

PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO APLICADO A LA
MAQUINARIA PESADA DE LA EMPRESA ARISMENDY ANDRADE S.A.S
BASADO EN CONFIABILIDAD

MELISSA TATIANA DAZA MOLANO
ALVARO JUNIOR LOBATÓN POLO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2018

PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO APLICADO A LA
MAQUINARIA PESADA DE LA EMPRESA ARISMENDY ANDRADE S.A.S
BASADO EN CONFIABILIDAD

MELISSA TATIANA DAZA MOLANO
ALVARO JUNIOR LOBATÓN POLO

Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de Especialista
en Gerencia de mantenimiento

Director: LUIS MIGUEL MIRANDA VERA
Ingeniero civil-Mecánico

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

2018

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. CONCEPTOS GENERALES	14
1.1 Historia y ubicación de ARISMENDY ANDRADE S.A.S	14
1.2 Portafolio de Servicios	15
1.3 ORGANIGRAMA	15
1.4 MISIÓN Y VISIÓN	16
1.5 POLÍTICA Y OBJETIVO DE CALIDAD	17
1.6 ESTRUCTURA Y ORGANIZACIÓN DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO	17
1.7 MAQUINARIA PESADA DE ARISMENDY ANDRADE	17
1.8 Planteamiento del problema	18
1.9 OBJETIVOS	19
1.9.1 Objetivo general.	19
1.9.2 Objetivos específicos	19
1.10 JUSTIFICACIÓN	20
2. MARCO TEORICO	22
2.1 Generalidades del Mantenimiento	22
2.2 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM	25
2.3 Historia y Antecedentes del RCM.	25
2.4 especificaciones del RCM	27
2.5 Pasos para Implementación del RCM	29
2.5.1 Determinación de las fallas funcionales.	30
2.5.2 Determinación de los modos de falla o causas de cada uno de los fallos	30

2.5.3	Estudio de las consecuencias de cada modo de fallo	30
2.6	Modos de falla y Análisis de Efectos (FMEA)	31
2.7	Componentes del RCM	32
2.8	Objetivos del RCM	34
2.9	NORMA SAE JA 1011	35
2.10	Generalidades de maquinaria pesada	36
2.10.1	Retroexcavadoras	36
2.10.2	Retroexcavadora JCB 3CX.	39
2.10.3	Mini cargador JCB 260	40
3.	ANALISIS DE CONFIABILIDAD APLICADO A LA MAQUINARIA DE ARISMENDY ANDRADE S.A.S	42
3.1	CONFORMACIÓN DEL EQUIPO DE TRABAJO DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO ARISMENDY ANDRADE	42
3.2	RECOLECCIÓN DE DATOS Y MANEJO DE LA INFORMACIÓN	42
3.3	ANALISIS DE CRITICIDAD EN LOS EQUIPOS DE ARISMENDY ANDRADE	48
3.4	ESTUDIO DE CONFIABILIDAD (RCM)	54
3.4.1	Selección de equipos	54
3.4.2	Selección de fronteras	55
3.4.3	Análisis de modos de falla (AMFE)	59
3.4.4	Diagrama de decisión de RCM	65
3.5	PROPUESTA PLAN DE MANTENIMIENTO	68
3.6	PROPUESTA DE INDICADORES PARA EL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE ARISMENDY ANDRADE	72
4.	CONCLUSIONES	76
	BIBLIOGRAFIA	78

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Descripción y relación de tipos y marcas de la maquinaria pesada de Arismendy Andrade S.A.S	18
Tabla 2. Maquinaria y equipo de ARISMENDY ANDRADE S.A.S	43
Tabla 3. Tabla de Pareto frecuencia de fallas.....	49
Tabla 4. Tabla de Pareto frecuencia de fallas.....	51
Tabla 5. Listado de equipos base para el estudio de confiabilidad	53
Tabla 6. Clasificación y descripción de sistemas de retroexcavadora JCB3C	56
Tabla 7. Metodología propuesta para el desarrollo de análisis RCM.....	60
Tabla 8. Especificaciones sistema hidráulico Retroexcavadora y minicargador JCB	63

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación Arismendy Andrade.....	14
Figura 2. Organigrama.....	16
Figura 3. Elementos del sistema kantiano	23
Figura 4. Curva de la Bañera	26
Figura 5. Componentes del RCM.....	32
Figura 6. Dimensiones estáticas de la retroexcavadora JCB 3CX.....	39
Figura 7. Especificaciones del motor DIESELMAX.....	40
Figura 8. Especificaciones minicargador JCB260.....	41
Figura 9. Organigrama departamento de mantenimiento	42
Figura 10. Formato diseñado para el reporte de fallas de equipos	45
Figura 11. Formato reporte de mantenimientos	46
Figura 12. Matriz de registros de mantenimientos de equipos.....	47
Figura 13. Descripción plan de mantenimiento ARISMENDY ANDRADE	48
Figura 14. Diagrama de Pareto frecuencia de fallas	50
Figura 15. Diagrama de Pareto costo mantenimiento correctivo 2017	52
Figura 16. Retroexcavadora JCB 3C	54
Figura 17. Especificaciones minicargador JCB260.....	55
Figura 18. Escala de probabilidad de ocurrencia de fallas.....	61
Figura 19. Especificaciones motor Minicargador CB260	61
Figura 20. Especificaciones motor retroexcavadora jcb3c.....	62
Figura 21. Hoja de RCM sistema motor de la retroexcavadora JCB3C y el minicargador JCB260.	62
Figura 22. Hoja de RCM sistema hidráulico de la retroexcavadora JCB3C y el minicargador JCB260	63
Figura 23. Especificaciones sistema eléctrico Retroexcavadora JCB.....	64
Figura 24. Especificaciones sistema eléctrico Retroexcavadora JCB.....	64

Figura 25 . Hoja de RCM sistema eléctrico de la retroexcavadora JCB3C y el minicargador JCB260	65
Figura 26. Diagrama de decisión RCM.....	66
Figura 27. Hoja de decisión RCM ARISMENDY ANDRADE	67
Figura 28. Factores que componen el plan de mantenimiento de ARISMENDY ANDRADE	68
Figura 29. Hoja de decisión de RCM	70
Figura 30. Estructura plan de mantenimiento	71

RESUMEN

TITULO: PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO APLICADO A LA MAQUINARIA PESADA DE LA EMPRESA ARISMENDY ANDRADE S.A.S. BASADO EN CONFIABILIDAD

AUTORES:

MELISSA DAZA MOLANO

ALVARO LOBATON POLO

PALABRAS CLAVES: RCM, retroexcavadora, minicargador, mantenimiento, kpi's.

DESCRIPCIÓN:

La presente monografía surge a raíz de la necesidad de la empresa Arismendy Andrade S.A.S. de aumentar su competitividad en el mercado de alquiler de maquinaria pesada en la Costa Caribe colombiana, al mantener su flota de vehículos disponibles, aumentar su ciclo de vida y en estado óptimo a un costo que les permita ser rentables. Debido a esto, se propone un plan de mantenimiento basado en Confiabilidad RCM para las retroexcavadoras y los minicargadores equipos seleccionados luego de realizar un análisis de criticidad en él que se obtuvo como resultado que estos registran las cifras más significativas de fallas sumándole la alta demanda por parte de los clientes, lo que ocasiona pérdidas operacionales para la compañía debido a los altos costos del mantenimiento correctivo. Por otra parte, para el estudio de confiabilidad es importante mencionar que la metodología que se llevó a cabo está basada en los fundamentos del RCM, en donde se definieron funciones principales y secundarias, fallas funcionales, modos de falla, y efectos en los principales sistemas de cada uno de los equipos. Producto de este análisis basado en confiabilidad, se obtiene una propuesta de plan de mantenimiento en el cual se determinan las actividades a realizar y la frecuencia recomendada para así asegurar que los activos cumplan con las funciones para las cuales fueron diseñados y al mismo tiempo ayudar a cumplir los KPI's propuestos.

*Monografía de Especialización

**Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.
Director. Luis Miguel Miranda, Ingeniero Mecánico.

ABSTRACT

TITLE: PROPOSAL OF A MAINTENANCE PROGRAM BASED ON REABILITY APPLIED TO THE HEAVY-DUTY MACHINERY OF THE COMPANY ARISMENDY ANDRADE S.A.S.

AUTHORS:

MELISSA DAZA MOLANO

ALVARO LOBATON POLO

KEYWORDS: RCM, backhoe, skid-steer loader, forklift, maintenance, kpi´s.

DESCRIPTION:

This project arises from the need of the company Arismendy Andrade S.A.S. to increase its competitiveness in the heavy-duty machinery rental market in the Colombian Caribbean Coast, by keeping its fleet of vehicles available, increasing its life cycle and in optimum condition at a cost that allows them to be profitable. Due to this, a maintenance plan based on RCM Reliability is proposed for forklifts and skid-steer loaders, as a result of a criticality analysis that was performed in order to determine in which equipments of the fleet registers the most significant failure figures, in cost and frequency, adding to this the high demand from customers which causes operational losses for the company due to the high costs of corrective maintenance. In addition, for this reliability study the methodology implemented is based on the main principles of the RCM technique, which includes determining primary and secondary functions, functional failures, failure modes and the effects that they have on the main systems of each equipment included on the analysis. As a result of this analysis based on reliability, a maintenance plan proposal is obtained in which the activities to be carried out and the recommended frequency are determined in order to ensure that the assets comply with the functions for which they were designed and at the same time help meet the proposed KPIs.

*Monograph

**Faculty of Mechanical-Physics Engineering. Specialization in Maintenance Management. Director. Luis Miguel Miranda, Mechanical Engineer.

INTRODUCCIÓN

Arismendy Andrade S.A.S es una empresa dedicada al alquiler de maquinaria pesada utilizada en el sector de la construcción, ubicada en la ciudad de Cartagena y con el objetivo de ser reconocida a nivel nacional se encuentra en la búsqueda de estrategias de mejora en la prestación de sus servicios, motivo por el cual nos ha permitido llevar a cabo el análisis y diseño de una propuesta de plan de mantenimiento basado en confiabilidad para sus equipos. Dentro de la maquinaria pesada se encuentran los mini cargadores y retroexcavadoras sobre llantas los cuales serán el objeto de estudio en la presente monografía, dado que los mismos presentan continuas fallas en la operación afectando así el servicio prestado y el acarreo de costos de mantenimiento no presupuestados, factores que inciden directamente en la rentabilidad del negocio.

Dentro de los muchos beneficios que conlleva el desarrollo y la aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad se identificó que el hecho de tener la oportunidad de profundizar y explotar todo el potencial de la maquinaria hace de esta metodología la más viable para el desarrollo y la reestructuración de un plan de mantenimiento.

1. CONCEPTOS GENERALES

1.1 HISTORIA Y UBICACIÓN DE ARISMENDY ANDRADE S.A.S

La empresa Arismendy Andrade fue fundada el 7 de noviembre del año 1997, por los señores Edgar Arismendy y María Eugenia Andrade dada la necesidad que se estaba presentando en Cartagena y toda Colombia en servicios de ingeniería de construcción y de alquiler de equipos y maquinaria, la idea concebida desde un inicio contemplo una empresa en la que se brindara servicios integrales con el fin de dar solución y convertirse en un aliado en el desarrollo de proyectos relacionados con la industria y la construcción.

En la actualidad Arismendy Andrade S.A.S., cuenta con una Sede Principal en la Ciudad de Cartagena de Indias en la zona industrial (Mamonal) y Sucursales en los departamentos de Córdoba – Montería y Antioquia - Barbosa, lo cual les permite atender a todos los clientes a nivel nacional.

Figura 1. Ubicación Arismendy Andrade



Fuente. Google Maps [En línea] (consultado el 8 de marzo de 2018) Disponible en: <https://www.google.com/maps/place/Arismendy+Andrade>

1.2 PORTAFOLIO DE SERVICIOS

A medida que las necesidades del mercado se hacían más demandantes se iban creando unidades de negocio de manera que se aprovecharan todas aquellas oportunidades de crecimiento que la zona y la industria brindaban, dicho esto los servicios consolidados a hoy corresponden a:

- Obras civiles mayores y menores
- Ensamble y alquiler de baños ecológicos
- Alquiler y venta de andamios multi-direccionales, de cruceta y argentinos (tubulares)
- Alquiler y venta de carpas
- Servicios de mecánica industrial
- Movimientos de tierra
- Mecánica menor automotriz
- Mecánica mayor Equipos pesados
- Carpintería
- Metalmecánica
- Alquiler de equipos mayores y menores de construcción
- Tratamientos térmicos
- Servicio de transporte de carga local y nacional.

1.3 ORGANIGRAMA

Arismendy Andrade S.A.S ha equilibrado los diferentes aspectos que componen el clima organizacional, de tal manera que se han distribuido y organizado los diferentes departamentos que la componen estratégicamente dando paso a la creación de una estructura jerárquica descendente tal y como se muestra a continuación:

Figura 2. Organigrama



Fuente. Autores

1.4 MISIÓN Y VISIÓN

La misión establecida de Arismendy Andrade es brindar soluciones integrales para el desarrollo de proyectos de ingeniería de construcción y mantenimiento industrial garantizando a nuestros clientes servicios confiables, oportunos y con calidad, con un talento humano altamente calificado, bajo una filosofía de compromiso, lealtad y cumplimiento.

Así mismo, su visión para el año 2020 Arismendy Andrade, es que será una organización consolidada y reconocida a nivel nacional, en la prestación de servicios que brinden soluciones integrales e innovadoras para el desarrollo de proyectos de ingeniería de construcción y mantenimiento industrial con un talento humano que garantice un alto nivel de servicio a nuestros clientes y trabajando de manera socialmente responsable en unión a nuestro entorno.

1.5 POLÍTICA Y OBJETIVO DE CALIDAD

La política de calidad diseñada y aplicada por la empresa Arismendy Andrade establece: “Orientar sus esfuerzos a satisfacer las necesidades y atender las expectativas de nuestros clientes, colaboradores, proveedores, accionistas y la sociedad en general garantizando a nuestros clientes servicios confiables, oportunos y con calidad, con un talento humano altamente calificado, bajo una filosofía de compromiso, lealtad y cumplimiento”.

Por lo anterior los objetivos de calidad tal y como los describe la descripción de la empresa son:

- Mejorar continuamente los procesos que conforman el sistema de gestión de la empresa, optimizar los servicios que le prestamos a nuestros clientes.
- Fortalecer las competencias de nuestro talento humano, mediante su desarrollo personal y profesional.
- Promover y mantener ambientes de trabajos seguros, saludables y de respeto mutuo.

1.6 ESTRUCTURA Y ORGANIZACIÓN DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

El departamento de mantenimiento, encargado del alistamiento, mantenimiento y recepción de los equipos destinados a alquilar se conforma por las áreas de almacén subdividida en compra e inventario y taller del cual hacen parte el personal técnico y el jefe de mantenimiento.

1.7 MAQUINARIA PESADA DE ARISMENDY ANDRADE

Arismendy Andrade actualmente cuenta con un amplio inventario de maquinaria conformado por retroexcavadoras, minicargadores , montacargas, entre otros

siendo estos de marcas reconocidas tales como: CATERPILLAR y JCB, dicho Inventario se relaciona a continuación para efectos informativos:

Tabla 1. Descripción y relación de tipos y marcas de la maquinaria pesada de Arismendy Andrade S.A.S

EQUIPO	MARCA
Retrocargador sobre llantas	JCB
Montacargas	CATERPILLAR
Montacargas	LIU GONG
Montacargas	CATERPILLAR
Mini cargador	JCB
Minicargador	CATERPILLAR
Vibrocompactador 2.6 toneladas	JCB
Vibrocompactador 2.6	AMMAN
Grúa	TEREX
Buldócer	CATERPILLAR

Fuente. Autores

1.8 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Arismendy Andrade S.A.S es una empresa dedicada al alquiler de vehículos y maquinaria para el desarrollo de proyectos de Ingeniería de construcción y mantenimiento industrial ubicada en la costa caribe colombiana. Debido al rápido crecimiento económico en la región la demanda de equipos y vehículos ha aumentado, así como la exigencia en la calidad de los servicios que debe prestar la empresa. Por tal motivo la compañía enfrenta el reto de ofrecer equipos seguros y aptos para la ejecución de diferentes actividades para la industria de la región.

Para cumplir con las exigencias del mercado y mantener la competitividad de la empresa, Arismendy Andrade S.A.S debe, en primera medida, asegurar la disponibilidad de sus equipos, la cual se ha visto afectada debido a fallas recurrentes en los diferentes componentes y sistemas de los equipos por la falta de seguimiento y correcta aplicación del plan de mantenimiento.

