

**IMPLEMENTACIÓN DEL ÁREA DE CONFIABILIDAD EN EL PROCESO DE
MANTENIMIENTO DE LA SUPERINTENDENCIA DE EQUIPO DE SOPORTE
CERREJÓN**

**JERSON ABEL DIAZ URIBE
ROBIEL ANDRES RUEDA MARTINEZ**



**FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2016**

**IMPLEMENTACIÓN DEL ÁREA DE CONFIABILIDAD EN EL PROCESO DE
MANTENIMIENTO DE LA SUPERINTENDENCIA DE EQUIPO DE SOPORTE
CERREJÓN**

**JERSON ABEL DIAZ URIBE
ROBIEL ANDRES RUEDA MARTINEZ**

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

**Jose Guillermo Nieves Zarate
Ingeniero Mecanico
Especialista Gerencia de Mantenimiento**



**FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2016**

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
2. OBJETIVOS.....	15
2.1. OBJETIVOS GENERALES	15
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2.2.1. Definir estrategia de mantenimiento del taller de equipo de soporte.....	15
2.2.2. Definir indicadores para realizar seguimiento al proceso.	15
2.2.3. Determinar la importancia del área de confiabilidad dentro del proceso de mantenimiento	16
3. JUSTIFICACIÓN DEL PLAN PROPUESTO	17
4. ANÁLISIS DE LA LITERATURA RECOPIADA	18
4.1. MARCO TEÓRICO.....	18
4.2. MARCO CONCEPTUAL	20
4.3. MARCO LEGAL	21
5. CLASIFICACION DE EQUIPOS.....	22
5.1. TAXONOMIA DE EQUIPOS.....	22
5.2. CRITICIDAD DE EQUIPOS.....	27
5.2.1. Consecuencia	28
5.2.2. Frecuencia de ocurrencia	29
5.2.3. Matriz de criticidad	30
5.2.4. Cálculo de la criticidad de equipos.....	30
5.2.5. Identificación de entradas y salidas del proceso	37
6. PLANTEAMIENTO DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO DEL TALLER DE EQUIPO DE SOPORTE	38
6.1. MANTENIMIENTO PREVENTIVO	39
6.1.1. Rutina de pm o mantenimiento preventivo:	39
6.1.2. Trabajo programado.....	43
6.1.3. Ventana de programación.....	44
6.1.4. Manejo de información del proceso	47
6.1.5. Indicadores del proceso de mantenimiento preventivo.....	48

6.1.6.	Estrategia de mejoramiento del proceso de pm	49
6.2.	MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	51
6.2.1.	Análisis de aceites	52
6.2.2.	Ultrasonido enfocado a inspecciones estructurales.....	53
6.3.	MANTENIMIENTO CORRECTIVO.....	53
6.3.1.	Malos actores.....	54
6.3.2.	Análisis causa raíz – rca	56
6.4.	DEFINICION DE INDICADORES	68
6.5.	CAPTURA DE INFORMACIÓN.....	70
6.6.	ROL DEL ANALISTA DE CONFIABILIDAD	74
6.6.1.	Objetivo	74
6.6.2.	Funciones.....	74
6.6.3.	Habilidades	77
6.7.	IMPORTANCIA DEL ÁREA DE CONFIABILIDAD DENTRO DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO.....	77
7.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	79
8.	PRESUPUESTO.....	80
9.	CONCLUSIONES	81
	BIBLIOGRAFÍA.....	83
	ANEXOS.....	85

TABLA DE FIGURAS

Figura 1: Proceso productivo Cerrejón.....	13
Figura 2: Modelo de definición de taxonomía	23
Figura 3: Taxonomía taller equipo de soporte	24
Figura 4: Análisis de edad de equipos	25
Figura 5: Distribución porcentual de criticidad por flotas.....	32
Figura 6: Ficha técnica de proceso de mantenimiento taller equipo de soporte	37
Figura 7: Rutinas de Mantenimiento Preventivo	40
Figura 8: Ciclo de ejecución de mantenimiento preventivo	41
Figura 9: Diagrama de proceso de implementación de RCM.....	50
Figura 10: Diagrama de proceso de muestra de análisis de aceites	52
Figura 11: Pareto UAS – eventos correctivos 01 Ene a 30 Jun 2016	55
Figura 12: Diagrama de proceso de ejecución de RCA.....	60
Figura 13: Flujograma de proceso de RCA.....	60
Figura 14: Árbol de falla RCA	66
Figura 15: Ciclo PHVA	68
Figura 16: Flujograma de manejo de la información.....	72
Figura 17: Formato de administración de parada	73

TABLA DE CUADROS

Cuadro 1: Flota grúas y monta llantas	26
Cuadro 2: Flota equipo de soporte.....	27
Cuadro 3: Modelo matriz de Criticidad.....	28
Cuadro 4: Niveles de criticidad	28
Cuadro 5: Criterios de evaluación de criticidad	28
Cuadro 6: Criterios de evaluación frecuencia de ocurrencia	29
Cuadro 7: Matriz de Criticidad	30
Cuadro 8: Clasificación de criticidad de equipos	31
Cuadro 9: Distribución de criticidad por equipos	31
Cuadro 10: Resumen de criticidad por flota y equipos	32
Cuadro 11: Matriz de planeación táctica de grúas.....	33
Cuadro 12: Matriz de planeación táctica de enrollables y cargadores.....	34
Cuadro 13: Matriz de planeación táctica de manejadores de llantas	35
Cuadro 14: Matriz de planeación táctica de bombas barnes	36
Cuadro 15: Matriz de planeación táctica de máquinas fusión.....	36
Cuadro 16: Resumen de rutinas de PM por referencia de equipo.....	42
Cuadro 17: Clasificación de tareas por prioridad	43
Cuadro 18: Ventanas de programación Julio 2016.....	44
Cuadro 19: Formato de registro de ventana operativa	46
Cuadro 20: Componentes evaluados con análisis de aceites.....	52
Cuadro 21: Indicadores de planeación y programación	68
Cuadro 22: Indicadores de ejecución y análisis.....	69
Cuadro 23: Clasifican de órdenes de trabajo	70
Cuadro 24: Diagrama de Gantt – Cronograma de actividades	79
Cuadro 25: Presupuesto	80

TABLA DE ANEXOS

Anexo A: Taxonomía de equipos.....	85
---	-----------

RESUMEN

TITULO: IMPLEMENTACIÓN DEL ÁREA DE CONFIABILIDAD EN PROCESO DE MANTENIMIENTO DE LA SUPERINTENDENCIA DE EQUIPO DE SOPORTE CERREJÓN.*

AUTORES: JERSON ABEL DIAZ URIBE
ROBIEL ANDRES RUEDA MARTINEZ **

PALABRAS CLAVES: MANTENIMIENTO, CONFIABILIDAD, DISPONIBILIDAD, MALOS ACTORES, TAXONOMIA, FALLA CRITICA, ONBASE.

RESUMEN DEL PROYECTO:

Cerrejón es el complejo carbonífero con la mina a cielo abierto más grande de Latinoamérica, este se encuentra ubicado en el Departamento de la Guajira, Colombia. Este complejo opera las 24 horas del día, los 364 días del año con el fin de cumplir con las metas de producción.

Los equipos adscritos a la Superintendencia de equipo de soporte Cerrejón son los encargados de brindar apoyo en la realización de las diferentes actividades dentro del proceso productivo minero. Aunque son equipos de menor tamaño y no se encuentran dentro de la línea principal productiva, sí tienen un gran impacto en la operación y una baja disponibilidad de equipos de soporte que pueden generar paradas de equipos mineros generando pérdidas económicas a la compañía. Por esta razón es muy importante que las metodologías de mantenimiento aplicadas garanticen la confiabilidad y disponibilidad requerida por los diferentes grupos de interés.

El proyecto tiene como objetivo principal diseñar el plan estratégico para la implementación del área de confiabilidad a la superintendencia de equipo de soporte a través de la definición de la estrategia de mantenimiento del taller y los indicadores de seguimientos del proceso, con el fin de reducir los costos asociados al mantenimiento y paradas no programadas de los 293 equipos de soporte.

