	S	N	N	S							Sustitución de Fuente de poder	0	Inspector
1	B	2	S	N	N	S							Verificar la conexiones de red externas / encender la planta eléctrica	0	Inspector
1		3	S	N	N	S							Apagar y destapar los equipos con el fin de reducir la temperatura en que está operando los equipos	0	inspector

Fuente: Quintero, A. 2014

Tabla 12. Modelo de mantenimiento propuesto para Analizador de gases.

Código de la función	Letra de la falla funcional	Numero modo de falla	H	S	E	O	H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	H4	H5	TAREA PROPUESTA	Intervalo inicial	A realizarse por
0	A	1	S	N	N	S						Cambia filtros y mangueras	120	Inspector
0	A	2	N				S					Ajustar con gas patron	1	Inspector
0	B	1	S	N	N	S						Cambiar cable y conectar correctamente	0	Inspector
0	B	2	N				S					Cambiar	0	ING

2	A	1	S	N	N	S									Limpieza general de bomba de succión	8	Inspector
2	A	2	N				S								Verificar fugas en diafragmas y membranas / reemplazar membranas y diafragmas.	8	Inspector
2	B	1	N				S								Limpiezas general de membranas y diafragmas	8	Inspector
2	B	2	N				S								Reemplazar filtros y verificar instalación	120	Inspector
3	A	1	N				S								Medir el voltaje de el conector del sensor de oxigeno entre los pines de los extremos y reemplazar solo si el voltaje es inferior a 7 milivoltios.	8	Inspector
3	A	2	N				S								Verificar la conexión del sensor de oxigeno	8	Inspector
3	A	3	N				S								Desmontar y desarmar la válvula de flujo y eliminarle todo material particulado y hollín existente	8	Inspector

3	B	1	S	N	N	S						Verificar funcionamiento y Sustituir Fuente de poder	0	Inspector
3	B	2	S	N	N	S						Limpieza general al estator de bomba de succión	8	Inspector
4	A	1	N				S					Sustitución de manguera y filtros	120	Inspector
4	A	2	N				S					Ajustar parámetros de tarjeta sibeck	0	Lab indutesa
4	B	1	N				S					Medir el voltaje de el conector del sensor de oxígeno entre los pines de los extremos y reemplazar solo si el voltaje es inferior a 7 milivoltios.	8	Inspector
4	B	2	S	N	N	S						Verificar la conexión del sensor de oxígeno	8	Inspector
4	B	3	S	N	N	S						Verificar el correcto funcionamiento y calentamiento del equipo	1	Inspector

Fuente: Quintero, A. 2014

5. KPI UTIL PARA GESTION DE MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA CENTRO DE DIAGNOSTICO AUTOMOTOR VILLA DEL ROSARIO S.AS

Para generar el control y supervision a la gestion de mantenimiento se propone medir el indicador de disponibilidad de nombre indicador de infraestructura. Que mide la disponibilidad general de los equipos de inspeccion por lineas de revision en periodos de seis meses con el cual se enviara un informe con los resultado obtenidos de este indicador a la gerencia general, para este sea analizado junto con la alta direccion en el proceso de Revision gerencial y tomar deciciones y acciones de mejora a la gestion de mantenimiento.

De igual forma para este indicador se propone una meta objetivo que corresponde al 90% de disponibilidad para cada una de la lineas independientes: linea de inspeccion de motos y la linea de inspeccion mixta.

Estos resultados se presentan en un informe donde se especifica cada intervencion ejecutada a cada uno de los equipos, como lo presentamos en las figuras 19 y 20

En donde consiste en ir digitando segun el equipo. La informacion de las fallas e intervenciones realizadas a los equipos incluyendo el tiempo que duro cada una de ellas, y consignadas por cada uno de los operarios, en las Bitacoras de fallas y operadores.

Finalizado el periodo de analisis que es donde la gerencia requiere el indicador como objeto de entrada para la revision gerencia. Se procedera a contabilizar el numero total de intervenciones realizadas por cada linea de inspeccion que sera un criterio de entrada para que la plantilla de excel puede calcular los valores de disponibilidad, calculado estos valores de disponibilidad se entregara el informe a

la gerencia para su posterior analisis y acciones de mejoras propuestas por la alta direccion para la gestion de mantenimiento.