El panorama actual del departamento de mantenimiento de la empresa muestra que la falta de creación y seguimiento de indicadores ha ocasionado inconvenientes para identificar los actores que afectan la disponibilidad de los equipos, lo cual ha generado disminución en la satisfacción al cliente y el aumento de quejas respecto al funcionamiento de los equipos.

Por otro lado, las constantes paradas no programadas de equipos debido al temprano desgaste de repuestos ocasionado por diversos factores como: la mala operación, el sobreesfuerzo, la instalación incorrecta entre otros, se ha convertido en un serio problema a la hora de pensar en costos de reparación e inversión en mantenimiento.

1.9 OBJETIVOS

1.9.1 Objetivo general. Proponer una metodología de mantenimiento basado en RCM para garantizar la disponibilidad de la maquinaria pesada por parte del departamento de mantenimiento de Arismendi Andrade S.A.S.

1.9.2 Objetivos específicos

- Identificar modos de falla en la maquinaria de la empresa Arismendi Andrade.
- Clasificar los equipos que hacen parte de la maquinaria pesada de acuerdo al nivel de criticidad obtenido.
- Elaborar la programación para las actividades de mantenimiento, de acuerdo al estudio de criticidad y modos de falla para garantizar el correcto funcionamiento durante su vida útil y disminuyendo los tiempos de inactividad.

- Proponer indicadores de gestión del departamento, con el fin de garantizar la trazabilidad y el control adecuado al plan de mantenimiento.

1.10 JUSTIFICACIÓN

Arismendy Andrade S.A.S. se encuentra ubicada en Cartagena, siendo la ciudad con mayor dinamismo económico en Colombia y mayores indicadores en la demanda de proyectos de construcción y sector industrial en general. Los equipos pesados que alquila la compañía están destinados en su gran mayoría a estos sectores de la economía, como retroexcavadoras, grúas, montacargas, entre otros, razón por la cual es de vital importancia mantenerlos operativos y en óptimas condiciones de mantenimiento y seguridad para poder así brindar un servicio de alta calidad y mantenerse competitivos en el mercado.

El departamento de mantenimiento específicamente enfrenta grandes retos, ya que al realizar un inadecuado mantenimiento sobre uno de los equipos representa un riesgo potencial durante la operación de los mismos lo cual puede generar accidentes fatales y multas que pueden ocasionar el cierre de la empresa. Es allí donde reside la mayor responsabilidad que tiene el departamento y las actividades que realiza el personal encargado de ejecutar los mantenimientos preventivos, predictivos y correctivos en Arismendy Andrade S.A.S. y la importancia en la correcta planeación basada en confiabilidad para evitar riesgos en la seguridad tanto del personal como la integridad de los equipos. Adicionalmente, al presentarse fallas en los equipos, la empresa incurre en grandes pérdidas económicas debido a la baja disponibilidad y al incremento en el costo de compra de repuestos y mano de obra que fácilmente se puede evitar con un adecuado direccionamiento y buenas prácticas dentro del departamento.

Por otro lado, el marco legal colombiano exige a las empresas de transporte el cumplimiento de la resolución 1565 de 2014 del Ministerio de Transporte donde

explícitamente se establece la importancia de tener un plan de mantenimiento preventivo, y de realizar seguimiento a la ejecución y documentación del mismo.

2. MARCO TEORICO

2.1 GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO

Desde la revolución industrial en 1840, el tema de mantenimiento de los sistemas de ingeniería ha sido un reto continuo. Aunque ha habido grandes progresos en mantener toda clase de equipos en correcto funcionamiento, esta área del conocimiento sigue siendo un problema desafiante debido a varios factores como la complejidad de las nuevas tecnologías, costos, y modelos económicos que obligan a las compañías a ser cada vez más competitivas para poder seguir manteniéndose en el mercado.

Los costos de mantenimiento anuales de las diferentes industrias tanto en Colombia, como en el mundo constituyen un porcentaje importante en las utilidades de las mismas, es por esto que urge la necesidad de implementar estrategias que resulten en unas prácticas efectivas derivadas del adecuado manejo de los activos de las compañías y que impacte, al mismo tiempo, positivamente en indicadores claves como calidad, seguridad, precios, innovación, confiabilidad en entregas y rentabilidad.

Dhillon¹ define tres términos que son claves para el desarrollo y la comprensión de todo el documento y son los siguientes:

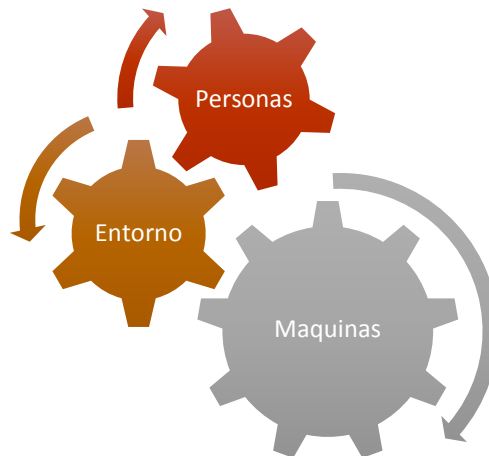
- **Mantenibilidad:** Es la probabilidad que un equipo o componente en falla pueda ser restablecido a su estado de operación óptimo.
- **Mantenimiento:** Son todas las acciones necesarias para conservar un equipo o componente en una condición o estado deseado.

¹ DHILLON, Ph.d, Engineering Maintenance: a Modern Approach, CRC Press LLC, 2002.

- **Confiabilidad:** Es la probabilidad de que un equipo ejecutará su labor asignada de manera satisfactoria por un periodo de tiempo establecido, cuando sea operado con unas condiciones establecidas.

En el caso particular de los equipos maquinaria pesada de Arismendy Andrade S.A.S, son equipos complejos ya que sus elementos principales incluyen el motor o fuerza motriz, palas baldes y cuchillas, ruedas neumáticas o de oruga, sistemas hidráulicos, entre otros, los cuales deben estar en perfecto sincronismo para garantizar la seguridad, el medio ambiente, vida útil de los equipos y la competitividad de la compañía. Para alcanzar estos hitos, es necesario reorganizar las funciones dentro del departamento de mantenimiento y la gerencia general y entrelazar la Teoría General de la Administración y la Teoría del Sistema Kantiano de Mantenimiento tal como lo plantea Enrique Gomez Duarte² y Mora³ donde se precisa que un sistema está compuesto básicamente por tres elementos: personas, artefactos y entorno tal como lo muestra la siguiente gráfica:

Figura 3. Elementos del sistema kantiano



Fuente. Autores

De acuerdo a Mora³ el enfoque sistémico Kantiano se tiene en primera medida a las personas ya que son las que permiten que el sistema exista y le dan el carácter real.

Las maquinas o artefactos constituyen el segundo elemento que es el sistema de producción, componentes, herramientas, utensilios, documentos, los cuales son reales y requeridos para realizar el mantenimiento. Y finalmente el tercer componente es el entorno y constituyen todos los elementos del sistema, en donde se encuentran las maquinas que hacen posible los bienes reales o de servicio.

A su vez la Teoría de la Administración² plantea esta área del conocimiento como un proceso de planear, organizar, dirigir y controlar el uso de los recursos para lograr objetivos organizacionales. Es por ello, que en la compañía se debe trabajar puntualmente en los siguientes aspectos para alcanzar los objetivos:

- Planeación y ejecución de actividades de mantenimiento en niveles óptimos.
- Realizar mantenimiento preventivo, desarrollando e implementando trabajos programados de manera regular con el propósito de mantener satisfactoriamente la operación de los equipos, así como prevenir fallas mayores.
- Establecer un presupuesto por parte de la gerencia que sean razonables y acordes a las necesidades del departamento y que incluyan de manera detallada los costos de mano de obra y repuestos.
- Mantener un inventario actualizado y disponible de herramientas y repuestos necesarios para desarrollar las tareas de mantenimiento según recomendaciones del fabricante

Tener un registro de los datos relevantes como ordenes de trabajo, hojas de vida de los equipos, capacitaciones del personal, entre otros, para poder realizar un correcto seguimiento al estado de las actividades relevantes.

² GOMEZ, Enrique Modelo Gerencia para la administración del mantenimiento y operación de la flota de vehículos de la unidad de equipo pesado de Mansarovar Energy Colombia LTD, UIS, 2010.

³ MORA, Alberto. Mantenimiento Estratégico Para Empresas Industriales o de Servicios 2Ed. Envigado.:AMG2009. 306p.

- Inspeccionar y supervisar de manera efectiva las actividades del personal de mantenimiento y así realizar una retroalimentación sensata cada vez que sea necesario.
- Capacitar el equipo de mantenimiento y cualquier otro personal involucrado para mejorar sus habilidades y asegurar que realicen su trabajo efectivamente.

2.2 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés) no es algo nuevo. De hecho, desde comienzos de los años sesenta existen programas similares, inicialmente dirigidos a la industria aeronáutica pero solo hasta la última década ha tomado especial importancia en otras industrias debido a la criticidad de los diferentes procesos, la competencia, calidad y otros factores que exigen siempre la mayor disponibilidad de los equipos a los menores costos posibles.

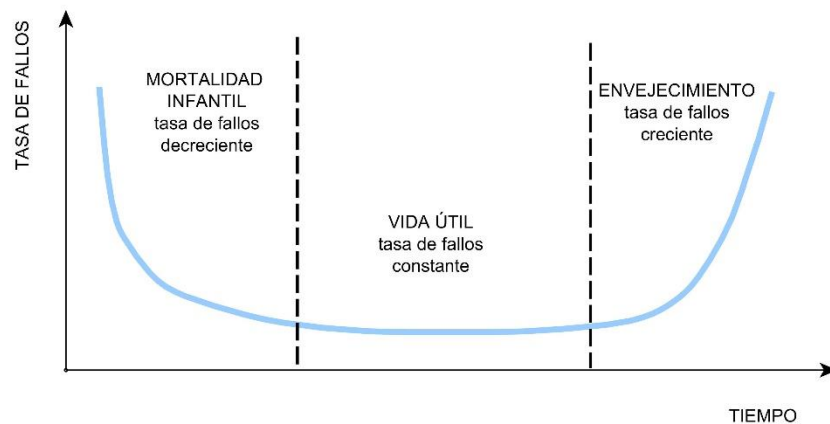
2.3 HISTORIA Y ANTECEDENTES DEL RCM.

A finales de la década de los 60s, la industria aeronáutica se encontraba en el desarrollo del famoso avión jumbo jet. Para la aprobación de la licencia de circulación del Boeing 747, por parte de la FAA (Federal Aviation Administration, por sus siglas en inglés), se requería, entre muchas otras cosas, que el fabricante desarrollara un programa de mantenimiento muy detallado para este tipo de avión, el cual era mucho más grande, con nuevos modelos de motor y otros avances tecnológicos en estructura y aviónica.

Este desarrollo y nuevas exigencias gubernamentales llevaron a la industria de aviones comerciales a emprender una reevaluación completa de la estrategia de mantenimiento preventivo. La aerolínea norteamericana United Airlines lideró estos

esfuerzos de revisar profundamente *por qué* se debía realizar mantenimiento y el *cómo* debía llevarse a cabo. Uno de los resultados de este estudio es la famosa **curva de la bañera** (ver figura 4. Curva de la Bañera) la cual representa la función de falla de la mayoría de equipos electromecánicos de la época. Básicamente representa la vida de un aparato, y demuestra que la tasa de fallo instantánea resulta ser relativamente alta (es lo que se denomina “mortalidad infantil”); una vez que los componentes y partes se han acoplado, la tasa de fallo es relativamente constante y baja (etapa de “vida útil”); más adelante, tras un tiempo de funcionamiento, la tasa de fallo vuelve a incrementarse hasta que, finalmente, todos los dispositivos habrán fallado.

Figura 4. Curva de la Bañera



Fuente: CASTELA, Francisco. Mantenimiento Industrial-Curva de la bañera [En línea]. [Consultado el: 08 de febrero de 2018]. Disponible en:

<https://mantenimientoindustrialweb.wordpress.com/2016/06/14/curva-de-la-banera/>

Las consecuencias del estudio llevado a cabo por United Airlines no solo se resumen en la curva de la bañera, sino que se generó un nuevo enfoque en la manera como se llevaban a cabo las actividades de mantenimiento preventivo que eran esenciales para preservar la seguridad las funciones críticas de las aeronaves durante los vuelos. Esta nueva técnica fue denominada MSG-1 (Maintenance

Steering Group-1) para el modelo 747, y fue posteriormente aprobada por la FAA, lo cual llevó a la factibilidad de la comercialización en implementación del programa de mantenimiento de este tipo de aviones a nivel mundial.

A raíz de este caso de éxito, se han desarrollado nuevas versiones y modificaciones de esta técnica denominada MSG-2, MSG-3 y a partir de 1975 se empezó a llamarse "Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, y ha sido aplicado a la industria militar, plantas nucleares, entre otras. Debido a esto, las grandes industrias empezaron a explorar e implementar el RCM como base para mejorar sus programas de mantenimiento.

2.4 ESPECIFICACIONES DEL RCM

La definición de RCM según Bloom⁴ puede resumirse como un conjunto de actividades generadas por una evaluación sistematizada que son utilizadas para desarrollar u optimizar un programa de mantenimiento. La técnica de RCM incorpora decisiones lógicas para prevenir las consecuencias operacionales y de seguridad de las fallas e identifica los mecanismos más críticos responsables de esas fallas. Se entiende por mecanismos críticos, a aquellos que cuando ocurre una falla sus consecuencias son evidentes y tienen efectos inmediatos en la planta.

El análisis de mantenimiento centrado en confiabilidad además tiene en cuenta el hecho de que los presupuestos de los departamentos de mantenimiento son generalmente bastante limitados, y por consiguiente se debe tomar decisiones técnicamente justificadas y usar un criterio racional en cada momento para saber dónde y cuándo emplear la mayoría de recursos y esfuerzos.

Uno de los objetivos principales de un estudio basado en confiabilidad es básicamente identificar una manera lógica de identificar que equipos en una instalación determinada se requieren que tenga mantenimiento en base de un

mantenimiento preventivo o aquellos en los que es más apropiado decidir de manera deliberada usar hasta que falle, o como se conoce comúnmente *run-to-failure* (RTF). Un componente RTF es designado como tal cuando estos no tienen una consecuencia en seguridad, operacional, económica o de medio ambiente como resultado de su falla o mal funcionamiento, sin embargo, se debe tener una estrategia de mantenimiento correctivo proactivo para corregir el defecto de manera oportuna.

Para el resto de equipos que han sido previamente identificados por “críticos”, es necesario desarrollar un plan de mantenimiento preventivo basados en RCM los cuales funcionan bajo 3 pilares o fases fundamentales que son:

- **Fase 1 Identificar:** Consiste en identificar y clasificar los equipos más importantes para la seguridad de los procesos, generación o producción, y la protección de los activos. Los resultados de la clasificación deben generar la criticidad de cada uno de los componentes en el sistema de producción. En esta fase comienza todo el proceso. Es donde se identifican todos los equipos que requieren tener una estrategia de mantenimiento preventivo para prevenir fallas y conservar la confiabilidad y preservar las funciones de los equipos críticos y minimizar cualquier catástrofe a la planta o proceso productivo como consecuencia de dicha falla. En esta etapa se identifican los equipos que requieren mantenimiento preventivo, y se categoriza como “prioritario” para preservar la confiabilidad de un activo.
- **Fase 2 Planificar:** Consiste en especificar las tareas y determinar el tipo de mantenimiento a ejecutar para los equipos identificados en la fase 1 y su frecuencia. Las tareas a desarrollar deben ser efectivas y aplicables a la realidad.

⁴ BLOOM, Neil Reliability Centered Maintenance, Implementation Made Simple, McGraw-Hill Inc., 2006. Fases del RCM

Es aquí donde se identifica el tipo de mantenimiento preventivo a ejecutar. La elección de posibles tareas a desarrollar es extensa, y se deben considerar nuevas técnicas de mantenimiento predictivo que sea costo-efectivas, así como otros tipos de mantenimiento preventivo se deben integrar para alcanzar el objetivo común.