* Proyecto de grado

** Facultad: Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela: Ingeniería Mecánica. Director: José Nieves Zarate.

SUMMARY

TITLE: IMPLEMENTATION OF RELIABILITY AREA IN PROCESS OF MAINTENANCE OF SUPERINTENDENT OF SUPPORT EQUIPMENT CERREJÓN.*

AUTHORS: JERSON ABEL DIAZ URIBE
ROBIEL ANDRES RUEDA MARTINEZ**

KEYWORDS: MAINTENANCE, RELIABILITY, AVAILABILITY, BAD ACTORS, TAXONOMY, CRITICAL FAILURE, UAS

PROJECT SUMMARY:

Cerrejón is the mining complex whit largest opencast mine of Latin America, this is located in the department of La Guajira, Colombia. This complex operates 24 hours a day, 364 days a year to reach production goal.

The equipment assigned to the support team superintendence of Cerrejón are responsible for providing support in the implementation of the many activities within the mining production process. Although the equipment is small and not are inside of productive main line, they have a big impact on operation and a low availability of support equipment can generate mining equipment stops generating economic losses to the company. For this reason it is very important that maintenance methodologies applied guarantee the reliability and availability requested by the different stakeholders.

The main objective of the project is design a strategic plan for implement the area of reliability in the support team superintendence through the definition of the maintenance strategy workshop and indicators of monitoring the process, to reduce costs associated with maintenance and unscheduled shutdown of the 293 support teams.

* Graduation Project

** Faculty: Mechanical Engineering Physical. Institute: Mechanical Engineering. Director: Jose Nieves Zarate.

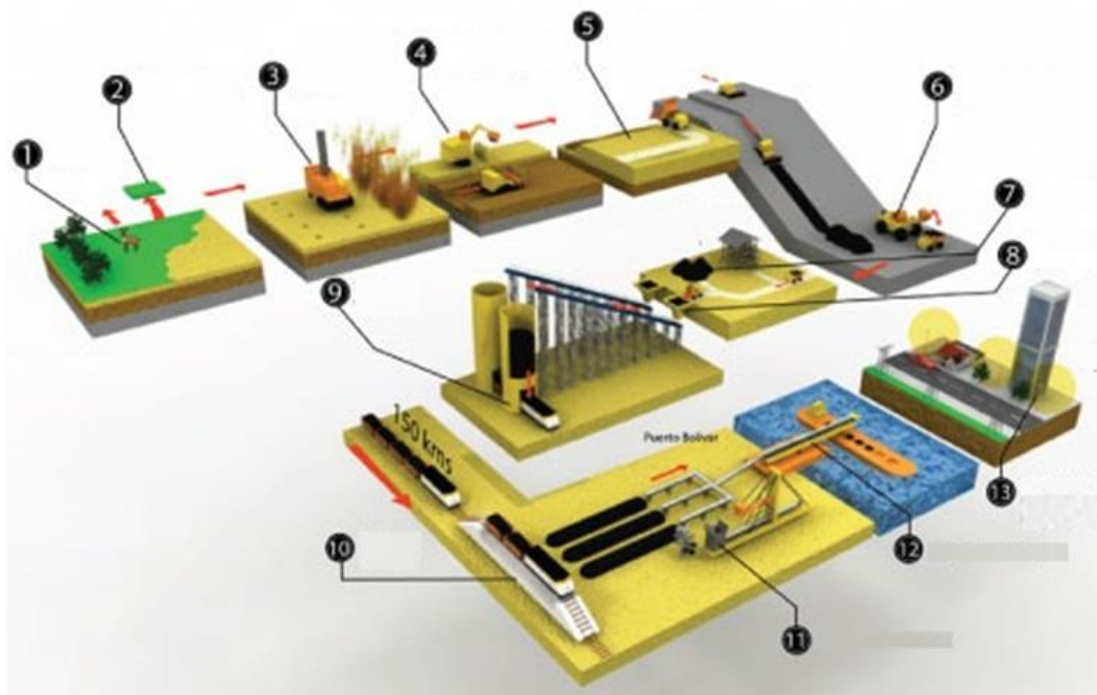
INTRODUCCION

El mantenimiento puede definirse como un conjunto de acciones que buscan mantener un activo, equipo o sistema dentro de un estado en el que pueda cumplir con una función específica bajo unas condiciones determinadas.

En la actualidad el término confiabilidad hace parte de la cotidianidad del mantenimiento, Moubray (2004) afirma que la función del mantenimiento es: “asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que haga” y en consecuencia la confiabilidad busca “asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual” p.6.

Implementar el área de confiabilidad en el proceso de mantenimiento tiene como objetivo principal la reducción de costos de mantenimiento y las paradas no programadas, a través de la definición de las fallas funcionales y el análisis de los modos falla, sus efectos y sus consecuencias en los activos; de esta forma garantizar su funcionamiento dentro de un contexto operacional de calidad, seguridad y preservación del medio ambiente, acorde con la misión y visión propias del proceso de extracción de carbón (ver figura 1) definidas para el proceso productivo de Cerrejón.

Figura 1: Proceso productivo Cerrejón



Fuente: Cerrejón

- 1- Rescate y relocalización de la fauna
- 2- Reforestación y remoción de la capa vegetal
- 3- Perforación y voladura
- 4- Carga de material estéril
- 5- Transporte y disposición de material estéril
- 6- Remoción, carga y transporte de carbón
- 7- Apilamiento de carbón
- 8- Trituramiento de carbón
- 9- Carga del tren
- 10- Estación de descargue en puerto bolívar
- 11- Apiladores – Reclamadores
- 12- Embarque del carbón
- 13- Energía para el mundo

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El complejo minero carbonífero CERREJON ubicado en el Departamento de la Guajira, Colombia es la mina a cielo abierto más grande de Latinoamérica y una de las más grandes del mundo. La caída de precios de los commodities de los últimos años incluyendo el precio de la tonelada del carbón ha determinado la necesidad de reevaluar todos los procesos de la compañía con el fin de reducir los costos de producción y aumentar la productividad.

La superintendencia de equipo de soporte es la encargada de realizar el mantenimiento preventivo y correctivo de 293 equipos los cuales son fundamentales en el desarrollo de cada uno de los procesos de la compañía. Después de realizar una valoración de los procesos del taller se hace necesaria la implementación del área de confiabilidad con el fin de actualizar la metodología de mantenimiento aplicada en busca de reducir las paradas de equipos no programadas y reducción de costos de mantenimiento.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVOS GENERALES

Diseñar el plan estratégico para la implementación del área de confiabilidad en el proceso de mantenimiento de la superintendencia de equipo de soporte Cerrejón.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

2.2.1. Definir estrategia de mantenimiento del taller de equipo de soporte.

- Realizar el taller de taxonomía de los equipos del taller de soporte en base a la norma ISO 14224.
- Definir los criterios de evaluación de criticidad correspondientes a la consecuencia y frecuencia de los eventos.
- Realizar el cálculo de criticidad para cada equipo aplicando la matriz de criticidad.
- Definir los malos actores del proceso aplicando la metodología de análisis de Pareto.
- Definir las etapas para la aplicación de la metodología RCA a los malos actores.

2.2.2. Definir indicadores para realizar seguimiento al proceso.

- Definir el medio y el proceso de captura de la información generada durante el proceso de mantenimiento.
- Definición de clientes, entradas y salidas del proceso de mantenimiento del taller equipo de soporte.
- Identificar los diferentes sub-procesos del taller, asignar indicadores de desempeño y metas.

2.2.3. Determinar la importancia del área de confiabilidad dentro del proceso de mantenimiento

- Definir el rol del analista de confiabilidad dentro del proceso de mantenimiento de la superintendencia de equipo de soporte.
- Determinar los beneficios de la implementación del área de confiabilidad al proceso de mantenimiento del taller de soporte.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PLAN PROPUESTO

La empresa minera CERREJÓN se encuentra adelantando planes y estrategias para disminuir los costos de producción y aumentar la productividad de la compañía; debido a la caída del precio de la tonelada del carbón en los últimos años, se hace necesario evaluar todos los procesos para encontrar oportunidades de ahorro y una forma efectiva de hacer las cosas.

Teniendo en cuenta la cantidad de equipos necesarios durante el proceso de extracción de carbón y todos los sub-procesos asociados, las condiciones ambientales de la mina y la operación continua los 364 días al año, el mantenimiento juega un papel muy importante y representa un costo elevado dentro de los costos de funcionamiento de la compañía.