Tabla 13. Disponibilidad pista de motos

DISPONIBILIDAD PISTA DE MOTOS										
Días laborados de cada mes				29	28	28	30	29	28	
MTBF "tiempo en servicio" (11.5 horas de trabajo al día)				333,5	322	322	345	333,5	322	1978
programa anual				Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	total
				MP,CA	MP				MP	
id	ubicación	Equipo	codigo	MTTR	MTTR	MTTR	MTTR	MTTR	MTTR	Comentarios
1	EQUIPO DE PISTA	SERVIDOR	AKSE1							
2	EQUIPO DE PISTA	CPU ESPEJO	AKES1							
3	EQUIPO DE PISTA	ROUTER	AKRO1							
4	EQUIPO DE PISTA	PASS PANEL	AKPP1							
5	EQUIPO DE PISTA	KVM	AKKV1							
6	EQUIPO DE PISTA	FUENTE	AKFU1							
7	EQUIPO DE PISTA	SWITCH	AKSW1							
8	EQUIPO DE PISTA	BLOQUEADOR NEUMATICO	PVBN1	0,571				0,571		
9	EQUIPO DE PISTA	BLOQUEADOR NEUMATICO	PVBN2	0,571				0,571		
10	EQUIPO DE PISTA	BOMBA ELEVADOR DE MOTOS	PVBE1	0,571				0,571		
11	EQUIPO DE PISTA	ELEVADOR DE MOTOS	PVEM1	0,571				0,571		
12	EQUIPO DE PISTA	FRENOMETRO	PMFR2	0,571	0,68	0,33		0,571		
13	EQUIPO DE PISTA	SONOMETRO	PVSO2	0,571	0,68			0,571		
14	EQUIPO DE PISTA	ANALIZADOR DE GASES 4T	PAAG3	0,571	0,68	0,5		0,571		
15	EQUIPO DE PISTA	ANALIZADOR DE GASES 2T	PAAG2	0,571	0,68			0,571		
16	EQUIPO DE PISTA	ALINEADOR DE LUCES (LUXOMETRO)	PMAL1	0,571	0,68			0,571		
17	EQUIPO DE PISTA	PISTOFONO	PVPI1	0,571	0,68			0,571		
18	EQUIPO DE PISTA	CPU ANALISIS DE GASES	PAPC1	0,571				0,571		
19	EQUIPO DE PISTA	CPU VISUAL MOTO	PMPC4	0,571				0,571		
20	EQUIPO DE PISTA	CPU FRENOMETRO MOTO	PMPC5	0,571	0,68			0,571		
21	EQUIPO DE PISTA	CAMARA	PACA1	0,571				0,571		
22	EQUIPO DE PISTA	CAMARA	PVCA1	0,571				0,571		
				8,565	4,76	0,83	0	8,565	0	22,72
DISPONIBILIDAD			98,864	%						

Fuente: Quintero, A. 2014

6. CONCLUSIONES

La metodología de RCM permitió recoger el conocimiento existente sobre las diferentes fallas de los diferentes equipos empleados.

La metodología de RCM permitió clasificar los equipos según su nivel de criticidad para darle de esta manera una mejor gestión.

La monografía permitió obtener un conocimiento metodológico de cómo abordar la gestión del mantenimiento para los equipos de la empresa y la gestión de conocimiento derivado de las experiencias adquiridas en cada intervención realizada al activo.

La metodología de RCM proporciona una herramienta robusta que permite ser aplicada para generar planes de mantenimiento según los requerimientos de los equipos.

La aplicación de la metodología RCM aporta durante los diferentes procesos un fortalecimiento del conocimiento específico de los diferentes equipos y qué efectos tiene sobre las funciones los diferentes modos de falla.

El Diagrama de decisión RCM es un paso que nos ayuda a tomar las decisiones en la selección de las tareas del plan de mantenimiento del sistema analizado.

El seguimiento al cumplimiento y continua actualización de la mano del ciclo de Deming de los resultados de la metodología RCM según vayan apareciendo modos de falla no identificados, son factores determinantes para asegurar la confiabilidad de los activos.

BIBLIOGRAFÍA

BORRAS PINILLA, Carlos. Principios de mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2011. p.126.

MORA, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios. Colombia: AMG, 2009. p.271, 273, 286

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. México: Aladon, 2004. p.6, 7 Y 8.

MOUBRAY. JHON. Reliability-Centered Maintenance RCM II. New York: Industrial Press Inc, 1997. p. 7.

NASA. Reliability Centered Maintenance Guide or Facilities and Collateral Equipment. 2000. P. 1-1.

R. Orlando, T. Alexander, T. Wilson. Estrategia de Mantenimiento Para la Nueva Planta de Gas de Ecopetrol S.A. p50-51.

SAE JA1011. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. Society of Automotive Engineers, Inc 1999.

GANGI SERGIO, INGARAMO RICARDO, SASTRE JAVIER, PONTELLI DANIEL. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad: Ejemplo de Aplicación en una Industria Farmacéutica, 1er. Cordoba: Universidad Nacional de Córdoba, 2012. p 6

Andrés Vera, MTO: criticidad [en línea], <http://utsvera.blogspot.com/2013/03/mto-criticidad.html>> [citado en agosto Del 2014]

Amendola, L. Gestión integral Del Mantenimiento de Activos Como Estrategia de Negocios (Assessment, PAS 55 – ISO 55000) [en línea], <<http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/amendola2011.pdf>> [citado en agosto Del 2014].

The British Standards Institution BSI. Pas 55 asset management [en linea] <<http://pas55.net/spanish/whatis.asp#>>. [Citado en agosto del 2014]

The Institute of Asset Management (IAM). What is ISO 55000 [en linea] <<http://www.assetmanagementstandards.com/index.html>>. [Citado en agosto Del 2014]