- **Fase 3 Ejecutar:** Consiste en la ejecución en los tiempos apropiados de las actividades desarrolladas en la etapa de planeación o fase 2. En esta etapa es de gran importancia que exista un control estricto en las actividades y funciones del personal de trabajo. Adicionalmente se debe especificar claramente la periodicidad en la cual se deben realizar las actividades, ya que todo el tiempo consumido en la planeación e implementación del RCM será nulo si existen deficiencias en la programación, resultando en actividades de mantenimiento atrasadas o en el peor de los casos, sin ejecutar.

2.5 PASOS PARA IMPLEMENTACIÓN DEL RCM

- Identificar equipos/componentes importantes para el mantenimiento: estos equipos son determinados con técnicas tales como modo de falla, efectos y análisis de criticidad (FMECA) y análisis de falla de árbol (FTA).
- Codificación y listado de todos los sistemas, subsistemas y equipos que componen el sistema.
- Estudio detallado del funcionamiento del sistema. Listado de funciones primarias y secundarias del sistema en su conjunto. Listado de funciones principales y secundarias de cada subsistema.

Los sistemas deben ser divididos en subsistemas más pequeños, ya que las funciones deben ser especificadas a nivel de subsistema. Determinar las funciones del subsistema es un paso muy importante en el análisis del RCM, debido a que preservar dichas funciones es el objetivo principal del programa de mantenimiento preventivo. Las definiciones de las funciones describen lo que el usuario quiere que

haga y se debe asegurar que es capaz de aquello que los usuarios quieren que haga en un contexto operacional determinado. Las funciones pueden dividirse en dos categorías según Moubray⁵:

Funciones Primarias: Principalmente describen la razón por la que se compró el activo. En esta categoría se abarcan temas como velocidad, producción, calidad, servicio al cliente, etc.

Funciones Secundarias: Aquí se describe lo que se espera que cada activo haga más allá de cumplir sus funciones primarias. En las funciones secundarias se deben incluir aspectos de seguridad, control, contención, confort, economía y otros aspectos.

2.5.1 Determinación de las fallas funcionales. Las fallas funcionales ocurren cuando el activo no puede cumplir con una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable. También se incluyen las fallas parciales, que ocurre cuando el equipo funciona, pero con un nivel de desempeño inferior al esperado por el usuario. Durante este paso del análisis se deben describir las posibles maneras en que cada función puede fallar. Típicamente, estas son exactamente lo opuesto a la función y debe haber una falla funcional por cada función del equipo o componente.

2.5.2 Determinación de los modos de falla o causas de cada uno de los fallos. Es cualquier evento que pueda ocasionar la falla funcional del sistema o subsistema.

2.5.3 Estudio de las consecuencias de cada modo de fallo. Clasificación de los fallos en críticos, significativos, tolerables o insignificantes en función de esas consecuencias.

En este paso se describen lo que ocurre con cada modo de falla. Esta descripción debe incluir aspectos como: seguridad, medio ambiente, afectación a la operación o producción de la planta, daños físicos, calidad del producto, tiempo que se requieren para reparación, entre otros.

Las consecuencias de la falla es lo que ocurre cuando un equipo o componente falla. Es uno de los pasos más importantes del análisis de RCM, ya que a partir de aquí se define si un componente es crítico, o potencialmente crítico, o si la consecuencia es mínima se puede determinar si se corre a falla (RTF run-to-failure)

- Determinación de medidas preventivas que eviten o atenúen los efectos de los fallos.
- Agrupación de las medidas preventivas en sus diferentes categorías: Elaboración del Plan de Mantenimiento, lista de mejoras, planes de formación, procedimientos de operación y de mantenimiento, lista de repuesto que debe permanecer en stock y medidas provisionales a adoptar en caso de fallo.
- Puesta en marcha de las medidas preventivas.

2.6 MODOS DE FALLA Y ANÁLISIS DE EFECTOS (FMEA)

Los modos de falla y análisis de efectos (FMEA por sus siglas en inglés) se aplican a cada sistema, subsistema y componente identificados previamente. Para cada función, puede haber múltiples modos de falla. El FMEA se enfoca a cada función del sistema (y, dado que la falla es la pérdida de función, todas las fallas posibles), y los modos de falla dominantes asociados con cada falla, y luego examina las consecuencias de la falla.

⁵MOUBRAY, John Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Aladon Ltd., 2004.

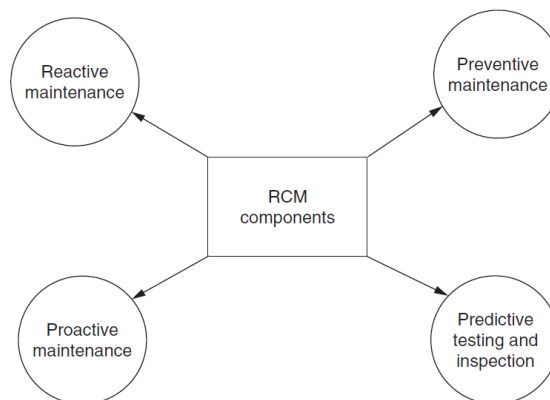
Aunque existen múltiples modos de falla, a menudo los efectos de la falla son los mismos o muy similar en naturaleza, es decir, desde la perspectiva de la función del sistema, el resultado de cualquier falla de un componente puede ocasionar en la degradación de la función del sistema.

Adicionalmente, sistemas y máquinas similares frecuentemente tienen los mismos modos de falla. Sin embargo, el uso del sistema determinará las consecuencias de la falla. Por ejemplo, los modos de falla de un rodamiento de bolas serán los mismos independientemente de la máquina. Sin embargo, el modo de falla principal cambia de una máquina a otra, la causa de la falla puede cambiar y los efectos de la falla serán diferentes.

2.7 COMPONENTES DEL RCM

Los 4 principales componentes del RCM son: mantenimiento reactivo, mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo y mantenimiento proactivo, tal como lo muestra la siguiente figura:

Figura 5. Componentes del RCM



Fuente: DHILLON, Ph.d, Engineering Maintenance: a Modern Approach, CRC Press LLC, 2002.

Página 92

Mantenimiento Reactivo: en este tipo de mantenimiento solo se hace intervención al equipo o componente en el momento en que falla o se encuentra deteriorado. Este tipo de mantenimiento solo debe ejercerse de manera consiente, basado en las conclusiones de un análisis previo que compara el riesgo y el costo de falla con el costo de mantenimiento necesario para mitigar una falla. Típicamente este tipo de mantenimiento se realiza a ítems pequeños, a los equipos caracterizados como “no críticos”, equipos redundantes, a aquellos que no generan consecuencias relevantes al proceso productivo, o que son muy improbables que fallen.

Mantenimiento Preventivo: consiste en una inspección, reemplazo, ajuste, limpieza, lubricación, calibración, reemplazo o reparación de equipos o componentes de manera periódica y programada. En este tipo de mantenimiento se establecen intervalos de tiempo para ejecutar las intervenciones con el objetivo de reducir fallas en equipos susceptibles. El mantenimiento preventivo programa la inspección periódica y el mantenimiento a intervalos predefinidos (tiempo, horas de funcionamiento o ciclos) con el objetivo de reducir fallas de equipos críticos. Dependiendo de los intervalos establecidos, este tipo de mantenimiento puede resultar en un aumento significativo en la cantidad inspecciones y mantenimiento de rutina; sin embargo, también debe reducir la frecuencia y la gravedad de las fallas imprevistas de la máquina en componentes con patrones de desgaste definidos relacionados con la edad de la misma. Un ejemplo a equipos que se les hace mantenimiento preventivo es aquellos componentes que están sujetos a desgaste, reemplazo de consumibles, o los que se le conoce un patrón de falla.

Mantenimiento Predictivo: es también llamado mantenimiento basado en condición, y se utilizan técnicas no invasivas, monitoreo de datos e inspecciones visuales sobre los equipos o componentes en estudio. El análisis de la condición de los equipos de manera continua sirve para planear y programar el mantenimiento o reparación de

un equipo antes de que ocurra una falla catastrófica o falla funcional. Estas técnicas pueden ser costosas, por lo que es de vital importancia ejecutar un análisis costo/beneficio previo que justifique la inversión a realizar. Normalmente se le aplica mantenimiento predictivo a equipos que tienen patrón aleatorio de fallas, no están sujetos a desgaste. Las técnicas de mantenimiento predictivo más comunes incluyen:

- Análisis y monitoreo de vibraciones
- Termografía Infrarroja
- Ultrasonido
- Análisis de lubricante y partículas de desgaste
- Monitoreo de parámetros eléctricos

Mantenimiento Proactivo: Este tipo de mantenimiento ayuda a mejorar el programa de mantenimiento con acciones dirigidas por la gerencia encaminadas a: mejorar diseño de equipos, acciones de los empleados, instalación y comisionamiento, programación y procedimientos de mantenimiento óptimos. También incluyen prácticas de mejoramiento continuo, usando retroalimentación y comunicación efectiva para ajustar procedimientos en caso de ser necesario para que ninguna actividad ocurra de manera aislada, sino por el contrario mejoren los indicadores globales de la planta o proceso.

2.8 OBJETIVOS DEL RCM

Los objetivos de RCM son identificar para cada sistema y equipo los modos de falla y sus consecuencias y determinar la técnica de mantenimiento más rentable y aplicable para minimizar el riesgo y el impacto de la falla. Esto permite que la funcionalidad del sistema y del equipo se mantenga de la manera más económica. Los objetivos específicos de RCM según lo establecido por Nowlan y Heap⁸ son:

- Garantizar el cumplimiento de los niveles de seguridad y fiabilidad inherentes al equipo.
- Restaurar el equipo a estos niveles inherentes cuando ocurre el deterioro.
- Obtener la información necesaria para la mejora del diseño de aquellos componentes que su fiabilidad inherente resulta ser inadecuada.
- Lograr estos objetivos a un costo total mínimo, incluyendo los costos de mantenimiento, costos de mano de obra y consecuencias económicas de fallas operacionales.

2.9 NORMA SAE JA 1011

La norma titulada: “Criterios de Evaluación para procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad”, detalla los criterios para establecer si un proceso corresponde o no a un RCM, esta norma fue desarrollada inicialmente por la industria comercial de aviación para mejorar la seguridad y la confiabilidad de sus equipos, sin embargo, los criterios pueden ser aplicados a cualquier proceso.

Por otra parte, se indican las 7 preguntas a las que se debe dar respuesta para que el proceso de Mantenimiento centrado en confiabilidad sea satisfactorio:

- ¿Cuáles son las funciones deseadas y los estándares de desempeño asociados del activo en su contexto operacional presente (funciones)?
- ¿De qué maneras puede fallar al cumplir sus funciones (fallas funcionales)?
- ¿Qué causa cada falla funcional (modos de falla)?
- ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional (efectos de falla)?
- ¿De qué manera afecta cada falla (consecuencias de falla)?
- ¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla? (¿tareas proactivas e intervalos de tareas?)

⁹Nowlan and Heap, Reliability Centered Maintenance, United Airlines and Dolby Press.

- ¿Qué se debe hacer si una tarea proactiva que conviene no está disponible (acciones predeterminadas)?

2.10 GENERALIDADES DE MAQUINARIA PESADA

Se conoce como maquinaria pesada o maquinaria de construcción, a todas aquellas máquinas que son utilizadas en la industria de la construcción de obras civiles que tienen el objetivo de remover parte de la capa del suelo, de forma de modificar el perfil de la tierra dependiente de las necesidades particulares de cada aplicación.

Estas máquinas se utilizan comúnmente para retirar la tierra en donde se asentarán las fundaciones y bases de edificios, torres, puentes, entre otros. También para desplazar suelos y conformar el terreno en la realización de caminos, para excavar túneles, trabajos de minería, armar presas.

Por lo general, comprenden cinco sistemas de equipos: implemento, tracción, estructura, tren de fuerza, control e información.

2.10.1 Retroexcavadoras. La cargadora/retroexcavadora es una máquina autopropulsada sobre ruedas, cuya estructura principal está diseñada para llevar un cazo cargadora montado en el frente y una retroexcavadora montada detrás. Al emplearla en el modo retroexcavadora, la máquina excava normalmente bajo el nivel del suelo con el movimiento del cazo hacia la máquina; la retroexcavadora eleva, gira y descarga el material con la máquina parada. Al emplearla en el modo cargadora, la máquina carga y excava con el movimiento hacia el frente de la máquina, para luego elevar, transportar y descargar el material.

Las retroexcavadoras pueden ser usadas de muchas maneras, las más comunes son:

- Excavación de zanjas, hoyos, cimientos
- Construcción de carreteras
- Manejo de materiales
- Limpieza de ríos
- Demolición
- Levantamiento pesado. Por ejemplo: levantamiento y colocación de tuberías
- Minería. Especialmente, pero no exclusivo, minería a cielo abierto
- Dragado de ríos

Partes de una retroexcavadora⁷. La retroexcavadora está compuesta de las siguientes partes básicas:

Tractor: Esta parte está especialmente diseñada para cumplir la función de vehículo y de elemento de soporte a la herramienta de trabajo. Los tractores cuentan con un contrapeso, el cual hace parte del motor, sirve para equilibrar los enormes momentos que se generan durante la operación debido a la carga, que tienden a desestabilizar a la máquina.

Pluma: Es un elemento acodado de sección variable articulado en la parte delantera del tractor del tractor a la derecha de la máquina de la cabina del operador. Puede ser de una pieza o de dos piezas. La de una sola pieza tiene una longitud constante, y la de dos piezas tiene tres alternativas de variar su longitud.

Brazo: Es un elemento de sección variable, articulado en la punta de la pluma en uno de sus extremos y en el otro se articula el cucharón.

⁷Barros, Carlos. Retroexcavadoras, Universidad de Cuenca, 2004

Palanca de descarga: Es un elemento compuesto de dos partes que cumple la función de hacer girar el cucharón. Este movimiento permite esencialmente llenar o vaciar el cucharón.

Cilindro de elevación: Son dos cilindros hidráulicos apoyados en el tractor con conexión en el codo de la pluma y que sirven para ascender o descender este componente.

Cilindro del brazo: Es un cilindro hidráulico apoyado en la pluma y conectado en el extremo anterior del brazo. Cumple la función de controlar los movimientos que realiza el brazo.

Cilindro de descarga: Es un cilindro hidráulico apoyado en el brazo y se encuentra conectado en el vértice de la palanca de descarga. Este componente tiene la función de controlar los movimientos que realiza el cucharón.

Cucharón: Es la pala o recipiente donde se ubica el material excavado. Cuenta con dientes en su borde para facilitar la extracción de los materiales.

Cabina: Es el lugar desde donde se opera la máquina, que lo protegen del clima y otros peligros externos. La cabina de las retroexcavadoras cuenta con visibilidad panorámica, todos los mandos se encuentran de manera ergonómica y el nivel de ruido dentro de la cabina es muy bajo.

Sistema hidráulico: Es el conjunto de circuitos hidráulicos que controlan el movimiento de todos los cilindros de la máquina. Este sistema es de flujo compensado, lo que garantiza la máxima potencia disponible donde se requiera.

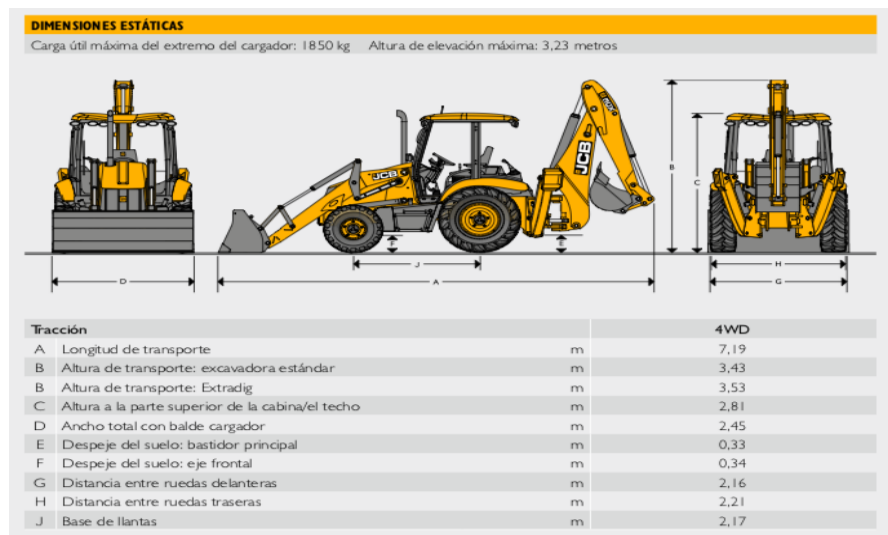
Motor: típicamente los motores de este tipo de máquinas son de tipo diésel, ya que cuentan con mayor potencia y el costo del combustible es mucho menor. Otra

característica de los motores diésel es que aspiran aire puro, sin mezcla de combustible

2.10.2 Retroexcavadora JCB 3CX. De acuerdo al manual de operación del equipo, la Cargadora/Retroexcavadora es una maquina autopropulsada sobre ruedas, cuya estructura principal está diseñada para llevar un cazo cargadora montado en el frente y una retroexcavadora montada detrás. Al emplearla en el modo de retroexcavadora, la maquina excava normalmente bajo el nivel del suelo con el movimiento hacia el frente de la máquina, para luego elevar, transportar y descargar el material⁸.