El taller de Equipos de Soporte y Logística de Cerrejón perteneciente al Departamento Servicios a la Operación. Está encargado de realizar el mantenimiento a 293 equipos requeridos en las diferentes áreas de la compañía. Atiende equipos que están directamente relacionados con la línea principal de extracción del carbón como los equipos enrolla cables involucrados en el movimiento de las palas eléctricas, las grúas que se usan en los mantenimientos de los equipos mineros, los compresores de aire usados en las áreas de exploración y las platas de iluminación encargadas de alumbrar los tajos durante los turnos nocturnos; las fallas de estos equipos durante la operación impactan directamente la cadena productiva generando demoras y pérdidas económicas para la compañía.

Debido a la criticidad de los equipos mantenidos por el taller de equipo de soporte se hace necesario desarrollar una estrategia de mantenimiento basada en los principios corporativos de Cerrejón, creando el área de confiabilidad dentro del proceso de mantenimiento del taller mediante el cual se espera responder de

manera sostenible las necesidades de la organización en general, realizando cada actividad con un enfoque de ciclo de mejoramiento continuo y aportando al valor institucional de minería responsable.

4. ANÁLISIS DE LA LITERATURA RECOPIADA

4.1. MARCO TEÓRICO

La norma Internacional ISO 14224 establece las bases para la recolección de datos de Confiabilidad y Mantenimiento (RM- Reliability Maintenance) en un formato estándar para las áreas de perforación, producción, refinación y transporte de petróleo y gas natural en oleoductos y gaseoductos, respectivamente. Esta norma internacional presenta los lineamientos para la especificación, recolección y aseguramiento de la calidad de los datos de RM que faciliten la recolección de datos sobre RM, no obstante esta puede ser aplicada a cualquier tipo de industria equiparando las definiciones a las aplicadas en el libro RCM II de John Moubray al igual que la metodología descrita en cada documento.

Confiabilidad.

Capacidad de un activo o componente para realizar una función requerida bajo condiciones dadas para un intervalo de tiempo dado.

Disponibilidad.

Capacidad de un activo o componente para estar en un estado (UP-(disponible)) para realizar una función requerida bajo condiciones dadas en un periodo de tiempo determinado, asumiendo que los recursos externos necesarios se han proporcionado.

Falla.

Estado de un aparato que se caracteriza por su incapacidad para cumplir una función requerida, excepto cuando esto ocurra durante el mantenimiento preventivo u otras acciones previstas, o debido a la falta de recursos externos.

Falla crítica.

Falla de una unidad de equipo que origina un cese inmediato de la capacidad de realizar su función.

Evaluación de criticidad.

Clasificación de los activos en orden de importancia, asignando un valor numérico a la probabilidad de falla de un activo (cuanto mayor es la probabilidad, mayor es el valor), y otro valor para la gravedad de las consecuencias de la falla (cuanto más seria es la falla, más alto es el valor). Los dos números se multiplican para dar un coeficiente que indica la criticidad del activo.

Taxonomía.

Es la clasificación sistemática de ítems en grupos genéricos basada en factores comunes de los elementos (localización, utilización, subdivisiones de equipos, etc.).

Malos actores.

Son aquellos que por su criticidad y repetitividad en el tiempo producen pérdidas en la producción y aumentos en los costos de mantenimiento, esta clasificación permite identificar los sistemas a los cuales se les aplicara el proceso de RCM.

RCA.

Análisis de Causa Raíz, es una metodología que permite identificar las causas físicas, humanas y latentes de cualquier tipo de falla que ocurren una o varias

veces, permitiendo adoptar acciones correctiva directamente sobre la causa de la falla.

RCM.

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, es un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para segura que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual.

Dentro de este proceso RCM plantea 7 preguntas sobre el activo o sistema que se desea analizar:

- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
- ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- ¿En qué sentido es importante cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra un tarea proactiva adecuada?

4.2. MARCO CONCEPTUAL

- RCM II - Mantenimiento Centrado en Confiabilidad - John Moubray.

Este libro muestra como el mantenimiento se ha ido adaptando a las etapas del desarrollo, cómo la industrialización de las empresas ha empujado hacia un avance y una innovación de metodologías de mantenimiento que permiten una disponibilidad y una confiabilidad de los equipos cercana al 100 como lo exigen en este caso la industria de la aviación en la cual un falla menor podría generar perdida de un gran número de vidas. El libro describe de forma detallada los pasos

para aplicar RCM y de esta forma realizar una adecuada gestión de los activos, reduciendo así las paradas de planta al igual que los costos de mantenimiento asociados a estas.

4.3. MARCO LEGAL

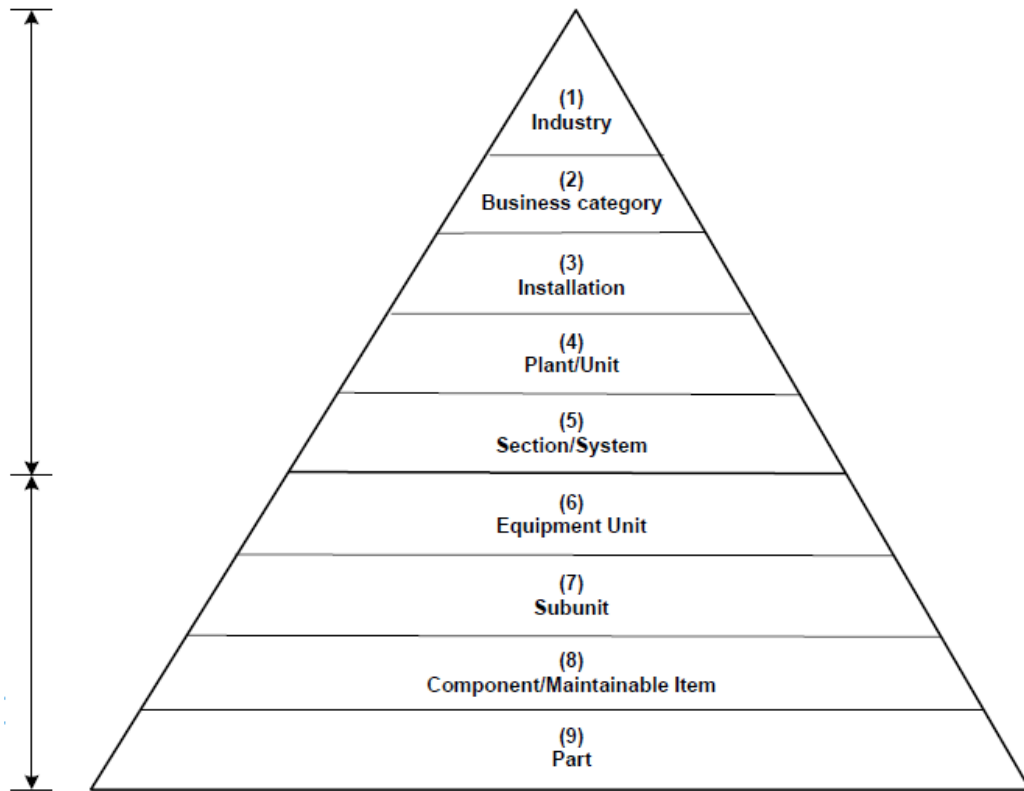
- ISO 14224 Petroleum, petrochemical and natural gas industries -- Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. Define las directrices para la recopilación de información con el fin de aplicar la metodología RCM.
- IEC 60300-3-11 Dependability management -- Part 3-11: Application guide - Reliability centred maintenance - Establece las lineamientos para el desarrollo y aplicación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).
- SAE JA1012 (A Guide to the Reliability Centered Maintenance RCM Standard) Guía para la aplicación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en la gestión de los activos físicos.
- IEC 60812 Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA). Define el procedimiento para realizar el Análisis de efectos y modos de falla (AMFE) y el análisis de criticidad (FMECA).

5. CLASIFICACION DE EQUIPOS

5.1. TAXONOMIA DE EQUIPOS

Como primera medida del plan se realiza la recopilación de la información técnica de los equipos del taller (información del fabricante, función, listados de sistemas y subsistemas, manuales de operación y mantenimiento), estos datos son la base para el desarrollo del modelo de taxonomía basados en la norma ISO 14224 (ver figura 2) y obtener la clasificación y jerarquización de los equipos de la superintendencia de equipo de soporte.