Así mismo la siguiente figura muestra las dimensiones estáticas de la retroexcavadora de la retroexcavadora JCB 3CX:

Figura 6. Dimensiones estáticas de la retroexcavadora JCB 3CX



Fuente. FICHA TÉCNICA JCB [En línea] [Consultado el 28 de marzo 2018]. Disponible en: <https://www.tecmaco.com.ar/upload/equipos/3CX%20Latam.pdf>

⁸Descripción de la máquina. JCB [citado el 20 marzo, 2018]. Disponible en internet: URL <https://drive.google.com/file/d/0B1WvXuSVyhHqMGtwcGRBwnVuV0U/view>

Las retroexcavadoras JCB 3CX vienen equipadas con un motor diseñado y ensamblado por el fabricante, recibiendo este el nombre de DIESELMAX y el cual según la ficha técnica lo describe como un motor que trabaja con un torque a bajas revoluciones, generando su mayor potencia. Sin embargo, en la siguiente grafica se encuentran sus especificaciones en más detalle:

Figura 7. Especificaciones del motor DIESELMAX

MOTOR		
Fabricante		JCB
Aspiración		Turbocargado
Cilindrada	litro	4,4
No. de cilindros		4
Diámetro	mm	103
Carrera	mm	132
Velocidad del motor	rpm	2200
Clasificaciones de potencia		
HP bruto: SAE J 1995 (ISO 14396)	hp (kW)	92 (68,6)
Torque máximo		
Clasificación ISO 14396 (SAE J 1995)	Nm	400
Torque máximo	rpm	1400

Fuente. FICHA TÉCNICA JCB [En línea] [Consultado el 28 de marzo 2018]. Disponible en: <https://www.tecmaco.com.ar/upload/equipos/3CX%20Latam.pdf>

2.10.3 Mini cargador JCB 260. Los minicargadores han sido diseñados con el fin de ejecutar tareas tales como movimiento de tierras o materiales compactos, al ser maquinas compactas se destacan por ser livianas, agiles y de fácil adaptación ante cualquier ambiente y en cualquier condición. Estos pueden clasificarse según el tren de rodaje que los compone ya sea de oruga o llantas, los componentes del mini cargador son:

- Bastidor: Encargado de proporcionar la resistencia necesaria para soportar el peso tanto de los elementos de la maquina como el esfuerzo que la misma hace para trabajar.
- Brazo o levantamiento: Esta unido al bastidor y al cucharon, por medio de este se logra el accionamiento del cucharon.

- Cucharón: Cuya función es descargar el material con el menor esfuerzo hidráulico, está unido a la parte inferior del brazo por medio de pasadores. Las especificaciones técnicas del minicargador se relacionan en la siguiente figura:

Figura 8. Especificaciones minicargador JCB260

Modelo	155	175	225	260
Motor				
Marca	Perkins	Perkins	JCB	JCB
Modelo motor	404D Turbo	404D Turbo	444 Turbo	444 Turbo
Combustible	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel
Potencia neta	60 Hp	60 Hp	75 Hp	75 Hp
Cilindrada	2.200 cc	2.200 cc	4.400 cc	4.400 cc
Transmisión				
Velocidad traslación	12 km/hr.	12 km/hr.	10,9 km/hr.	10,9 km/hr.
Tipo	Hidrostática	Hidrostática	Hidrostática	Hidrostática
Sistema hidráulico				
Tipo bomba	Engranajes	Engranajes	Engranajes	Engranajes
Caudal máximo	70 Lts./Min.	70 Lts./Min.	87 Lts./Min.	87 Lts./Min.
Generalidades				
Peso operacional (SAE)	2.844 Kg	3.011 Kg	3.679 Kg	3.805 Kg
Capacidad de carga	703 Kg	703 Kg	1.021 Kg	1.179 Kg
Capacidad de balde frontal	0,40 m ³	0,40 m ³	0,44 m ³	0,44 m ³
Altura de descarga (Volteo)	2,26 m	2,26 m	2,46 m	2,46 m
Cabina	Canopy	Canopy	Canopy	Canopy
Certificación	ROPS/FOPS	ROPS/FOPS	ROPS/FOPS	ROPS/FOPS
Neumáticos	10 x 16,5	10 x 16,5	12 X 16,5	12 X 16,5
Incluye	Función hidráulica	Función hidráulica	Función hidráulica	Función hidráulica
Opcionales	Cabina	Cabina	Cabina	Cabina
	Calefacción /Aire acondicionado	Calefacción /Aire acondicionado	Calefacción /Aire acondicionado	Calefacción /Aire acondicionado

Fuente. FICHA TÉCNICA JCB [En línea] [Consultado el 28 de marzo 2018]. Disponible en:

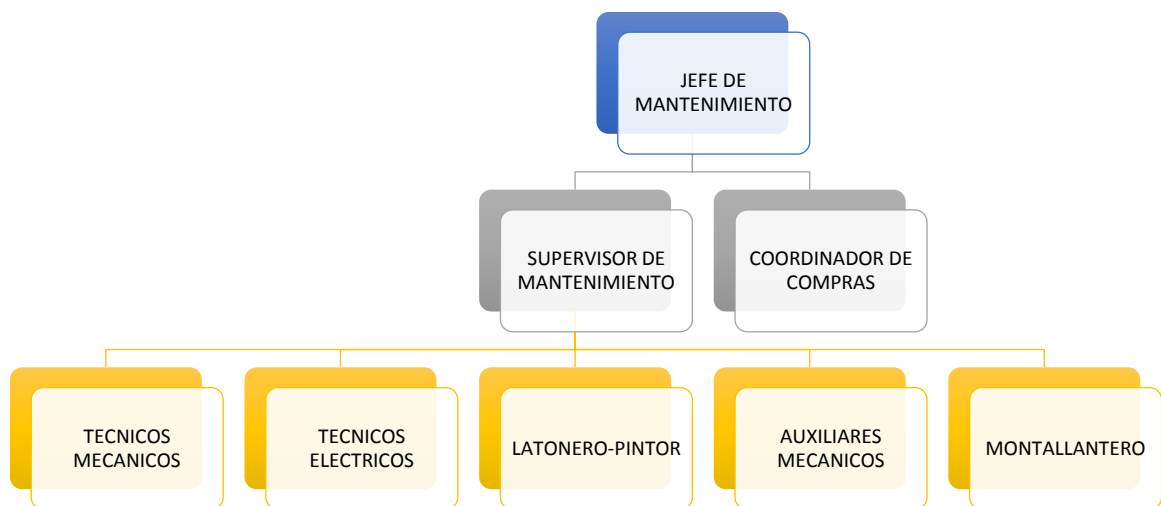
https://jcb.cl/wp-content/uploads/2016/08/brochure_JCB_WEB_10.pdf

3. ANALISIS DE CONFIABILIDAD APLICADO A LA MAQUINARIA DE ARISMENDY ANDRADE S.A.S

3.1 CONFORMACIÓN DEL EQUIPO DE TRABAJO DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO ARISMENDY ANDRADE

El departamento de mantenimiento de ARISMENDY ANDRADE está conformado de la siguiente manera:

Figura 9. Organigrama departamento de mantenimiento



Fuente. Autores

3.2 RECOLECCIÓN DE DATOS Y MANEJO DE LA INFORMACIÓN

A pesar de la trayectoria de ARISMENDY ANDRADE S.A.S en la industria y la construcción, al momento de iniciar con el estudio de criticidad y el análisis de confiabilidad (RCM) desafortunadamente no se contaba con un software de apoyo al manejo documental del departamento de mantenimiento, teniendo como soportes

documentales archivos físicos en donde se encontraban reportes físicos de fallas elaborados por los técnicos y el supervisor del taller de maquinaria, es por esto que se implementó un modelo de gestión documental informático en el que se registrarán todas aquellas novedades que venían presentando los equipos de la compañía. Inicialmente se desarrolló una base de datos en la que se incluyeron todos los equipos y se decodificaron, de manera que a través de dicho código fuera posible ir creando el historial de cada uno de los equipos.

Ahora bien, teniendo en cuenta que para la creación de una base de datos es importante tener presente cada uno de los activos que hacen parte de la compañía se llevó a cabo el levantamiento del inventario de maquinaria y equipos de Arismendy Andrade junto con un diagnóstico del estado de operación, el cual serviría como base para definir los equipos que serían objeto del análisis de confiabilidad y criticidad, este registro de maquinaria se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 2. Maquinaria y equipo de ARISMENDY ANDRADE S.A.S


EQUIPO	MARCA	MODELO	ESTADO
Retroexcavadora (oruga)	JCB	JS200LC	Operando
Retroexcavadora (oruga)	CATERPILLAR	307B	Operando
Retroexcavadora (oruga)	SAMSUNG	SE-210LC-2	Fuera de servicio
Retroexcavadora (oruga)	JOHN DEERE	690E-LC	Fuera de servicio
Retrocargador (llantas)	JCB	3C	Operando
Retrocargador (llantas)	JCB	3C	Operando
Retrocargador (llantas)	JCB	3C	Operando
Retrocargador (llantas)	JCB	3C	Operando
Retrocargador (llantas)	JCB	3C	Operando
Retrocargador (llantas)	JCB	3C	Operando
Retrocargador (llantas)	JCB	3CX	Operando
Retrocargador (llantas)	JOHN DEERE	310G	Operando
Retrocargador (llantas)	JOHN DEERE	310G	Fuera de servicio
Cargador (llantas)	CATERPILLAR	930	Fuera de servicio
Cargador (llantas)	JOHN DEERE	444C	Fuera de servicio
Montacargas 7.5	CATERPILLAR	DP70	Operando
Montacargas 7.5	CATERPILLAR	DP70	Operando
Montacargas 3.5	LIU GONG	CLG2035H	Fuera de servicio

EQUIPO	MARCA	MODELO	ESTADO
Montacargas 3.5	HYSTER	S135FT	Fuera de servicio
Montacargas 2.5	CATERPILLAR	C6000	Fuera de servicio
Montacargas 2.5	NISSAN	MY1F2A25V	Fuera de servicio
Minicargador	JCB	JCB 260	Operando
Minicargador	JCB	JCB 260	Operando
Minicargador	LIU GONG	CLG375A	Operando
Minicargador	LIU GONG	CLG375A	Fuera de servicio
Minicargador	CATERPILLAR	262B	Operando
Minicargador	BOBCAT	753	Fuera de servicio
Minicargador	HYUNDAI	H52 80-7	Fuera de servicio
Vibrocompactador 2.5	LEE BOY	400	Fuera de servicio
Vibrocompactador 2.6 ton.	JCB	VMT 260-120	Operando
Vibrocompactador 2.6 ton.	JCB	VMT 260-120	Operando
Vibrocompactador	AMMAN	AV32-2	Operando
Vibrocompactador	DYNAPAC	CA152D	Fuera de servicio
Vibrocompactador	DYNAPAC	CA15P	Fuera de servicio
Motoniveladora	LIU GONG	CLG-418	Operando
Motoniveladora	FIAT ALLIS	100-C	Fuera de servicio
Grúa	TEREX	RT230	Operando
Buldócer	CATERPILLAR	D6H PS	Fuera de servicio
Auto hormigonera	AUSA	1100 RH	Operando
Vibrocompactador	MIKASA		Operando
Vibrocompactador	DINAPAC	CH44	Fuera de servicio
Bulldozer	CATERPILLAR	955L	Fuera de servicio

Fuente. Autores

Posteriormente, para iniciar a conservar los registros y reportes elaborados por los integrantes del equipo técnico en físico y alimentar las hojas de vida de los equipos, se diseñaron e implementaron dos formatos en los cuales se registrarían por una parte el detalle de las fallas que ocurrían en los equipos, y por otro lado se reportarían los mantenimientos ejecutados ya sean preventivos y/o correctivos de manera específica brindando así información útil para el estudio e implementación de futuros procesos dentro de la compañía, estos fueron identificados como reportes de falla y reportes de mantenimiento respectivamente, pero para una mejor visualización los mismos se presentan a continuación:

Figura 10. Formato diseñado para el reporte de fallas de equipos

		CODIGO:	F-MTT-9		VERSION:	2	
		NOMBRE:	REPORTE DE FALLA DE MAQUINARIA Y EQUIPO			FECHA DE VIGENCIA:	02/06/2015
FECHA: 13.06.15		Pascal Londono		HORA:	LUGAR:		
TIPO DE EQUIPO:	VEHICULO:		EQUIPO MENOR:		M. PESADA		
VEHICULO:	<input type="checkbox"/>	NOMBRE VEHICULO: NVA	NOMBRE EQUIPO:		NOMBRE EQUIPO:		
		PLACA: STW 486	MARCA:		MARCA:		
EQUIPO MENOR:	<input type="checkbox"/>	MARCA: INTERNATIONAL	MODELO:		MODELO:		
M. PESADA:	<input type="checkbox"/>	MODELO: 2012	No. SERIE:		No. SERIE:		
		KILOMETRAJE: 119671	HOROMETRO:		HOROMETRO:		
DESCRIPCION DE LA FALLA							
Seleccione el sistema que presenta falla							
SISTEMA MECANICO		SISTEMA ELECTRICO		SISTEMA HIDRAULICO		OTRO	
Motor	<input type="checkbox"/>	Bateria	<input type="checkbox"/>	Gatos	<input type="checkbox"/>		
Transmision	<input type="checkbox"/>	Luces	<input type="checkbox"/>	Manguera	<input type="checkbox"/>		
Frenos	<input type="checkbox"/>	Arranque	<input type="checkbox"/>	Acoples	<input type="checkbox"/>		
Dirección	<input type="checkbox"/>	Cableado	<input type="checkbox"/>				
DESCRIPCION DEL DAÑO (describa las partes afectadas y/o dañadas del sistema escogido)							
Tva: lev N=43773 Tiene dos rachas de troque trasero malos Presenta una fuga de aire en una de las valvulas							
CAUSAS DEL DAÑO							
SINIESTRO	<input type="checkbox"/>	DESGASTE	<input type="checkbox"/>	REALENTAMIENTO	<input type="checkbox"/>	SUCIEDAD	
OTRO:							
ENTREGA DEL VEHICULO /EQUIPO							
FECHA DE ENTREGA:			HORA:		LUGAR:		
TECNICO INTERVENTOR:			CARGO:				
FIRMA RECIBIDO:			CARGO:				
PENDIENTES: SI NO CUAL?:							

Pascal Londono

Fuente. ARISMENDY ANDRADE. Archivo de la compañía. Cartagena.2017.

El formato relacionado en la figura 10 fue diseñado no solo para ir recopilando los historiales de fallas de los equipos, sino que también para identificar los sistemas y componentes de los equipos que representan costos importantes de reparación y finalmente identificar las circunstancias en las que están ocurriendo las fallas.

Respecto al reporte de mantenimientos ejecutados, el formato que se presenta a continuación se diseñó con el fin de conocer no solo los procedimientos que se llevan a cabo para intervenir los equipos, sino los insumos y repuestos con sus respectivas cantidades utilizados en dichas intervenciones, de manera que se pueda consolidar información única de cada equipo y poder identificar los factores que afectan a cada uno de ellos en el día a día:

Figura 11. Formato reporte de mantenimientos

ARISMENDY ANDRADE		CODIGO: F-MTT-7	VERSION: 2
NOMBRE: REGISTRO DE MANTENIMIENTO Y/O REPARACION DE EQUIPOS MENORES - MAQUINARIA PESADA Y VEHICULOS		FECHA DE VIGENCIA:	02/06/2015
MTT CORRECTIVO			
FECHA: 15 06 2015	HORA: 8:28 P.M.	LUGAR: Toluca	M. PESADA
TIPO DE EQUIPO: VEHICULO	EQUIPO MENOR	NOMBRE EQUIPO:	
VEHICULO: <input checked="" type="checkbox"/> NOMBRE VEHICULO: ZIA	MARCA: Blower	MARCA:	
EQUIPO MENOR: <input checked="" type="checkbox"/> MARCA: 572-116	MODELO:	MODELO:	
M. PESADA: <input type="checkbox"/> MODELO:	No. SERIE:	No. SERIE:	
	KILOMETRAJE:	HOROMETRO:	
SISTEMA INTERVENIDO			
Seleccione el sistema que sea intervenido			
SISTEMA MECANICO	SISTEMA ELECTRICO	SISTEMA HIDRAULICO	OTRO
Motor <input type="checkbox"/>	Bateria <input type="checkbox"/>	Gatos <input type="checkbox"/>	Sistema de succion
Transmision <input type="checkbox"/>	Luces <input type="checkbox"/>	Manguera <input type="checkbox"/>	
Frenos <input type="checkbox"/>	Arranque <input type="checkbox"/>	Acoples <input type="checkbox"/>	
Direccion <input type="checkbox"/>	Cableado <input type="checkbox"/>		
ACTIVIDADES REALIZADAS (Seleccione el tipo de trabajo a realizar)			
1. Mecanico <input type="checkbox"/> 2. Electrico <input type="checkbox"/> 3. Latoneria y pintura <input type="checkbox"/> Otro: Blower			
DESCRIPCION	CANT.	REFERENCIA	ALAMACEN EXTERNO
1) Dano de sistema de succion (Blower)			
2) Paletas rotas por falta de lubricacion			
3) Blower recalentado			
4) Cilindro interior quemado			
Recambio por falta de lubricacion			
FIRMA TECNICO: Sergio Andrade		CARGO: Aux. Mecanico	
FIRMA SUPERVISOR: [Firma]		CARGO: [Firma]	
MTT PREVENTIVO			
FECHA:	VEHICULO:	EQUIPO MENOR:	LUGAR:
TIPO DE EQUIPO:	NOMBRE VEHICULO:	NOMBRE EQUIPO:	M. PESADA
VEHICULO: <input type="checkbox"/> PLACA:	MARCA:	MARCA:	
EQUIPO MENOR: <input type="checkbox"/> MARCA:	MODELO:	MODELO:	
M. PESADA: <input type="checkbox"/> MODELO:	No. SERIE:	No. SERIE:	
	KILOMETRAJE:	HOROMETRO:	
REGISTRO CAMBIO DE ACEITES Y FILTROS			
CAMBIO DE FILTROS			
DESCRIPCION	REFERENCIA	CANTIDAD	OBSERVACIONES
FILTRO ACEITE <input type="checkbox"/>			
FILTRO COMBUSTIBLE PRIMARIO <input type="checkbox"/>			
FILTRO COMBUSTIBLE SECUNDARIO <input type="checkbox"/>			
FILTRO COMBUSTIBLE TERCARIO <input type="checkbox"/>			
FILTRO AIRE INTERNO <input type="checkbox"/>			
FILTRO AIRE EXTERNO <input type="checkbox"/>			
CAMBIO ACEITES			
DESCRIPCION	REFERENCIA	CANTIDAD	OBSERVACIONES
ACEITE HIDRAULICO <input type="checkbox"/>			
ACEITE DE MOTOR <input type="checkbox"/>			
ACEITE SERVO. <input type="checkbox"/>			
LUBRICANTE <input type="checkbox"/>			
OTRO: <input type="checkbox"/>			
ACTIVIDADES ADICIONALES			REPORTE DE NOVEDADES EQUIPO OPERATIVO
DESCRIPCION	Observaciones	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	OTROS:
Revisión estado bateria <input type="checkbox"/>			
Revisión frenos <input type="checkbox"/>			
Revisión estado correas <input type="checkbox"/>			
Revisión luces <input type="checkbox"/>			
Revisión estructural <input type="checkbox"/>			
FIRMA TECNICO:	FIRMA RECIBIDO:		
RE:	NOMBRE:		
C:	CARGO:		

Fuente. ARISMENDY ANDRADE. Archivo de la compañía. Cartagena.2017.

Siguiendo con el proceso de organización de la información con cada uno de los reportes realizados y presentados por los técnicos y con el fin de obtener resultados más precisos, se dio paso a la creación de una matriz, la cual permitiera de forma concreta reunir en un solo documento toda la información consolidada, a través de un código de colores (rojo, verde y naranja), siendo rojo correctivos, verde mantenimientos preventivos ejecutados y naranja mantenimientos preventivos

programados permitiendo así identificar el tipo de mantenimiento que se efectúa con más regularidad en los equipos, la siguiente figura presenta una vista general del modelo de matriz diseñado:

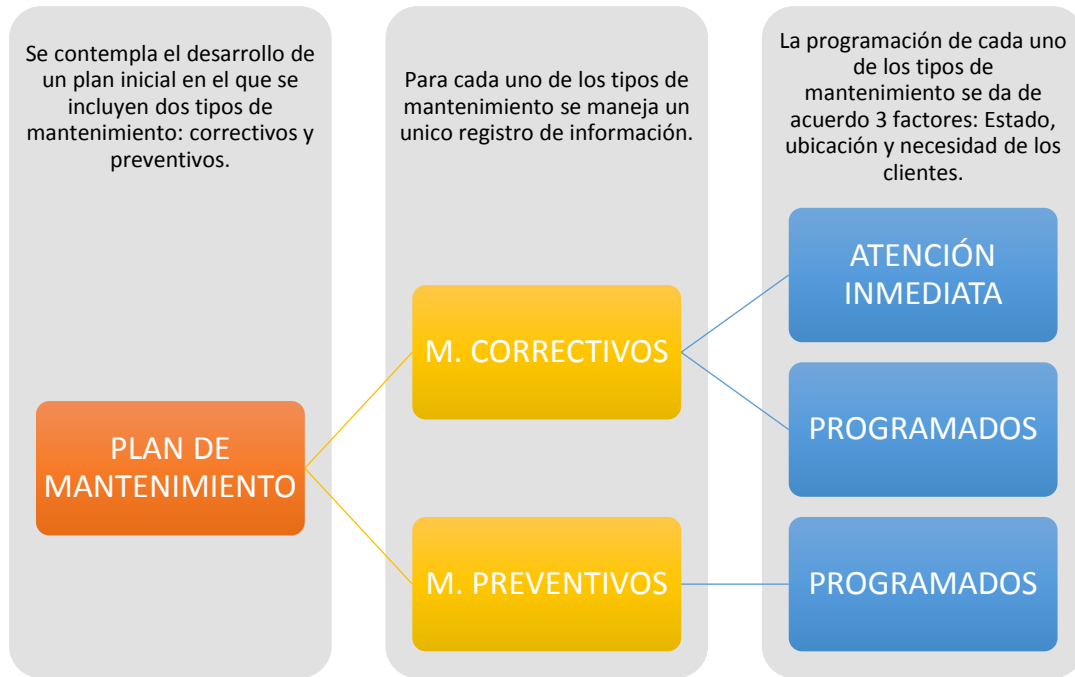
Figura 12. Matriz de registros de mantenimientos de equipos

A		B		C		D		E		F		G		H		I		J		K		L		M		N		O		P		Q		R		S		T		U		V		W		X		Y		Z		AA		AB		AC		AD		AE		AF		AG		AH		AI		AJ		AK		AL		AM		AN		AO		AP		AQ		AR		AS		AT		AU	
1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		20		21		22		23		24		25		26		27		28		29		30																																			
31		32		33		34		35		36		37		38		39		40		41		42		43		44		45		46		47		48		49		50		51		52		53		54		55		56		57		58		59		60																																			
61		62		63		64		65		66		67		68		69		70		71		72		73		74		75		76		77		78		79		80		81		82		83		84		85		86		87		88		89		90																																			
91		92		93		94		95		96		97		98		99		100		101		102		103		104		105		106		107		108		109		110		111		112		113		114		115		116		117		118		119		120																																			
1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		20		21		22		23		24		25		26		27		28		29		30																																			
31		32		33		34		35		36		37		38		39		40		41		42		43		44		45		46		47		48		49		50		51		52		53		54		55		56		57		58		59		60																																			
61		62		63		64		65		66		67		68		69		70		71		72		73		74		75		76		77		78		79		80		81		82		83		84		85		86		87		88		89		90																																			
91		92		93		94		95		96		97		98		99		100		101		102		103		104		105		106		107		108		109		110		111		112		113		114		115		116		117		118		119		120																																			

Fuente. ARISMENDY ANDRADE. Archivo de la compañía. Cartagena.2017.

Los datos, cifras y referencias base tomadas de la matriz anteriormente mencionada para el desarrollo de la presente monografía, hacen parte del plan de mantenimiento de ARISMENDY ANDRADE S.A.S, el cual se explica de manera general en la siguiente gráfica:

Figura 13. Descripción plan de mantenimiento ARISMENDY ANDRADE



Fuente. Autores

3.3 ANALISIS DE CRITICIDAD EN LOS EQUIPOS DE ARISMENDY ANDRADE

Para evaluar el impacto y la criticidad de las fallas de cada equipo, se decide realizar una representación gráfica y tabular del análisis de Pareto, ya que visualmente es muy dicente para proponer este tipo de programa de mantenimiento ante la gerencia de la compañía y tomar una decisión acertada.

El análisis de Pareto permite identificar en forma decreciente las fallas que se presentan con mayor frecuencia y adicionalmente aquellos equipos que poseen una incidencia mayor en los costos anuales de mantenimiento correctivo.

La propuesta de mantenimiento basado en confiabilidad RCM se aplicará en una primera instancia a los equipos caracterizados como “Pocos Vitales”, ya que son

aquellos que generan un mayor impacto en el número de fallas y costos de mantenimiento de la compañía, causando la mayoría de problemas de mantenimiento y disponibilidad.

De esta manera, primero se procede a analizar los equipos de acuerdo a la frecuencia de las fallas o mantenimiento correctivo que ocurrieron en el año 2017. Aplicando la herramienta de análisis de Pareto se obtiene lo siguiente:

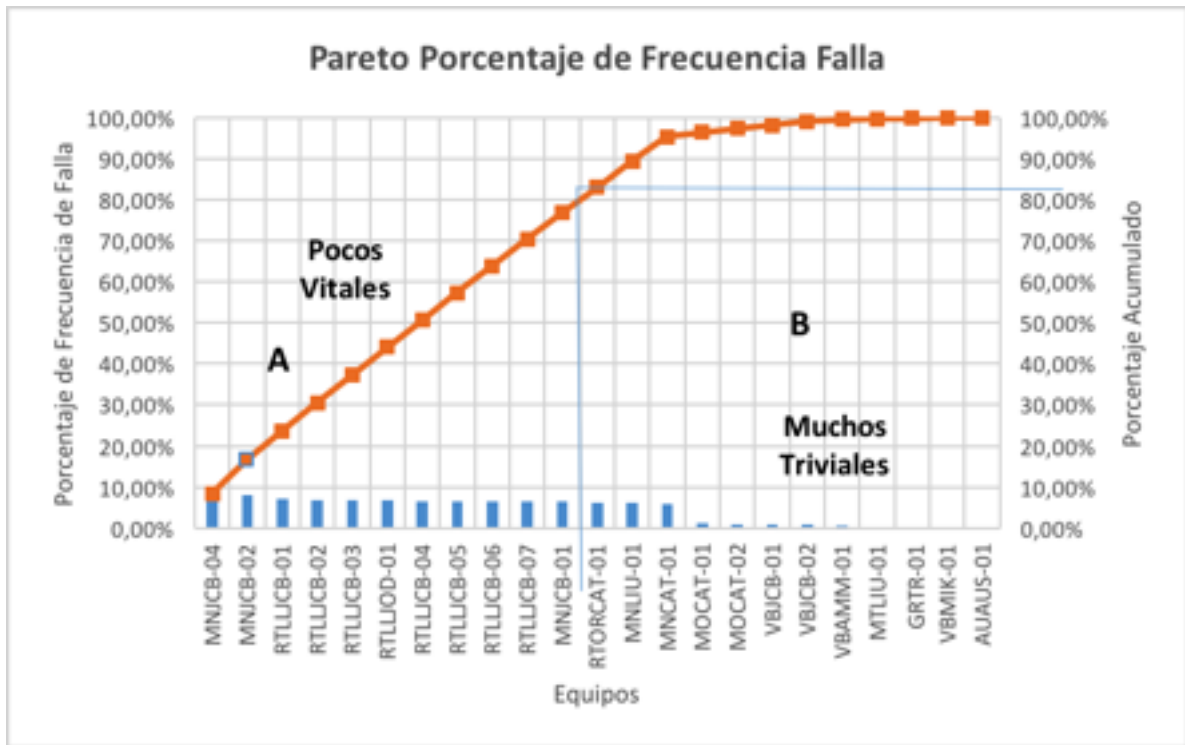
Tabla 3. Tabla de Pareto frecuencia de fallas

TABLA DE PARETO FRECUENCIA DE FALLAS AÑO 2017				
ID	Equipo	FF Fallas/año	%C Del Total	%C.Acum
MNJCB-04	Minicargador	50	8,47%	8,47%
MNJCB-02	Minicargador	48	8,14%	16,61%
RTLLJCB-01	Retroexcavadora (Lantas)	42	7,12%	23,73%
RTLLJCB-02	Retroexcavadora (Lantas)	40	6,78%	30,51%
RTLLJCB-03	Retroexcavadora (Lantas)	40	6,78%	37,29%
RTLLJOD-01	Retroexcavadora (Lantas)	40	6,78%	44,07%
RTLLJCB-04	Retroexcavadora (Lantas)	39	6,61%	50,68%
RTLLJCB-05	Retroexcavadora (Lantas)	39	6,61%	57,29%
RTLLJCB-06	Retroexcavadora (Lantas)	39	6,61%	63,90%
RTLLJCB-07	Retroexcavadora (Lantas)	38	6,44%	70,34%
MNJCB-01	Minicargador	38	6,44%	76,78%
RTORCAT-01	Retroexcavadora (Oruga)	37	6,27%	83,05%
MNLIU-01	Minicargador	37	6,27%	89,32%
MNCAT-01	Minicargador	35	5,93%	95,25%
MOCAT-01	Montacargas	7	1,19%	96,44%
MOCAT-02	Montacargas	5	0,85%	97,29%
VBJCB-01	Vibrocompactador	5	0,85%	98,14%

TABLA DE PARETO FRECUENCIA DE FALLAS AÑO 2017				
ID	Equipo	FF Fallas/año	%C Del Total	%C.Acum
VBJCB-02	Vibrocompactador	5	0,85%	98,98%
VBAMM-01	Vibrocompactador	3	0,51%	99,49%
MTLIU-01	Motoniveladora	1	0,17%	99,66%
GRTR-01	Grúa	1	0,17%	99,83%
VBMIK-01	Vibrocompactador	1	0,17%	100,00%
AUAUS-01	Auto hormigonera	0	0,00%	100,00%
Total		590	100,00%	

Fuente: Base de datos de Arismendy Andrade S.A.S.

Figura 14. Diagrama de Pareto frecuencia de fallas



Fuente: Base de datos Arismendy Andrade S.A.S.