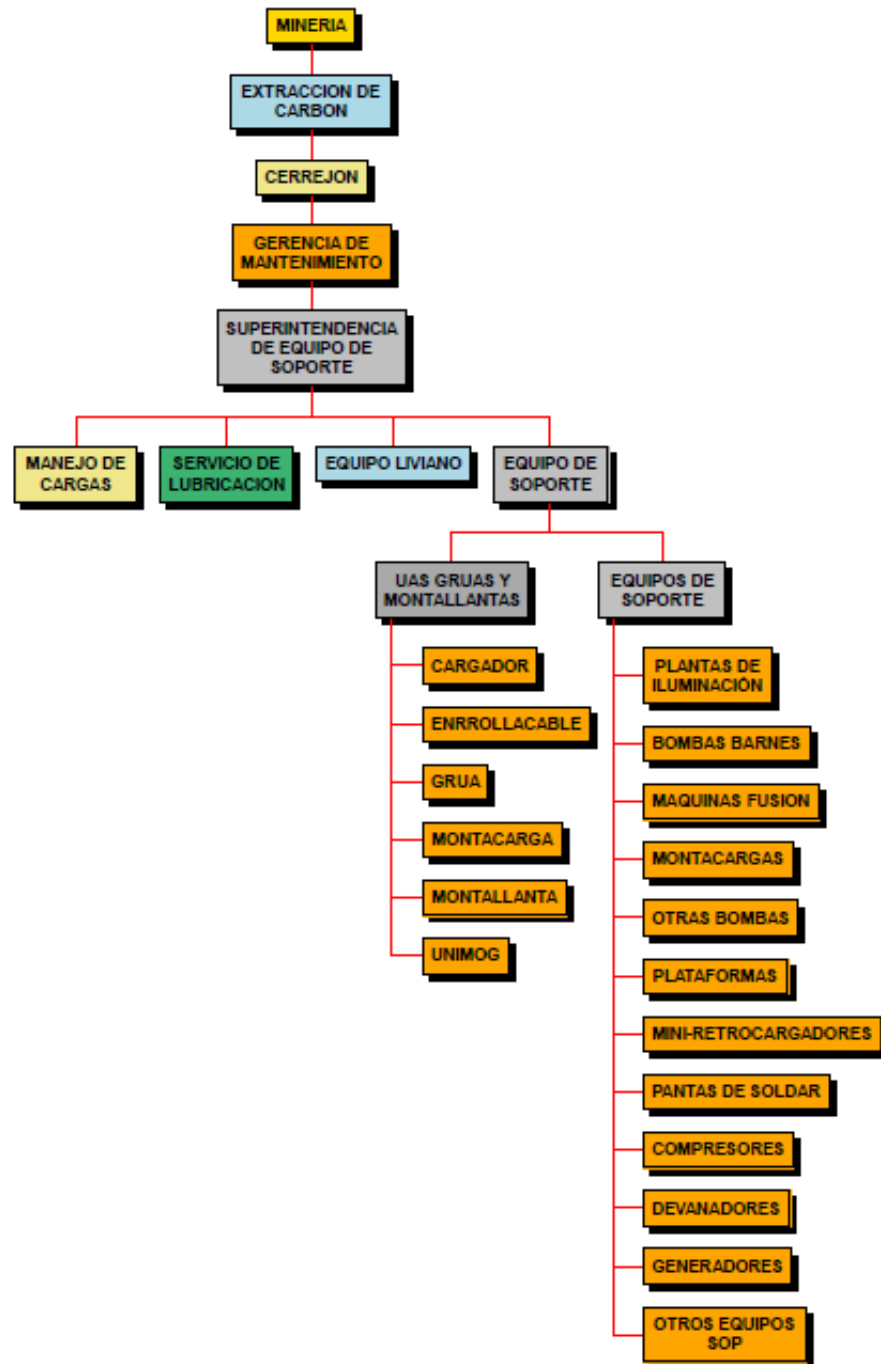
Figura 2: Modelo de definición de taxonomía



Fuente: ISO 14224

Se plantea realizar un levantamiento general físico de la totalidad de la flota siguiendo las directrices de la norma ISO 14224 y continuando con el proceso de taxonomía (ver figura 3) hasta obtener el resumen jerárquico de los activos al nivel de modelos.

Figura 3: Taxonomía taller equipo de soporte

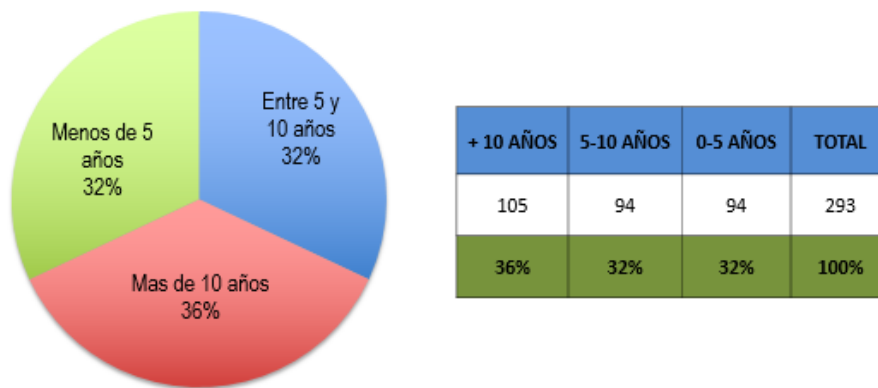


Fuente: Autor

Una vez realizado el taller de taxonomía de equipos, se obtiene la jerarquización de los activos del taller clasificados en dos grandes grupos definidos como UAS – Unidades autónomas de servicio, y subdivididos en flotas según la función de los

activos. Esta clasificación permite identificar que el taller de equipo de soporte mantiene equipos de 36 fabricantes diferentes, divididos en 92 referencias de equipos. Adicionalmente con el taller de taxonomía se demuestra que el 36% de los activos del taller cuentan con más de 10 años de operación (ver figura 4), este hallazgo da paso a una evaluación costo efectiva para definir si es rentable continuar manteniendo estos activos en operación o por el contrario es más rentable realizar su respectivo remplazo. Este análisis no es considerado dentro de los objetivos de este trabajo.

Figura 4: Análisis de edad de equipos



Fuente: Autor

Del ejercicio de taxonomía realizado (ver anexo A) se identifica que el taller de equipo de soporte está encargado del mantenimiento de una flota de activos muy diversa, clasificadas operativamente en 2 grandes grupos, por una parte los equipos mantenidos por la UAS de grúas y Montallantas (ver cuadro 1) y la UAS de equipo de soporte (ver cuadro 2); esto representa un reto en la gestión de repuestos por parte del área de planeación y la gestión del conocimiento de cada referencia de equipo por parte del personal técnico, haciendo necesario la aplicación de un taller de criticidad para definir los equipos prioritarios con el fin de dar un orden técnico y fundamentado a los esfuerzos y recursos del taller en pro de cumplir con los acuerdos de servicio pactados con los diferentes clientes dentro de la operación.