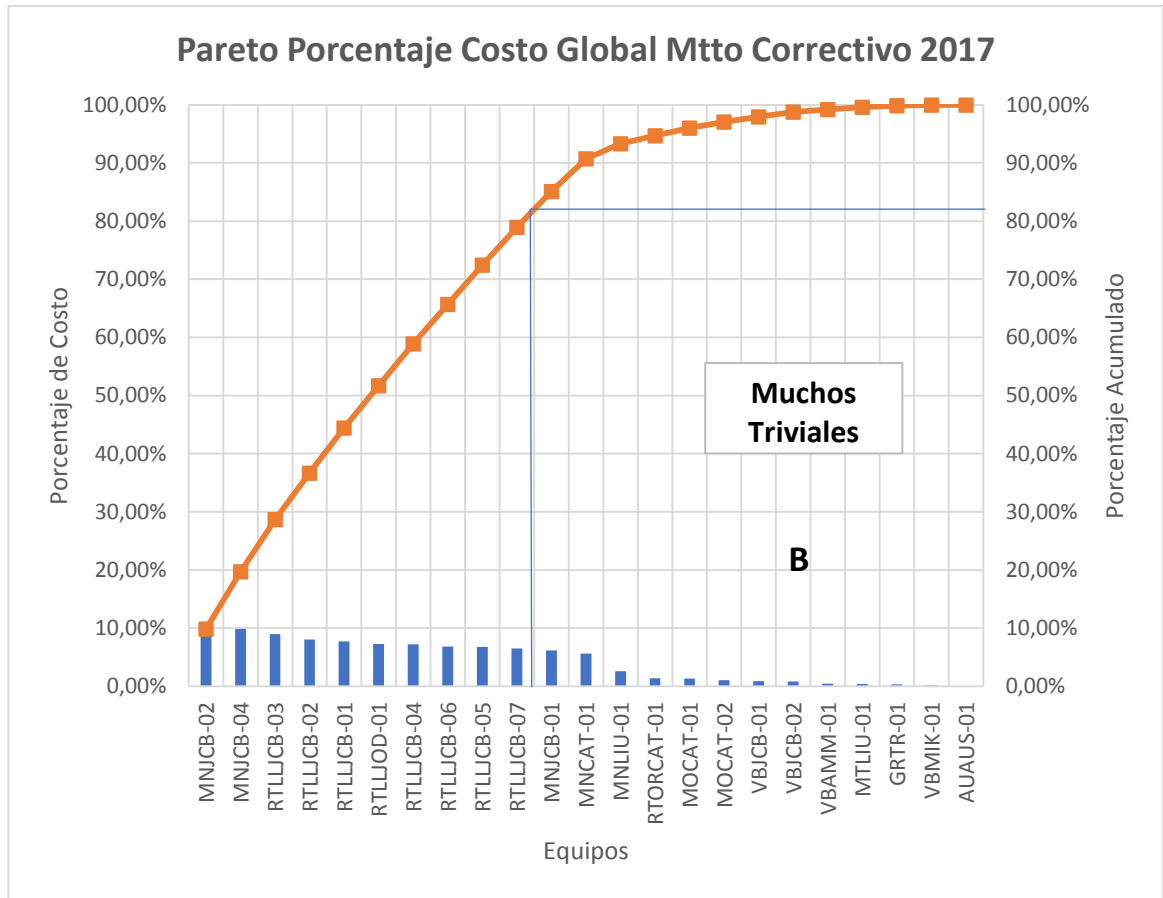
Adicionalmente, se procede a analizar los equipos de acuerdo a la incidencia que tienen en los costos globales de mantenimiento correctivo del año 2017 en la empresa. Aplicando nuevamente la herramienta de análisis de Pareto se obtiene lo siguiente:

Tabla 4. Tabla de Pareto frecuencia de fallas

TABLA DE PARETO COSTO GLOBAL MTTO CORRECTIVO 2017				
ID	EQUIPO	COSTO GLOBAL TOTAL (\$/año)	%C Del Total	%C.Acum
MNJCB-02	Minicargador	\$ 32.545.000,00	9,86%	9,86%
MNJCB-04	Minicargador	\$ 32.542.000,00	9,86%	19,72%
RTLLJCB-03	Retroexcavadora (Llantas)	\$ 29.542.000,00	8,95%	28,67%
RTLLJCB-02	Retroexcavadora (Llantas)	\$ 26.450.000,00	8,01%	36,68%
RTLLJCB-01	Retroexcavadora (Llantas)	\$ 25.478.000,00	7,72%	44,40%
RTLLJOD-01	Retroexcavadora (Llantas)	\$ 24.000.000,00	7,27%	51,67%
RTLLJCB-04	Retroexcavadora (Llantas)	\$ 23.800.000,00	7,21%	58,88%
RTLLJCB-06	Retroexcavadora (Llantas)	\$ 22.500.000,00	6,82%	65,70%
RTLLJCB-05	Retroexcavadora (Llantas)	\$ 22.350.000,00	6,77%	72,47%
RTLLJCB-07	Retroexcavadora (Llantas)	\$ 21.400.000,00	6,48%	78,96%
MNJCB-01	Minicargador	\$ 20.400.000,00	6,18%	85,14%
MNCAT-01	Minicargador	\$ 18.500.000,00	5,61%	90,74%
MNLIU-01	Minicargador	\$ 8.450.000,00	2,56%	93,30%
RTORCAT-01	Retroexcavadora (Oruga)	\$ 4.500.000,00	1,36%	94,67%
MOCAT-01	Montacargas	\$ 4.420.000,00	1,34%	96,01%
MOCAT-02	Montacargas	\$ 3.500.000,00	1,06%	97,07%
VBJCB-01	Vibrocompactador	\$ 2.800.000,00	0,85%	97,91%
VBJCB-02	Vibrocompactador	\$ 2.740.000,00	0,83%	98,74%
VBAMM-01	Vibrocompactador	\$ 1.475.000,00	0,45%	99,19%
MTLIU-01	Motoniveladora	\$ 1.235.000,00	0,37%	99,57%
GRTR-01	Grúa	\$ 985.000,00	0,30%	99,86%
VBMIK-01	Vibrocompactador	\$ 450.000,00	0,14%	100,00%
AUAUS-01	Auto hormigonera	\$ 0,00	0,00%	100,00%
Total		\$ 330.062.000,00	100,00%	

Fuente: Base de datos de Arismendy Andrade S.A.S.

Figura 15. Diagrama de Pareto costo mantenimiento correctivo 2017



Fuente: Base de datos Arismedy Andrade S.A.S

Se concluye de acuerdo al diagrama de Pareto por frecuencia de falla, y el de costo global de mantenimiento que se deben de concentrar los recursos sobre los equipos ubicados en la zona A (Pocos Vitales). Sobre estos equipos se propondrá implementar la primera fase del programa de mantenimiento basado en confiabilidad RCM. Estos equipos son:

Tabla 5. Listado de equipos base para el estudio de confiabilidad

ID	EQUIPO	MARCA	MODELO
RTORJCB-01	Retroexcavadora (llanta)	JCB	3C
MNJCB-02	Minicargador	JCB	JCB260
RTLLJCB-01	Retroexcavadora (llanta)	JCB	3C
RTLLJCB-02	Retroexcavadora (llanta)	JCB	3C
RTLLJCB-03	Retroexcavadora (llanta)	JCB	3C
RTLLJOD-01	Retroexcavadora (llanta)	JOHN DEER	310C
RTLLJCB-04	Retroexcavadora (llanta)	JCB	3C
RTLLJCB-05	Retroexcavadora (llanta)	JCB	3C
RTLLJCB-06	Retroexcavadora (llanta)	JCB	3C
RTLLJCB-07	Retroexcavadora (llanta)	JCB	3C
MNJCB-01	Minicargador	JCB	JCB260

Fuente. Base de datos Arismendy Andrade

Sobre los equipos ubicados en la zona B, se seguirá aplicando las técnicas actuales de mantenimiento ya que por su aporte a los costos totales y número de fallas una ponderación menor.

Por otro lado, los equipos anteriores resultantes como críticos coinciden con los que tienen más alta demanda por parte de los clientes de Arismendy Andrade S.A.S. por lo que es de vital importancia mantenerlos en un estado óptimo de operación y seguridad. También se les aplicarán técnicas de mantenimiento predictivo, o de condición, ya que tendrán un mayor presupuesto y se invertirán mayores recursos para aumentar la confiabilidad y disponibilidad.

Sobre los equipos ubicados en la zona B, se seguirá aplicando las técnicas actuales de mantenimiento ya que por su aporte a los costos totales y número de fallas representan una ponderación menor sobre el total. Estos equipos entrarán al programa de RCM en una segunda fase posterior a los equipos que son considerados críticos en la fase inicial.

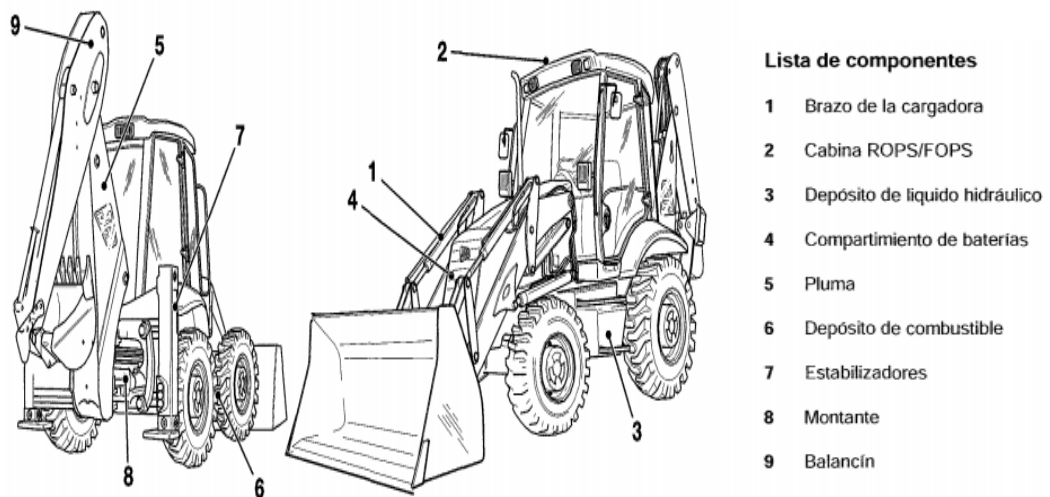
3.4 ESTUDIO DE CONFIABILIDAD (RCM)

3.4.1 Selección de equipos. De acuerdo a la tabla 5, en donde se consolidan los equipos candidatos para el estudio de confiabilidad, los siguientes equipos serán objeto del análisis y desarrollo de la filosofía RCM:

- Retroexcavadora JCB 3C: ARISMENDY ANDRADE S.A.S cuenta con 8 retroexcavadoras de esta marca dentro de su inventario, el equipo y sus componentes serán analizados tal y como se muestra en la siguiente figura:

Figura 16. Retroexcavadora JCB 3C

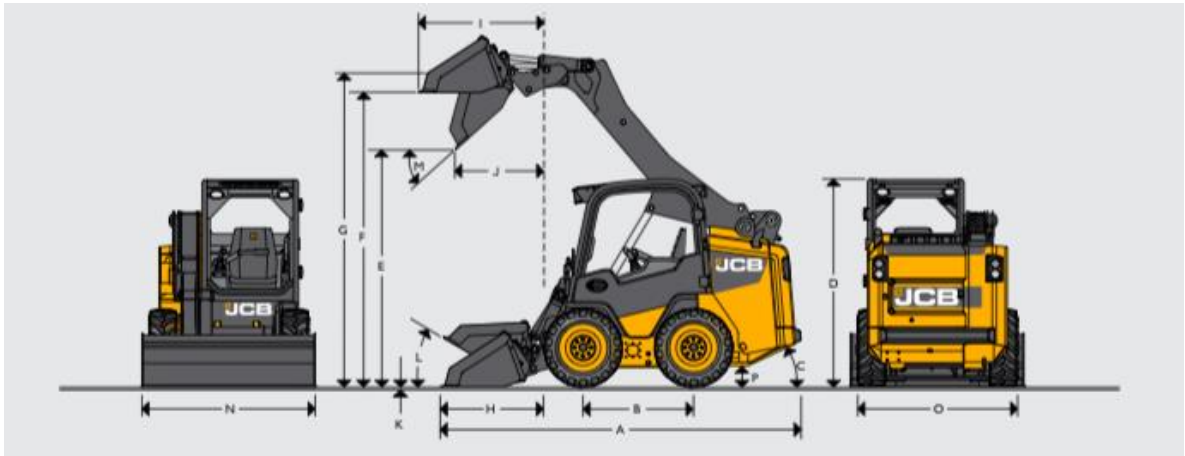
Cargadora-retroexcavadora JCB



Fuente. MANUAL RETROEXCAVADORA JCB [En línea] [Consultado el 14 de marzo 2018].
Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B1WvXuSVyhHqMGtwcGRBwnVuV0U/view>

- Minicargador JCB 260: Este equipo se analizará a través de la filosofía RCM teniendo en cuenta que nuestro análisis de criticidad de equipos lo identifico como un factor considerable no solo a nivel de presentación de fallas sino de costos, la siguiente figura brinda una vista general del equipo:

Figura 17. Especificaciones minicargador JCB260



Modelo de máquina		260
A Longitud total	m	3.69
B Distancia entre ejes	m	1.22
C Ángulo de salida	grados	28.7°
D Altura total	m	2.09
E Altura de descarga	m	2.46
F Altura de carga	m	3.02
G Altura del bulón totalmente subido	m	3.175
H Alcance a nivel del suelo (borde de corte)	m	0.98
I Alcance máximo a altura máxima	m	1.23
J Alcance a altura máxima (totalmente descargada)	m	0.87
K Espacio libre de profundidad de excavación (cuchilla horizontal)	m	-0.1
L Recogida a nivel del suelo	grados	30°
M Ángulo de descarga	grados	42°
N Anchura de cuchara de serie	m	1.82
Anchura de cuchara (opcional)	m	-
O Anchura sobre neumáticos de serie	m	1.82
Anchura sobre neumáticos (opcional)	m	1.87
Capacidad nominal operativa: 50 %	kg	1179
Capacidad de cuchara de serie	m³	0.47
Capacidad de cuchara (opcional)	m³	0.40
Radio de giro		
Radio de la esquina de la cuchara	m	2.20
Radio de enganche rápido	m	1.48
Radio del chasis trasero	m	1.76
P Altura libre	mm	238
Recorrido de elevación		Vertical

Fuente. FICHA TECNICA MINICARGADOR JCB260 [En línea] [Consultado el 14 de marzo 2018].

Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B1WvXuSVyhHqMGtwcGRBwnVuV0U/view>

3.4.2 Selección de fronteras. Para definir las fronteras del estudio RCM aplicado a la retroexcavadora y el mini cargador escogidos por medio del análisis de criticidad se tuvieron en cuenta los sistemas que conforman cada uno de los equipos y sus respectivos componentes, tal y como se muestra a continuación:

Tabla 6. Clasificación y descripción de sistemas de retroexcavadora JCB3C

SISTEMAS Y COMPONENTES DE LA RETROEXCAVADORA JCB 3C			
Motor	Dirección	Inyección	Eléctrico
Bloque	Ejes	Tuberías	Batería
Cigüeñal	Bombas	Tanque de combustible	Bujía
Culata	Válvulas	Sensores	Alternador
Pistones		Tobera	Luces
Camisas		Filtro de combustible	Interruptores
Bielas		Separador de agua	Motor de arranque
Cojinetes		Bombas de combustible	Indicadores de caratula
Engranajes			Bocina
Bombas de agua			Cableado
Bomba de aceite			
Filtro de aceite			
Filtro de combustible			
Ejes			
Válvulas			

SISTEMAS Y COMPONENTES DE LA RETROEXCAVADORA JCB 3C			
Hidráulico	Transmisión	Cabina	Refrigeración
Tuberías	Convertidor de par	Volante	Radiador
Mangueras	Servomandos	Testigos	Ventilador
Racores		Pedales	Correas
Tanque de aceite		Asiento	Tuberías
Filtro de aceite		Parabrisas	
Bomba de aceite		Palancas	

Fuente. Autores

De la anterior clasificación, los siguientes sistemas y componentes serán considerados a través del AMFE, teniendo en cuenta que, dada la complejidad e importancia de dichos sistemas, al realizar el análisis de sus fallas funcionales, modos de falla y efectos se obtendrán actividades más precisas para establecer las actividades a ejecutar dentro del plan de mantenimiento:

- Sistema Motor.
- Sistema Hidráulico
- Sistema Eléctrico

Para el mini cargador JCB260, se realiza la misma clasificación de sistemas y componentes, cabe aclarar que tanto para la retroexcavadora como para el mini cargador la clasificación anteriormente mencionada se encuentra basada en experiencia técnica y recomendaciones del fabricante.

Tabla 7. Clasificación y descripción de sistemas y componentes del mini cargador JCB260

SISTEMAS Y COMPONENTES DEL MINICARGADOR JCB260			
Motor	Hidráulico	Inyección	Eléctrico
Bloque	Tuberías	Tuberías	Batería
Cigüeñal	Mangueras	Tanque de combustible	Alternador
Culata	Racores	Filtro de combustible	Luces
Pistones	Tanque de aceite	Separador de agua	Interruptores
Camisas	Filtro de aceite	Bombas de combustible	Motor de arranque
Bielas	Bomba de aceite		Indicadores de caratula
Cojinetes			Bocina
Engranajes			Cableado
Bombas de agua			
Bomba de aceite			
Filtro de aceite			
Filtro de combustible			
Ejes			
Válvulas			

SISTEMAS Y COMPONENTES DEL MINICARGADOR JCB260			
Dirección	Transmisión	Cabina	Refrigeración
Ejes	Convertidor de par	Volante	Radiador
Cilindros	Servomandos	Pedales	Ventilador
		Asiento	Correas
		Parabrisas	Tuberías
		Palancas	

Fuente. Autores

Al realizar la clasificación de sistemas y componentes de cada uno de los equipos en cuestión, se observa que a pesar que ambos fueron diseñados con especificaciones técnicas diferentes, sus sistemas y componentes mantienen el mismo principio de funcionamiento, razón por la cual para el mini cargador JCB también serán considerados dentro del AMFE los siguientes sistemas:

- Sistema Motor.
- Sistema Hidráulico
- Sistema Eléctrico

3.4.3 Análisis de modos de falla (AMFE). Inicialmente, habiendo escogido los sistemas base de los equipos para realizar el análisis de modos falla, se procedieron a estudiar por separado cada uno de los sistemas, utilizando la metodología propuesta:

Tabla 7. Metodología propuesta para el desarrollo de análisis RCM



Fuente. Autores

- Preliminares: es importante resaltar los siguientes criterios base para el desarrollo del análisis de modos de falla.
- ✓ Se definen funciones de cada uno de los sistemas de acuerdo al principio de funcionamiento de cada equipo.

- ✓ La hoja de análisis de modo y efectos de falla se realizó con base en el material de clase suministrado por el profesor: Daniel Ortiz.
- ✓ La cifra asignada a la ocurrencia o probabilidad de fallo fue asignada en una escala del 1 al 10, siendo 1 la probabilidad remota y 10 probabilidad muy alta

Figura 18. Escala de probabilidad de ocurrencia de fallas

Probabilidad de fallo	Valor
Muy alta	10
	9
Alta	8
	7
Moderadas	6
	5
	4
Baja	3
	2
Remota	1

Fuente. Autores

- Sistema motor: para definir las funciones se consolidó el motor como un solo sistema, sin dejar de lado sus componentes más importantes a la hora de definir las fallas funcionales y los modos de falla, teniendo en cuenta que dado los bajos registros históricos documentales que permitieran información más detallada, la hoja de análisis fue diseñada teniendo en cuenta manuales del fabricante.

Figura 19. Especificaciones motor Minicargador CB260

Modelo	260
Motor	
Marca	JCB
Modelo motor	444 Turbo
Combustible	Diesel
Potencia neta	75 Hp
Cilindrada	4.400 cc

Fuente. FICHA TÉCNICA JCB [En línea] [Consultado el 28 de marzo 2018]. Disponible en:

https://jcb.cl/wp-content/uploads/2016/08/brochure_JCB_WEB_10.pdf

Figura 20. Especificaciones motor retroexcavadora jcb3c

Modelo	3CX
Motor	
Marca	JCB
Modelo motor	444 Turbo
Combustible	Diesel
Potencia neta	92 Hp
Cilindrada	4.400 cc
Inyección	Directa

Fuente. FICHA TÉCNICA JCB [En línea] [Consultado el 28 de marzo 2018]. Disponible en: https://jcb.cl/wp-content/uploads/2016/08/brochure_JCB_WEB_10.pdf

Figura 21. Hoja de RCM sistema motor de la retroexcavadora JCB3C y el minicargador JCB260.

HOJA DE ANALISIS DE MODO Y EFECTOS DE FALLA								
ARISMENDY ANDRADE								
EQUIPO	RETROCARGADOR JCB 3C/MINICARGADOR JCB260			ELABORADO POR		MELISSA DAZA-ALVARO LOBATON		
SISTEMA	MOTOR			FMEA No	1	FECHA:	13/03/18	
EQUIPO	COD. FUNCIÓN	FUNCIÓN	COD. FALLA FUNCIONAL	FALLA FUNCIONAL	COD. MODO FALLA	MODO DE FALLA	OCURENCIA	EFECTOS
MOTOR DISELMAX	RMFP1	Convertir energía fosil a energía mecánica en la retroexcavadora con una potencia de 83HP	RMFF1	no hay llegada de combustible a la bomba de inyección	RMF1	Filtro de combustible tapado	5	El motor no enciende
			RMFF2	Incapacidad para circular el aceite en los componentes	RMF2	Filtro de aceite desajustado	4	Presencia de ruido al momento de operar la retroexcavadora
			RMFF3	Baja presión en el suministro de combustible	RMF3	Bomba de inyección dañada	2	El motor se apaga a bajas revoluciones
			RMFF4	Sobrepasa el limite de temperatura de trabajo	RMF4	Termostato queda cerrado y no cambia a abierto	7	Motor no enciende/apagones repentinos
			RMFF5	Aumento en el consumo de combustible	RMF5	daño en los inyectores	6	El motor pierde potencia a medida que aumenta la carga

Fuente. Autores

- Sistema Hidráulico: Al igual que con el sistema de motor se tuvieron en cuenta las especificaciones del fabricante adicional al histórico recolectado para desarrollar la hoja de análisis de modo de falla.

Tabla 8. Especificaciones sistema hidráulico Retroexcavadora y minicargador JCB

Sistema hidráulico	Retroexcavadora JCB3C	Minicargador jcb260
Tipo bomba	Engranajes	Engranajes
Caudal máximo	143 Lts./Min	87 Lts./Min

Fuente. Fuente. FICHA TÉCNICA JCB [En línea] [Consultado el 28 de marzo 2018]. Disponible en: https://jcb.cl/wp-content/uploads/2016/08/brochure_JCB_WEB_10.pdf

Figura 22. Hoja de RCM sistema hidráulico de la retroexcavadora JCB3C y el minicargador JCB260

HOJA DE ANALISIS DE MODO Y EFECTOS DE FALLA								
ARISMENDY ANDRADE								
EQUIPO	RETROCARGADOR JCB 3C/MINICARGADOR JCB260			ELABORADO POR		MELISSA DAZA-ALVARO LOBATON		
SISTEMA	HIDRAULICO			FMEA No	2	FECHA:	13/03/18	
EQUIPO	COD FUNCIÓN	FUNCIÓN	COD. FALLA FUNCIONAL	FALLA FUNCIONAL	COD. MODO FALLA	MODO DE FALLA	OCURRENCIA	EFECTOS
HIDRAULICO	RHFP1	Proveer y regular la presión de aceite en la retroexcavadora	RHFF1	Perdida de presión en el cilindro	RHMD1	fuga de aceite por el retendor	8	Se evidencia constante goteo de aceite
			RHFF2	Disminución de capacidad de carga en el brazo	RHMD2	Desgaste en regulador de caudal de la bomba hidráulica	6	Demoras en excavación y carga de material
			RHFF3	Perdida de capacidad de movimiento	RHMD3	Desgaste de mangueras	9	Encendido del sensor de temperatura del sistema hidráulico
			RHFF4	Reducción de velocidad en el desplazamiento del equipo	RHMD4	contaminación en el aceite hidráulico	4	Encendido del sensor de temperatura del sistema hidráulico

Fuente. Autores

- Sistema eléctrico: Se presenta previamente el detalle de las especificaciones brindadas por el fabricante a través de las fichas técnicas:

Figura 23. Especificaciones sistema eléctrico Retroexcavadora JCB

SISTEMA ELÉCTRICO E INSTRUMENTACIÓN	
Indicadores	Tacómetro, temp. del refrigerante de motor, nivel de combustible, horómetro
Sistema de advertencia	Sistema audible y visual para el motor, la transmisión, los frenos de estacionamiento, el estado de carga de la batería y la restricción del filtro de aire
Batería	12 V, 750 CCA (opción de 1.000 CCA)
Precable	Precable para todas las luces, parlantes de radio en la cabina en la retroexcavadora 3C 15FT
Bocina	Botón frontal de la bocina montado en la palanca de avance y marcha atrás
Accesorio	Salida de potencia de 12 V en el panel de instrumentos
Alarma de marcha atrás	Ajuste estándar. Cumple con los requisitos de SAE
Alternador	95 amperio

Fuente. FICHA TÉCNICA JCB [En línea] [Consultado el 28 de marzo 2018]. Disponible en: <https://www.tecmaco.com.ar/upload/equipos/3CX%20Latam.pdf>

Figura 24. Especificaciones sistema eléctrico Retroexcavadora JCB

ILUMINACIÓN Y SISTEMA ELÉCTRICO (PLATAFORMA PEQUEÑA)		
Sistema de tierra negativo (12 V)	Batería para 1 000 arranques en frío (CCA)	
135	Alternador de 80 amperios	Panel de instrumentos montado en la cabina, con encendido, indicador de combustible, contador de horas, y embrague electrónico
155 - 205	Alternador de 100 amperios	
225 y modelos posteriores	Alternador de 95 amperios	
También se incluye en el panel de instrumentos un cuadro de luces de advertencia que tiene alarmas acústicas para:		
Presión baja de carga	Filtro de aire bloqueado	
Temperatura del agua del motor	Presión de aceite del motor	
Presión de aceite hidráulico	Alternador	
Caja de fusibles y relés montada en la cabina diseñada para evitar la entrada de suciedad y agua		
Conexiones externas IP 69 y aislador de batería de serie		

Fuente. FICHA TECNICA MINICARGADOR JCB260 [En línea] [Consultado el 14 de marzo 2018]. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B1WvXuSVyhHqMGtwcGRBwNvuV0U/view>

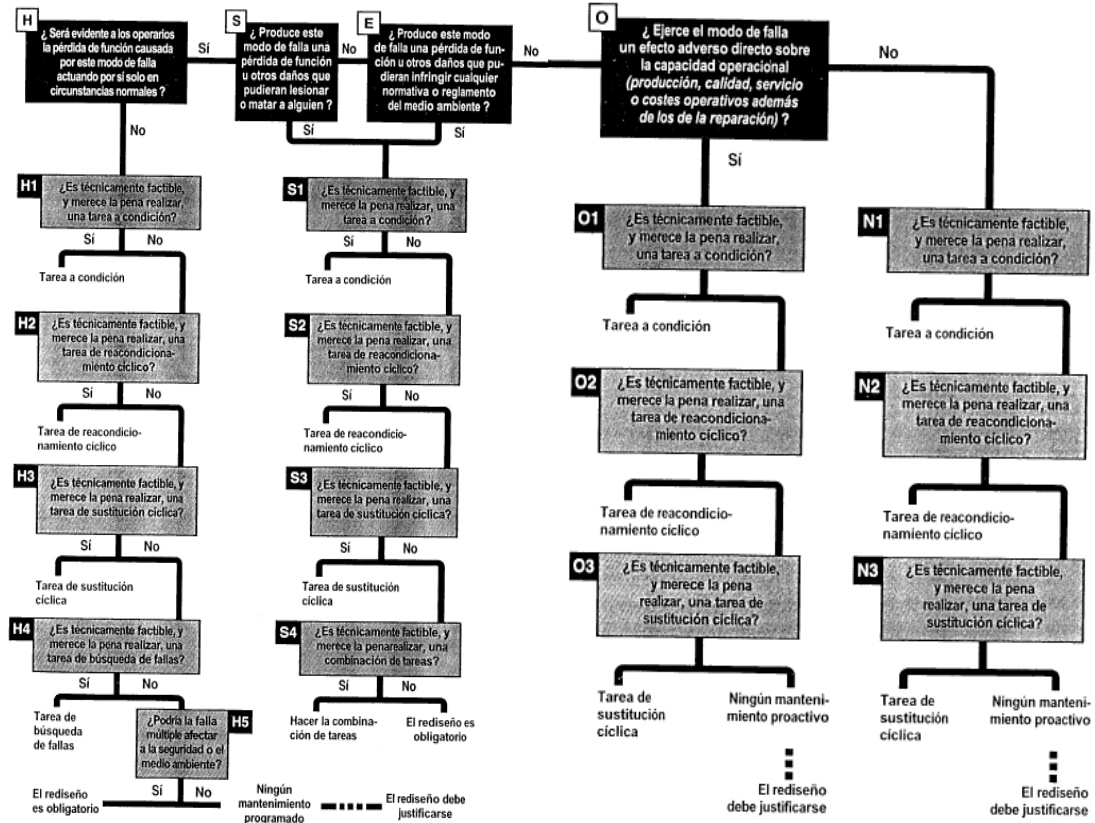
Figura 25 . Hoja de RCM sistema eléctrico de la retroexcavadora JCB3C y el minicargador JCB260

HOJA DE ANALISIS DE MODO Y EFECTOS DE FALLA								
ARISMENDY ANDRADE								
EQUIPO	RETROCARGADOR JCB 3C/MINICARGADOR JCB260				ELABORADO POR		MELISSA DAZA-ALVARO LOBATON	
SISTEMA	ELECTRICO				FMEA No	2	FECHA:	13/03/18
EQUIPO	COD FUNCIÓN	FUNCIÓN	COD. FALLA FUNCIONAL	FALLA FUNCIONAL	COD. MODO FALLA	MODO DE FALLA	OCURRENCIA	EFECTOS
ELECTRICO	REFP1	Permitir el encendido del motor	REFF1	Incapaz de dar encendido al equipo	REMD1	Desgaste en batería	7	Apagados repentinos del equipo
					REMD2	Escobillas de alternador desgastadas	5	Bujias no hacen chispa
					REMD3	Cableado deteriorado	5	El motor no enciende
					REMD4	Daño en el embobinado del arranque	5	El motor no enciende

Fuente. Autores

3.4.4 Diagrama de decisión de RCM. El proceso de realizar el análisis modo fallas y efectos, sentó las bases para identificar las actividades o tareas de mantenimiento que serán ejecutadas con determinada frecuencia, esto, a través del diagrama de decisión de RCM el cual nos permitió consolidar y establecer las rutinas que harán parte de la propuesta de plan de mantenimiento. Sin embargo, la siguiente figura explica de forma detallada el diagrama de decisión con los criterios de decisión:

Figura 26. Diagrama de decisión RCM



Fuente. Moubray, Jhon. Mantenimiento centrado en confiabilidad-RCMII-, Buenos Aires:

Ellmann, 2004. P.204,205.

El diagrama de decisión RCM, fue llevado a cabo para cada uno de los sistemas propuestos dentro del análisis de modo de falla, sin embargo, para definir las tareas que se ejecutarían hemos tomado como base la norma SAE JA 1012 para establecer los criterios que identifican las tareas apropiadas para mitigar o atacar cada uno de los modos de falla, obteniendo así los siguientes resultados:

Figura 27. Hoja de decisión RCM ARISMENDY ANDRADE

HOJA DE DECISIÓN RCM															
EQUIPO			RETROEXCAVADORA JCB3/MINICARGADORJCB260						SISTEMA			MOTOR			
REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	ACCIÓN A FALTA DE			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
							S1	S2	S3						
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			
RMFP1	RMFF1	RMF1	N				N	N	S				Cambio filtro de combustible	500hrs	Técnico mecánico
RMFP1	RMFF2	RMF2	S	N	N	S	S						Verificar ajuste de filtro de aceite	Diario	Operador
RMFP1	RMFF3	RMF3	N				S						Medir presiones de salida de la bomba	5000hrs	Técnico mecánico
RMFP1	RMFF4	RMF4	N				N						Ningun mantenimiento programado		
RMFP1	RMFF5	RMF5	N				N	N	S				Cambiar inyectores	5000hrs	Técnico mecánico
EQUIPO			RETROEXCAVADORA JCB3/MINICARGADORJCB260						SISTEMA			HIDRÁULICO			
REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	ACCIÓN A FALTA DE			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
							S1	S2	S3						
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			
RHFP1	RHFF1	RHMD1	N				N	N	S				Cambiar retenedores de los cilindros	1000 hrs	Técnico mecánico
RHFP1	RHFF2	RHMD2	N				S						Medir presiones de salida de la bomba hidráulica	500hrs	Técnico electrico
RHFP1	RHFF3	RHMD3	S	N	S		S						Inspección estado de racores y mangueras	Diario	Operador
RHFP1	RHFF4	RHMD4	N				N	N	S				Cambio de aceite hidráulico	250hrs	Técnico mecánico
EQUIPO			RETROEXCAVADORA JCB3/MINICARGADORJCB260						SISTEMA			ELECTRICO			
REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	ACCIÓN A FALTA DE			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
							S1	S2	S3						
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			
REFP1	REFF1	REMD1	N				S						Revisar nivel y estado acido de batería	1000 hrs	Técnico mecánico
REFP1	REFF1	REMD2	N				N	N	N				Ningun mantenimiento programado		
REFP1	REFF1	REMD3	S	S			S						Inspeccionar cableado y conexiones	Diario	Operador
REFP1	REFF1	REMD4	N				N						Medir voltajes y flujo de corriente	semanal	técnico mecánico

Fuente. Autores

3.5 PROPUESTA PLAN DE MANTENIMIENTO

Una vez realizado el proceso de análisis de modos de falla y la definición de tareas a realizar, se propone un plan de mantenimiento integral el cual tendrá un alcance para las 9 retroexcavadoras y los 2 minicargadores identificados como los equipos críticos de ARISMENDY ANDRADE.