Cuadro 1: Flota grúas y monta llantas

TIPO EQUIPO	EQUIPO	MARCA / MODELO	TOTAL
CARGADOR	012-0030	CARGADOR CAT 980H	1
	012-0031	CARGADOR CAT 980H	1
ENRROLLACABLE	012-0029	ENRROLLACABLE CAT 980H	1
	012-0033	ENRROLLACABLE CAT 980H	1
	012-0034	ENRROLLACABLE CAT 980H	1
	012-0037	ENRROLLACABLE CAT 980H	1
	012-0039	ENRROLLACABLE CAT 980H	1
GRUA	072-0032	GRÚA LIEBHERR LTM1150	1
	072-0033	GRÚA GROVE GMK 5100	1
	072-0034	GRUA GROVE GMK 2040	1
	072-0039	GRUA GROVE GMK 2040	1
	072-0040	GRUA GROVE GMK 2040	1
	072-0041	GRUA GROVE GMK 2040	1
	072-0042	GRUA 7 TON SHUTTLE LIFT	1
	072-0044	GRUA LIEBHERR LTM1100	1
	072-0046	GRUA LIEBHERR LTM1100	1
	072-0051	GRUA LIEBHERR LTM1040-2.1	1
	072-0052	GRUA LIEBHERR LTM1040-2.1	1
MONTACARGA	070-0146	MANEJADOR TELESCOPICO MANITOU / MHT-X 225L	1
	070-0142	MONTAC. TELESCOPICO MANITOU / MHT-X 10180	1
MONTALLANTA	072-0131	MONTALL. CAT 980F / IMT 2557B	1
	072-0134	MONTALL. HYSTER H-360XL / IMT 2557B	1
	072-0142	MONTALL. HYSTER H-360HD / IMT 2557	1
	072-0146	MONTALL. CAT 980C / IMT 2557B	1
	072-0154	MONTALL. WIGGINS W300 / IMT3565	1
	072-0159	MONTALL HYSTER H550	1
	072-0165	MONTALL CAT 988H	1
	072-0166	MONTALL CAT 988H	1
UNIMOG	072-0035	UNIMOG 500 CON GRUA HIAB 144E	1
	072-0036	UNIMOG 500 CON GRUA HIAB 144E	1
	072-0047	UNIMOG 400 CON GRUA HIAB 144E	1
	072-0048	UNIMOG 400 CON GRUA HIAB 144E	1
	072-0057	UNIMOG 400 CON GRUA HIAB 144E	1
TOTAL			33

Fuente: Autor

La UAS de grúas y Montallantas está conformada por 33 equipos, en este grupo se clasifican los equipos más grandes y complejos atendidos por el taller.

Cuadro 2: Flota equipo de soporte

TIPO DE EQUIPO	TOTAL
PLANTAS DE LUZ	118
BOMBAS BARNES	14
MAQUINAS FUSION	6
MONTACARGAS	46
OTRAS BOMBAS	3
PLATAFORMAS	4
MINI-RETROCARGADORES	8
PLANTAS DE SOLDAR	20
COMPRESORES	17
DEVANADORES	2
GENERADORES	15
OTROS EQUIPOS	7
TOTAL	260

Fuente: Autor

La UAS de equipo de soporte se compone de 260 equipos, equipos más pequeños y sencillos pero con funciones relevantes dentro de las operación de la mina.

5.2. CRITICIDAD DE EQUIPOS

Se plantea el modelo de definición de Criticidad para los activos de la Superintendencia de equipo soporte y logística, a partir de la estructura funcional, con el objetivo de obtener la distribución de la totalidad de los equipos de acuerdo a unos criterios pre-establecidos.

Para determinar la criticidad de un equipo se hace uso de la matriz de criticidad que contempla las consecuencias de falla o el evento y las relaciona con una probabilidad de ocurrencia. En un eje se representa la frecuencia de falla y en el otro los impactos o consecuencias que se podrían presentar en caso de que el equipo entre en estado de falla. (ver cuadro 3).

Los eventos que se evaluaron dentro del taller de criticidad fueron aquellos en lo que se presentó una falla del equipo durante la operación y fueron clasificados

durante la evaluación como tipo de mantenimiento CO (correctivo) dentro del sistema de información Ellipse.

Cuadro 3: Modelo matriz de Criticidad

		Frecuencia de Ocurrencia				
		1	2	3	4	5
Consecuencia	5	A	A	A	A	A
	4	M	M	M	A	A
	3	B	M	M	M	M
	2	B	B	B	M	M
	1	B	B	B	B	B

Fuente: Autor

Una vez aplicada la metodología se definen 3 grados de riesgo (ver cuadro 4) y sus rangos dentro de la matriz con el fin de clasificar los eventos evaluados.

Cuadro 4: Niveles de criticidad

A	Riesgo alto
M	Riesgo medio
B	Riesgo bajo

Fuente: Autor

5.2.1. Consecuencia

Como parte fundamental en la aplicación de la metodología se deben definir los aspectos y criterios para realizar la evaluación de las consecuencias (ver cuadro5). Para el desarrollo del taller de criticidad del taller de equipo de soporte se definen 5 aspectos considerados como los de mayor relevancia dentro del contexto operacional de la mina y con los cuales realizaremos la clasificación de los activos.

Cuadro 5: Criterios de evaluación de criticidad

ASPECTO	CRITERIO
SEGURIDAD INDUSTRIAL	<ul style="list-style-type: none"> · Dispositivos Críticos para la seguridad HSE · Requerimientos regulatorios de Seguridad · Severidad del peligro al personal
MEDIO AMBIENTE	<ul style="list-style-type: none"> · Derrames (Hidrocarburos y/o sustancias químicas) · Descargas no autorizadas (vertimientos)
COSTOS DE REPARACION	<ul style="list-style-type: none"> · Costos de reparación del equipo · Costos de Mantenimiento
IMPACTO EN MANTENIMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> · Disponibilidad de repuestos · Disponibilidad del Equipo · Tiempo de reparación MTTR · Tiempo medio entre fallas MTBF
IMPACTO EN LA OPERACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> · Impacto directo sobre el proceso principal · Demora en equipos mineros · Impacto en sub-procesos

Fuente: Autor

5.2.2. Frecuencia de ocurrencia

La frecuencia de ocurrencia es otro factor necesario para la aplicación de la metodología. Para el desarrollo del taller de criticidad se define la frecuencia mediante la evaluación del número de eventos registrados por año (ver cuadro 6). Se utiliza el tiempo medio entre fallas MTBF para calcular la frecuencia con la cual ocurre el evento, si no se tienen datos registrados disponibles, este dato se puede deducir en base a la experiencia del taller.

Cuadro 6: Criterios de evaluación frecuencia de ocurrencia

CRITERIO	Menos de 1 evento cada 2 meses	Menos de 1 evento al mes	Menos de 2 eventos al mes	Menos de 4 eventos	Más de 4 eventos al mes
NIVEL	1	2	3	4	5

Fuente: Autor

Para efectos del desarrollo del ejercicio de criticidad se descargaron las órdenes de trabajos correctivas de todos los equipos desde el 1 de Marzo de 2015 al 1 de Marzo del 2016.

5.2.3. Matriz de criticidad

Una vez definidos los niveles de criticidad, consecuencias y frecuencias se establece la matriz de criticidad (ver cuadro 7) para la evaluación de los equipos del taller de equipo de soporte.

Cuadro 7: Matriz de Criticidad

Criterio de Severidad / Consecuencia						Frecuencia de Ocurrencia					
Severidad		Seguridad Industrial	Medio Ambiente (Galones)	Costo de la reparación (Miles de USD)	Tiempo de reparación (días)	Impacto en la operación	< 1 evento bimensual	< de 1 evento al mes	< de 2 eventos al mes	< de 4 eventos al mes	> 4 eventos al mes
							1	2	3	4	5
Grave	5	1 o más Fatalidades	>100	>100	> 30	Impacto directo sobre el proceso principal	A	A	A	A	A
Alto	4	Lesiones Severas (amputaciones, quemaduras o fracturas)	Entre 60 y 100	Entre 50 - 100	Entre 20 y 30	Impacto indirecto sobre el proceso principal	M	M	M	A	A
Importante	3	Tiempo Perdido Trabajo Restringido	Entre 20 y 60	Entre 30 - 50	Entre 10 y 20	Impacto en procesos secundarios	B	M	M	M	M
Modera do	2	Primeros Auxilios	Entre 1 y 20	Entre 10 - 30	Entre 5 y 10	Impacto indirecto en procesos secundarios	B	B	B	M	M
Leve	1	Ninguna lesión	Ninguno	Entre 0 - 10	Entre 1 y 5	No impacta la operación	B	B	B	B	M

Fuente: Autor

5.2.4. Cálculo de la criticidad de equipos

Para calcular la criticidad del equipo multiplicamos el valor de la consecuencia por el valor de la frecuencia.

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia}$$

Una vez aplicada la formula se obtendrá un valor entre 5 y 125 unidades, el cual toma significado al ubicar su posición dentro de la matriz de criticidad (ver cuadro 8) obteniendo de esta forma la clasificación del equipo de acuerdo su nivel de criticidad.