Ahora bien, dado que el estudio se llevó a cabo para tres de los sistemas que componen dichos equipos se propone la siguiente estructura para establecer un plan de mantenimiento para la compañía:

Figura 28. Factores que componen el plan de mantenimiento de ARISMENDY ANDRADE



Fuente. Autores

De acuerdo a los factores mencionados en la gráfica anterior, se propone un plan que contemple dos tipos de mantenimiento: Preventivo y correctivo así:

✓ Mantenimiento Preventivo. El mantenimiento preventivo estará condicionado con la programación mensual de actividades de inspección, cambio, verificación de cada uno de los sistemas que componen las retroexcavadora y el minicargador, para ello y como resultado de la hoja de decisión se identificaron las actividades a ser incluidas dentro de las rutinas de mantenimiento preventivo, sin dejar de lado las recomendaciones del fabricante y las condiciones operativas de cada uno de los equipos, por lo anterior, se diseñó el siguiente formato estándar como una guía y un registro de los mantenimientos que serán programados y ejecutados:

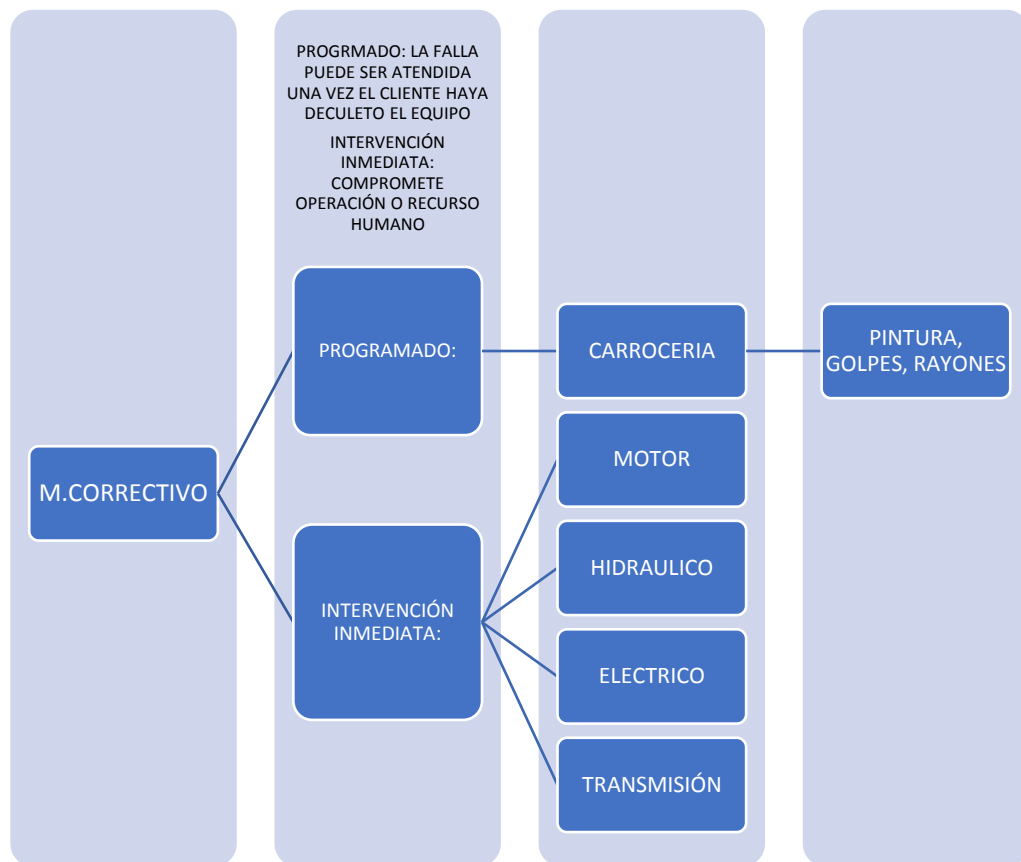
Figura 29. Hoja de decisión de RCM

ARISMEND ANDRADE S.A.S								
HOJA DE RUTA PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO								
EQUIPO:								
HRS DE TRABAJO:		FECHA:						
HOROMETRO:		TÉCNICO:						
SISTEMA	ACTIVIDAD	FRECUENCIA						
		DIARIO	50	100	200	250	500	1000
MOTOR	CAMBIO ACEITE				X			
	INSPECCIONAR Y CAMBIAR ESTADO DE FILTRO DE COMBUSTIBLE		X					
	INSPECCIONAR Y CAMBIAR ESTADO DE FILTRO DE AIRE				X			
	INSPECCIONAR Y CAMBIAR ESTADO DE FILTRO DE AIRE				X			
	REVISE ESTADO DE CORREAS					X		
	COMPROBAR ESTADO DE MANGUERAS	X						
	CAMBIAR INYECTORES							X
	LIMPIAR RADIADOR					X		
TRANSMISIÓN Y DIF	VERIFICAR NIVEL ACEITE TRANSMISIÓN	X						
	CAMBIAR FILTRO TRANSMISIÓN			X				
	VERIFICAR COJINETES		X					
	ENGRASAR SEMIEJES				X			
	ENGRASAR PIVOTES				X			
HIDRAULICO	VERIFICAR NIVEL DE ACEITE	X						
	CAMBIAR ACEITE				X			
	CAMBIAR FILTRO ACEITE				X			
	INSPECCIONAR CILINDROS HIDRAULICOS		X					
	CAMBIAR RETNEDORES DE CILINDROS					X		
FRENOS	COMPROBAR NIVEL DE ACEITE DEL SISTEMA DE FRENOS		X					
	CAMBIAR ACEITE			X				
	AJUSTAR FRENOS DE MANO					X		
SISTEMA ELECTRICO	VERIFICAR NIVEL DE ACIDO DE BATERIA		X					
	INSPECCIONAR CABLEADO	X						
	REVISAR ESTADO DE TERMINALES (BORNES)	X						
	VERIFICAR FUNCIONAMIENTO DE LUCES, PITOS.	X						
CARROCERIA/CABIN	REVISAR ESTADO DE PASADORES	X						
	INSPECCIONE ESTDO DE VIDRIOS	X						
	COMPORBAR FUNCIONAMIENTO ASIENTO	X						
	VERIFICAR NIVEL LIQUIDO PARABRISAS	X						
	REVISAR ESTADO DE PINTURA					X		
	COMPROBAR PRESION Y ESTADO DE LLANTAS		X					

Fuente. Autores

- ✓ **Mantenimiento correctivo.** Dada las condiciones operativas de los equipos y teniendo en cuenta que la mayor parte del tiempo los equipos se encuentran con terceros y que no se puede asegurar el buen manejo del equipo, se realizaran capacitaciones de manejo adecuado a los clientes y operadores como una medida de mitigación, sin embargo, dado que no es posible tener bajo control todos aquellos factores que puedan incidir en los fallos del equipo, como mantenimiento correctivo se propone la siguiente metodología:

Figura 30. Estructura plan de mantenimiento



Fuente. Autores

- ✓ **Seguimiento y mejora:** Se propone la realización de análisis RCM cada seis meses inicialmente, escogiendo sistemas estratégicamente de acuerdo a su

comportamiento registrado en dicho periodo de tiempo, esto con el fin de abarcar cada uno de los sistemas que componen los equipos.

3.6 PROPUESTA DE INDICADORES PARA EL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE ARISMENDY ANDRADE

Hay una serie de indicadores de gestión utilizados para medir la efectividad de un programa de RCM. Los indicadores más útiles son numéricos. Los indicadores numéricos o cuantificados, a los que a menudo se hace referencia como “métricos” se pueden expresar como metas y objetivos, medidos y mostrados de varias maneras con el propósito de analizar la efectividad del programa RCM y apoyar la toma de decisiones de la gerencia.

Para la gerencia, los indicadores se utilizan en el proceso de planificación estratégica para el desarrollo de la compañía, la optimización y la dirección de los objetivos de gestión. Los indicadores deben revelar la efectividad del programa de gestión y medir los costos (para respaldar presupuestos). El departamento de mantenimiento es responsable de la traducción de los indicadores técnicos a los indicadores generales de la gerencia. Las metas se pueden usar también para definir las funciones del personal, para la formulación de presupuestos, capacitación, contratación y para garantizar el cumplimiento de ciertos requisitos reglamentarios. Los indicadores más utilizados y que se utilizarán para este caso de estudio en particular son:

Disponibilidad. Es el indicador más importante en el departamento de mantenimiento, ya que el objetivo es lograr la máxima disponibilidad de todos los equipos. La disponibilidad se define en términos matemáticos, mediante el índice de disponibilidad, como la probabilidad de que un equipo o sistema sea operable satisfactoriamente a lo largo de un periodo de tiempo dado. Esto se logra reduciendo al máximo el número de paradas para obtener una operación exitosa, económica y

rentable. Si se calcula correctamente, es muy sencillo: es el cociente de dividir el nº de horas que un equipo ha estado disponible para producir y el nº de horas totales de un periodo:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas Totales} - \text{Horas parada por mantenimiento}}{\text{Horas Totales}}$$

Disponibilidad por averías. Este indicador hace referencia a los tiempos de indisponibilidad ocasionados solamente por intervenciones no programadas. Por lo anterior, la disponibilidad por avería no tiene en cuenta las paradas programadas de los equipos. La ecuación para calcularla es la siguiente:

$$\text{Disponibilidad por avería} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas de parada por avería}}{\text{Horas totales}}$$

Tiempo medio entre fallas. Muy comúnmente llamado MTBF por sus siglas en inglés (Mean time between failures). Este indicador nos permite conocer la frecuencia con que ocurren las averías o, en otras palabras, el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de una falla. La ecuación se muestra a continuación:

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Nº de Horas totales del periodo de tiempo analizado}}{\text{Nº de averías}}$$

Tiempo medio de reparación. También se conoce como MTTR por sus siglas en inglés (Mid time to repair). Este indicador permite conocer la relevancia de las fallas que se producen en un equipo considerando el tiempo medio hasta su solución. Es decir, mide la efectividad en restituir la unidad a condiciones óptimas de operación

una vez se encuentra fuera de servicio por una avería, dentro de un tiempo determinado. Se calcula de la siguiente manera:

$$MTTR = \frac{N^{\circ} \text{ de horas de paro por avería}}{N^{\circ} \text{ de averías}}$$

Disponibilidad por avería. Por simple cálculo matemático, se puede deducir este indicador que se calcula así:

$$\text{Disponibilidad por avería} = \frac{MTBF - MTTR}{MTBF}$$

Numero de Órdenes de Trabajo (O.T.) en un tiempo determinado. Es discutible si el número de órdenes de trabajo es un indicador muy fiable sobre la carga de trabajo en un periodo, ya que 100 O.T. de una hora pueden agruparse en una sola orden de trabajo con un concepto más amplio. Sin embargo, dada la sencillez con que se obtiene este dato, suele ser un indicador muy usado. La información que facilita este indicador es más representativa cuanto mayor sea la cantidad media de órdenes de trabajo que genera la planta. Así, es fácil que en una planta que genera menos de 100 O.T. de mantenimiento mensuales la validez de este indicador sea menor que una planta que genera 1000 O.T. Adicionalmente es posible calcular el rendimiento de la plantilla a partir de este número. Este indicador puede dividirse en sectores de la planta, en O.T. pendientes por ejecución y O.T. terminadas.

Índice de cumplimiento de la planificación. A pesar de que resulta muy lógico el empleo de este indicador, en realidad son muy pocas las plantas que lo tienen implementado. Este indicador hace referencia a la proporción de órdenes que se

culminaron en la fecha establecida en la programación, sobre el total de O.T. totales. Se calcula así:

$$\text{Indice de cumplimiento de la planificación} = \frac{\text{N}^\circ \text{ Órdenes acabadas en la fecha planificada}}{\text{N}^\circ \text{ Ordenes totales}}$$

Tiempo medio de resolución de una O.T. Es el cociente de dividir el n° de O.T. resueltas entre el n° de horas que se han dedicado a mantenimiento:

$$\text{Tiempo medio} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de O.T. resueltas}}{\text{N}^\circ \text{ de horas dedicadas a mantenimiento}}$$

Los indicadores anteriores se deberán exponer en cada reunión del departamento de mantenimiento, en donde estará presente todo el equipo de trabajo y se propondrá realizar semanalmente para poder realizar un correcto seguimiento. De cada reunión deberá salir un acta de compromisos. Adicionalmente el jefe de departamento también deberá exponer y explicarlos en una reunión mensual que se realizará con la junta directiva de la compañía.

Es de vital importancia que se haga una capacitación previa para asegurar que todos los empleados entiendan e interioricen las metas y propongan cómo desde su cargo y sus funciones del día a día pueden contribuir al cumplimiento de las metas.

4. CONCLUSIONES

- Se propuso un plan de mantenimiento basado en confiabilidad para la maquinaria pesada de Arismendy Andrade S.A.S específicamente las retroexcavadoras y los minicargadores identificados dentro del análisis de criticidad.
- Se analizó, estudió y desarrollo una metodología de Mantenimiento Centrado basado en Confiabilidad RCM a los equipos de maquinaria pesada de la empresa Arismendy Andrade SAS clasificados como críticos, los cuales incluyen retroexcavadoras y minicargadores.
- Se realizó el análisis de criticidad de equipos recogiendo información del número total de fallas de todos los equipos durante el año 2017, así como los costos de reparación de cada una de las fallas analizando mediante la herramienta de Pareto los equipos que generan un mayor impacto en los indicadores de la compañía. Este análisis arrojó como resultado los equipos como retroexcavadora y minicargadores como los pocos vitales, lo que implicó una mayor atención y replantear las tareas de mantenimiento existentes en estos equipos en una primera etapa, con el fin de tener una mejor respuesta ante una falla.
- Se identificaron las funciones de los sistemas, las fallas de cada función, modos de falla y sus efectos, análisis de consecuencias de cada uno de los modos de falla, permitiendo de esta manera la apropiada selección de las tareas de mantenimiento y frecuencias. Es muy importante un correcto seguimiento al cumplimiento de las tareas de mantenimiento propuestas para el éxito del programa de mantenimiento, y en el que todo el personal debe estar involucrado.

- Se proponen indicadores de gestión del departamento de mantenimiento que se consideran claves para un correcto seguimiento, fijación de metas y una mejora continua en los procesos internos. Estas metas deberán ser reales y deberán ser mostradas mensualmente ante la gerencia general y de manera semanal en las reuniones internas del departamento. Los indicadores propuestos incluyen: disponibilidad, MTBF, MTTR, porcentaje de cumplimiento de órdenes de trabajo, entre otros. Es clave que cada empleado se comprometa específicamente a poner un grano de arena para alcanzar los objetivos y la administración en invertir los recursos que se requieran para el éxito del programa.

BIBLIOGRAFIA

BLOOM, Neil 2006. Reability Centered Maintenance: Implementation Made Simple. Editorial McGraw-Hill Inc. ISBN 0-07-146069-1 291p.

BORRAS PINILLA, Carlos. Principios de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2011.

DHILLON B.S., 2002. Engineering Maintenance: a modern approach. Editorial CRC Press ISBN 1-58716-142-7 222p.

GRESHAM, Robert M. Lubrication and Maintenance of Industrial Machinery. CRC Press,2008. 284p.

HIGGINS, Lindley R. Maintenance Engineering Handbook. McGraw-Hill. 2001, 1504p.

HUJIZ, Robert. Heavy Equipment Systems. Natef, 2014. 656p

MOUBRAY, John Mitchell, II RCM. Reliability Centered Maintenance – Second Edition. Aladon Limited, 2004. 433 p. ISBN 09539603-2-3.

PALMER, Richard. D. Maintenance Planing and Scheduling Handbook. McGraw-Hill, 2012, 912p.

RAMESH, Gulati. Maintenance and Reliability Best Practices. Industrial Press Inc., 2012. 400p.

SAE JA1011. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. Society of Automative Engineers, Inc 1999. 30p.

SMITH 2004. RCM – RCM To World Class Maintenance. Editorial Elsevier
Butterworth-Heinemann. ISBN 0-7506-7461-X 337p.