Cuadro 8: Clasificación de criticidad de equipos

Frecuencia	5	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
	4	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100
	3	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75
	2	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
	1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Consecuencia																						

- Criticidad alta (A) Color rojo $70 \leq \text{Criticidad} \leq 125$
- Criticidad media (B) Color amarillo $31 \leq \text{Criticidad} \leq 69$
- Criticidad baja (C) Color verde $5 \leq \text{Criticidad} \leq 30$

Fuente: Autor

Como resultado del taller de criticidad (ver cuadro 9) se evidencia que solo el 8% de los activos atendidos por el taller son de alta criticidad, el 33% de los activos de criticidad media y el 59% de activos de baja criticidad.

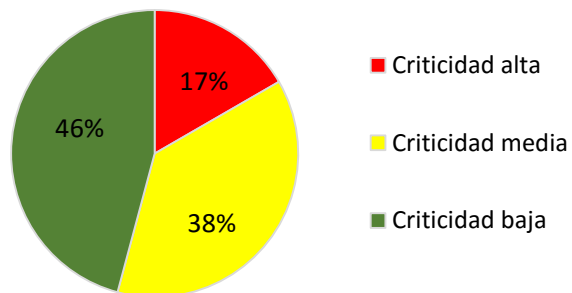
Cuadro 9: Distribución de criticidad por equipos

CRITICIDAD	EQUIPOS	%
Alta	26	8%
Media	98	33%
Baja	169	59%
TOTAL	293	

Fuente: Autor

Se realiza la clasificación de criticidad de los activos por flota de trabajo (ver figura 5) y se encuentra que solo el 17% de las flotas son clasificados como de alta criticidad, con estos resultados se realiza la clasificación de criticidad por flotas (ver cuadro 10) obteniendo un visión detallada de los activos del taller de equipo de soporte.

Figura 5: Distribución porcentual de criticidad por flotas



Fuente: Autor

Cuadro 10: Resumen de criticidad por flota y equipos

CRITICIDAD	FLOTA	CANTIDAD
ALTA	Grúas	11
ALTA	Enrollacables	5
ALTA	Cargadores	2
ALTA	Manejadores de llantas	8
MEDIA	Montacargas	46
MEDIA	Bombas Barnes	14
MEDIA	Unimog	5
MEDIA	Maquinas fusión	6
MEDIA	Devanadoras	2
MEDIA	Montacargas manitou	2
MEDIA	Minicargadores	8
MEDIA	Generadores	15
BAJA	Plantas de luz	118
BAJA	Plataformas	4
BAJA	Plantas de soldar	20
BAJA	Compresores	17
BAJA	Otras bombas	3
BAJA	Otros equipos	7

Fuente: Autor

Con los resultados obtenidos en el taller de criticidad se realiza la matriz de planeación táctica en esta se consignan todas las acciones preventivas y predictivas a aplicar a cada uno de los equipos de las 4 flotas clasificadas como de alta criticidad, Grúas (ver cuadro 11), enrollacables y cargadores (ver cuadro 12), manejadores de llantas (ver cuadro 13).

Cuadro 11: Matriz de planeación táctica de grúas

SISTEMAS	SUB-SISTEMAS	ING MTT O	MTT O PRE D.	PM/ POS T PM	MTT O OPE R.	A FALL A
SISTEMA DE POTENCIA DEL CAMION	Motor básico	X	X			
	Sistema de combustible	X		X		
	Sistema de admisión y escape	X		X		
	Sistema de lubricación	X		X	X	
	Sistema de enfriamiento	X		X	X	X
	Sistema electrónico del motor	X		X		X
	Transmisión	X	X	X		
	Caja de transferencia	X	X	X		
	Diferenciales	X	X	X		
	Mando final	X	X	X		
SISTEMA DE POTENCIA DE LA SUPER ESTRUCTURA	Motor básico	X	X	X		
	Sistema de combustible	X		X		
	Sistema de admisión y escape	X		X		
	Sistema de lubricación	X		X		
	Sistema de enfriamiento	X				X
SISTEMA ELECTRO HIDRAULICO	Sistema electrohidráulico de dirección	X	X	X		
	Sistema electrohidráulico de suspensión			X		
	Sistema electrohidráulico de giro			X		
	Sistema electrohidráulico de boom	X		X		
	Sistema electrohidráulico de cabestrante			X		
	Sistema electrohidráulico de contrapesas			X		
	Sistema electrohidráulico de estabilizadores	X		X		
	Sistema electrohidráulico de inclinación de cabina			X		
	Sistema de enfriamiento del hidráulico del camión			X		
SISTEMA DE ACCESORIOS	Sistema de enfriamiento del hidráulico			X		
	Cabina			X		
	Sistema de aire acondicionado			X		X
	Sistema supresor de incendio			X		
	Sistema de comunicaciones			X		X
	Sistema anticolidión			X		X
	Escaleras, pasamanos y plataforma			X		X
SISTEMA ELECTRICO	Sistema de wiggins			X		X
	Sistema centralizado de grasa	X		X		
	Sistema de arranque			X		X
SISTEMA ESTRUCTURAL	Sistema de carga			X		X
	Sistema de luces			X		X
	Dirección	X		X		
	Suspensiones	X		X		
	Chasis	X	X	X		
	Estabilizadores y extensiones	X		X		
	Boom	X	X	X		
SISTEMA NEUMATICO Y DE FRENOS	Cabrestante	X		X		
	Contrapesas		X	X		
	Corona de giro		X	X		
	Freno de servicio	X		X		
SISTEMA NEUMATICO Y DE FRENOS	Freno de parqueo	X		X		
	Neumático de traba			X		
	Freno de motor	X		X		

Fuente: Autor

Cuadro 12: Matriz de planeación táctica de enrollables y cargadores

SISTEMAS	SUB-SISTEMAS	ING MTT O	MTT O PRE D.	PM / POS T PM	MTT O OPE R.	A FALL A
SISTEMA DE POTENCIA	Motor básico	X	X			
	Sistema de combustible	X		X		
	Sistema de admisión y escape	X		X		
	Sistema de lubricación	X		X	X	
	Sistema de enfriamiento	X		X	X	X
	Sistema electrónico del motor	X		X		X
	Convertidor	X	X	X		
	Transmisión	X	X	X	X	
	Diferenciales	X	X	X		
Mando final	X	X	X			
SISTEMA DE LLANTAS	Sistema de llantas			X	X	
SISTEMA ELECTRO HIDRAULICO	Sistema electrohidráulico de dirección	X	X	X		
	Sistema electrohidráulico de levante	X		X		
	Sistema electrohidráulico de inclinación	X		X		
SISTEMA DE ACCESORIOS	Cabina			X		
	Sistema de aire acondicionado			X		X
	Sistema supresor de incendio			X		
	Sistema de comunicaciones			X		X
	Sistema anticolisión			X		X
	Escaleras, pasamanos y plataforma			X		
	Sistema de wiggins			X		X
Sistema centralizado de grasa	X		X			
SISTEMA ELECTRICO	Sistema de arranque			X		X
	Sistema de carga			X		X
	Sistema de luces			X		X
SISTEMA ESTRUCTURAL	Dirección	X		X		
	Articulación central			X		
	Chasis			X		X
SISTEMA NEUMATICO Y DE FRENOS	Freno de servicio	X		X		
	Freno de parqueo	X		X		
	Neumático			X		
	Freno de motor	X		X		
ADITAMENTO TAMBOR	Sistema estructural		X	X		
	Sistema hidráulico		X	X		
	Sistema eléctrico			X		
	Sistema piñonera			X		X

Fuente: Autor

Cuadro 13: Matriz de planeación táctica de manejadores de llantas

SISTEMAS	SUB-SISTEMAS	ING MTT O	MTT O PRE D.	PM / POS T PM	MTT O OPE R.	A FALL A
SISTEMA DE POTENCIA	Motor básico	X	X			
	Sistema de combustible	X		X		
	Sistema de admisión y escape	X		X		
	Sistema de lubricación	X		X	X	
	Sistema de enfriamiento	X		X	X	X
	Sistema electrónico del motor	X		X		X
	Convertidor	X		X		
	Transmisión	X	X	X	X	
	Diferenciales	X	X	X		
	Mando final	X	X	X		
SISTEMA DE LLANTAS	Sistema de llantas			X	X	
SISTEMA ELECTROHIDRAULICO	Sistema electrohidráulico de dirección	X	X	X		
	Sistema electrohidráulico de levante			X		
	Sistema electrohidráulico de inclinación			X		
SISTEMA DE ACCESORIOS	Cabina			X		
	Sistema de aire acondicionado			X		X
	Sistema supresor de incendio			X		
	Sistema de comunicaciones			X		X
	Sistema anticolidión			X		X
	Escaleras, pasamanos y plataforma			X		X
	Sistema de wiggins			X		X
	Sistema centralizado de grasa	X		X		
SISTEMA ELECTRICO	Sistema de arranque			X		X
	Sistema de carga			X		X
	Sistema de luces			X		X
SISTEMA ESTRUCTURAL	Dirección	X		X		
	Articulación central	X		X		
	Chasis			X		X
SISTEMA NEUMATICO Y DE FRENOS	Freno de servicio	X		X		
	Freno de parqueo	X		X		
	Neumático	X		X		
	Freno de motor	X		X		
ADITAMENTO PINZA	Sistema estructural		X	X		
	Sistema hidráulico	X	X	X		
	Sistema eléctrico			X		
	Sistema piñonera			X		X

Fuente: Autor

Teniendo en cuenta el contexto operacional, las bombas barnes (ver cuadro 14) y los maquinas fusión (ver cuadro 15) se clasifican de alta prioridad, esto debido a la importancia de su función en el drenaje de las aguas de los tajos, durante los meses de invierno (abril, mayo, septiembre y octubre).

Cuadro 14: Matriz de planeación táctica de bombas barnes

SISTEMA	SUBSISTEMA/COMPONENTE	ING MTTO	MTTO PRED.	PM / POST PM	MTTO OPER.	A FALLA
POTENCIA	Motor básico	X	X	X		
	Sistema de combustible	X		X		
	Sistema de admisión y escape	X		X		
	Sistema de lubricación	X		X	X	
	Sistema de enfriamiento	X		X		X
	Acople			X	X	X
BOMBA PRINCIPAL	Voluta					X
	Impeler					X
	Estructura de la bomba					X
	Cheque				X	X
	Eje					X
	Rodamientos		X			X
ELECTRICO	Batería				X	X
	Alternador					X
	Motor de arranque					X
	Tablero de indicadores			X		
	Sistema de luces				X	X
ESTRUCTURAL	Chasis					X
	Tráiler del equipo					X
	Tiro de remolque				X	X
	Base de la bomba					X
LLANTAS	Llantas			X	X	

Fuente: Autor

Cuadro 15: Matriz de planeación táctica de máquinas fusión

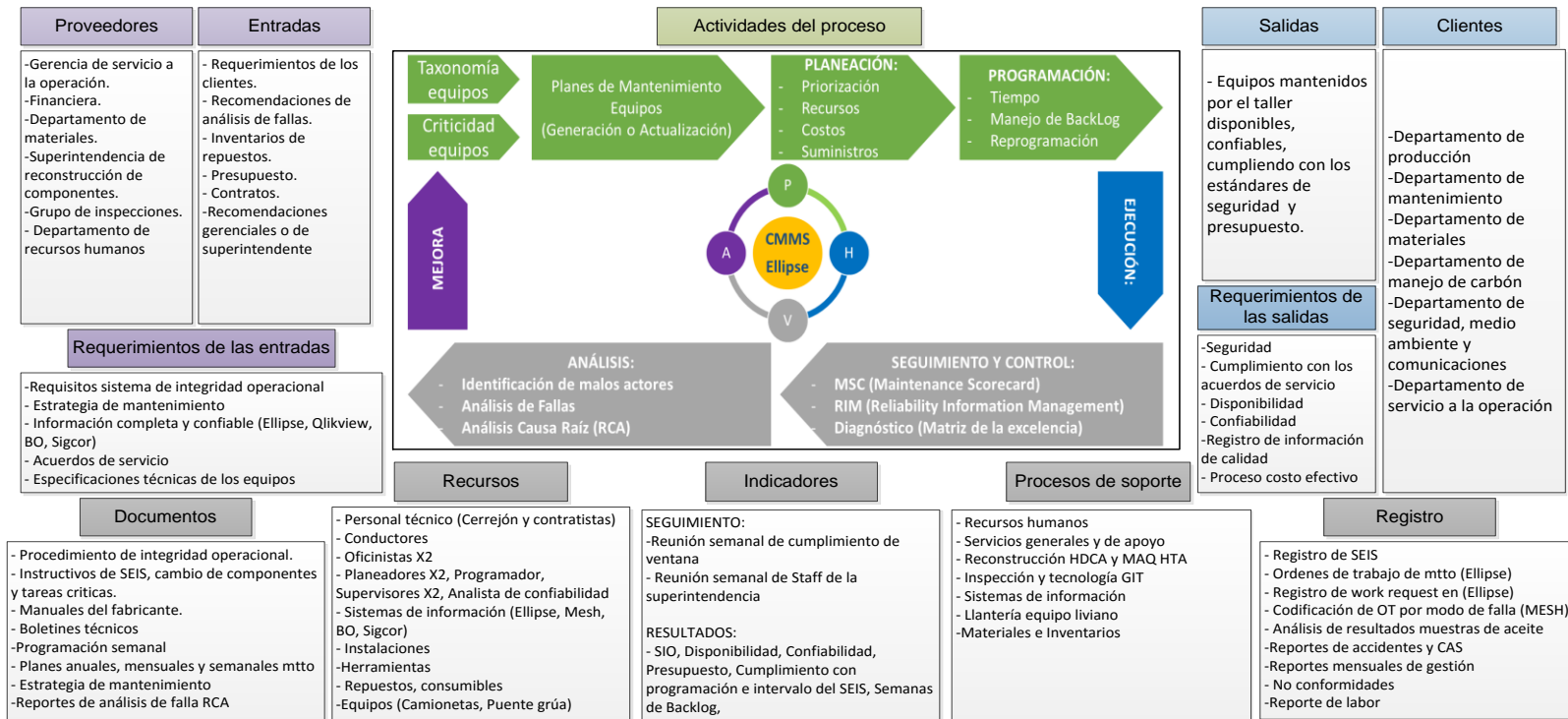
SISTEMA	SUBSISTEMA/COMPONENTE	ING MTTO	MTTO PRED	PM / POST PM	MTTO OPER	A FALLA
POTENCIA	Motor básico		X			
	Sistema de combustible			X		
	Sistema de admisión y escape			X		
	Sistema de lubricación			X	X	
	Sistema de enfriamiento			X	X	X
	Motores de propulsión			X		X
	Acople			X		X
ESTRUCTURAL Y DE CORTE	Chasis con orugas					X
	Elevador de tubería			X		X
	Plancha			X		X
	Tren de rodaje			X		X
ELECTRICO	Batería					X
	Tarjeta electrónica					X
	Alternador					X
	Motor de arranque					X
	Calentador					X
	Generador					X
HIDRAULICO	Bombas					X
	Motores hidráulico de tracción					X
	Cilindros de presión de fusión					X
	Válvulas de control			X		X

Fuente: Autor

5.2.5. Identificación de entradas y salidas del proceso

Se realiza el levantamiento de la ficha técnica del proceso (ver figura 6) y se identifican los 6 clientes del taller de equipo de soporte, destacando el departamento de producción como el cliente más importante y propietario de las flotas más críticas.

Figura 6: Ficha técnica de proceso de mantenimiento taller equipo de soporte



Fuente: Autor

Como entradas al proceso del taller se identifican los requerimientos de los clientes pactados en los acuerdos de servicio, recomendaciones de los análisis de fallas realizados por el departamento de mantenimiento, presupuesto del área aprobado por la gerencia, contratos y recomendaciones de la gerencia.

Como salidas del proceso se define el cumplimiento de los acuerdos de servicio con los clientes realizando un trabajo de manera segura y costo efectivo.

6. PLANTEAMIENTO DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO DEL TALLER DE EQUIPO DE SOPORTE

Con la información recopilada de los talleres de criticidad de flotas y taxonomía de equipos se define como estrategia de mantenimiento para el taller de equipo de soporte el uso de tres tipos de mantenimiento e indicadores para evaluar su impacto dentro del proceso de mantenimiento.

Mantenimiento preventivo

Acción de mantenimiento llevada a cabo en intervalos predeterminados o correspondientes a un criterio preestablecido, intentando reducir la probabilidad de falla o la degradación del desempeño o función de un equipo.

Mantenimiento predictivo

Acción de mantenimiento que busca identificar fallas en los equipos a temprana edad con el fin de corregirlas en etapas incipientes, pretendiendo reducir el impacto y mejorar la confiabilidad de los activos.

Mantenimiento correctivo

Usado para corregir fallas o defectos de los equipos, devolviendo las funciones necesarias para retornar el activo a la operación.

6.1. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

6.1.1. Rutina de pm o mantenimiento preventivo:

Parada programada con una frecuencia determinada, acordada previamente con el usuario donde se realizan una serie de actividades de limpieza, lubricación, ajuste e inspección de cada uno de los sistemas del equipo siguiendo un formato diseñado previamente para este fin, este formato cuenta con tareas de inspección, reacondicionamiento y sustitución de componentes, enfocadas a identificar y prevenir fallas potenciales evitando que se materialicen durante la operación del activo.

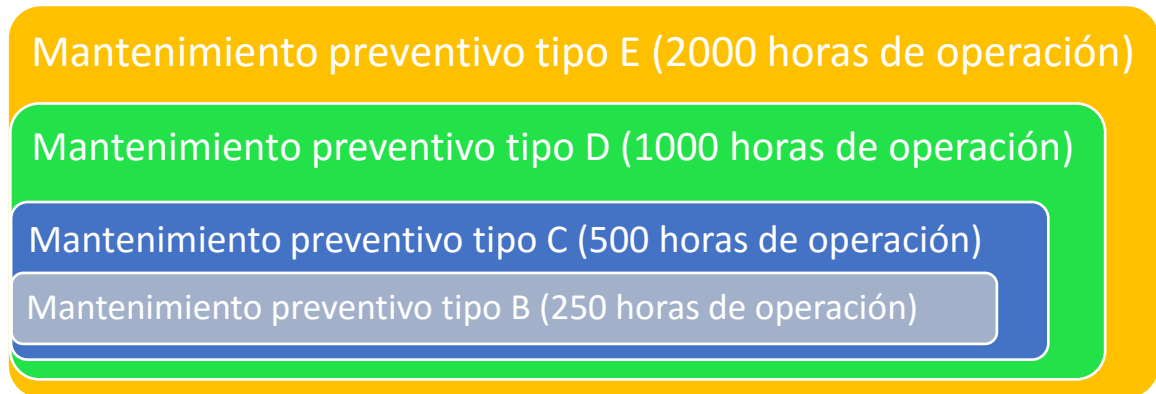
La definición de las Frecuencias de mantenimientos preventivos se realiza teniendo en cuenta el contexto operacional de los activos mantenidos por el taller de equipo soporte, se establecen las horas de operación como la principal estadística para efectos de determinar las frecuencias de los mantenimientos preventivos de cada equipo, adicionalmente se establece que si un equipo se encuentra en operación pero no alcanza las horas mínimas del intervalo para ser intervenido de forma preventiva en un periodo de 4 meses, se debe programar para ejecutar el mantenimiento preventivo.

La frecuencia de intervenciones preventivas definidas para los equipos es de 250 horas de operación y se calcula según el tiempo de operación del motor, esta frecuencia es definida basados en el cuidado del motor de combustión ya que en la mayoría de los equipos es el componente de mayor valor y que requiere la menor frecuencia de mantenimiento preventivo debido a las condiciones ambientales de contaminación durante la operación y las recomendaciones de los diferentes fabricantes de equipos y aceites.

Las tareas preventivas de los demás sistemas se ajustan dentro de esta frecuencia para disminuir las paradas del equipo.

Siguiendo las recomendaciones de los manuales de mantenimiento de los fabricantes y la experiencia del taller se determina agrupar los formatos de mantenimiento en cuatro rutinas determinadas. (ver figura 7).

Figura 7: Rutinas de Mantenimiento Preventivo

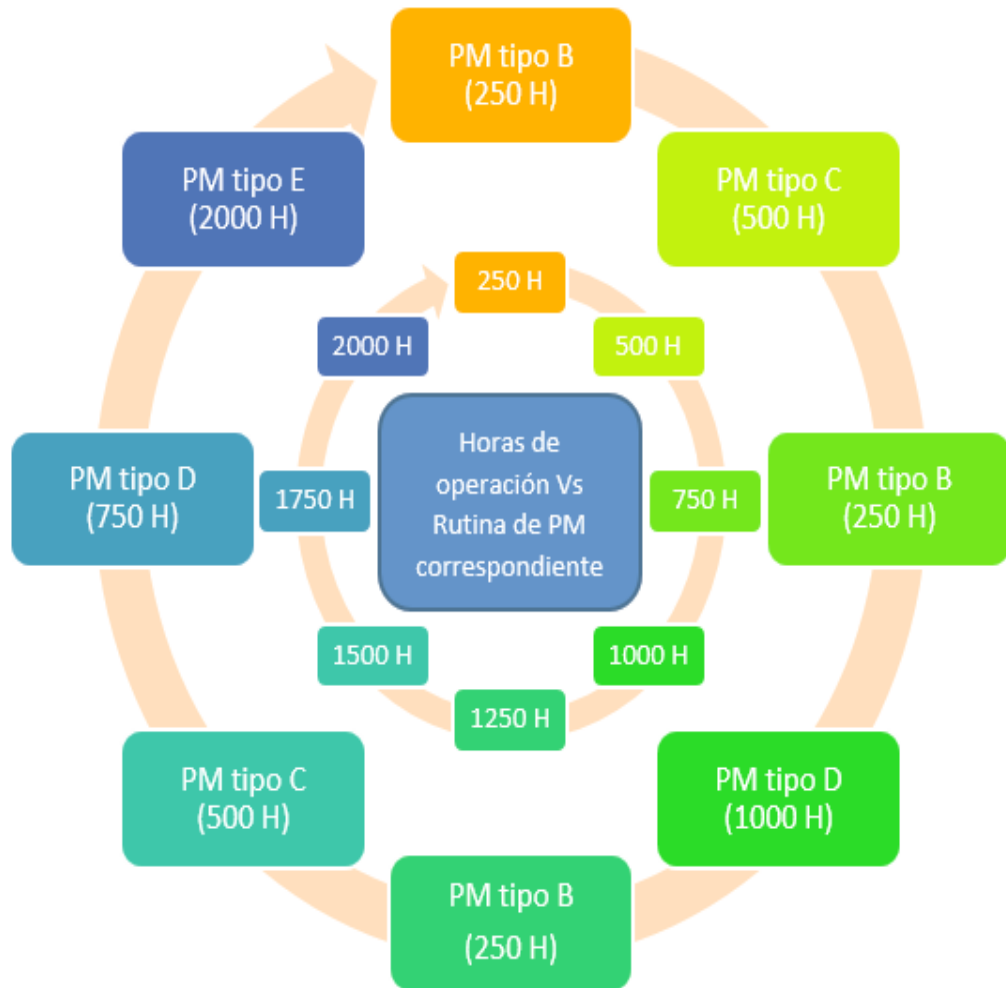


Fuente: Autor

Teniendo en cuenta que las frecuencias de mantenimiento son submúltiplos unas de otras, las tareas que se ejecutan en la rutina tipo B también están incluidas en las rutinas tipo C, D y E. De este modo la rutina de mantenimiento preventivo tipo E tienen incluidas las tareas de las rutinas B, C, D y algunas tareas que sólo se realizan cada 2000 horas de operación del equipo.

En la siguiente figura podemos apreciar la secuencia de mantenimientos preventivos que se deben ejecutar a un equipo que ha cumplido 2000 horas de operación. (ver figura 8).

Figura 8: Ciclo de ejecución de mantenimiento preventivo



Fuente: Autor

Este ciclo de mantenimiento preventivo se repite a lo largo de la vida útil de los activos, mezclando la ejecución de los mantenimientos preventivos (PM) con tareas de correctivos planeados y repotenciación de sistemas con el fin de garantizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

Una vez definidas las frecuencias y el ciclo de ejecución de los mantenimientos preventivos, es necesario asignar las rutinas específicas (ver cuadro 16) que se van a ejecutar para cada referencia de equipos.

Cuadro 16: Resumen de rutinas de PM por referencia de equipo

	REF. EQUIPOS	RUTINAS DE PM			
		B	C	D	E
UAS GRÚAS	GRÚAS LTM 1150	X	X	X	X
	GRÚAS LTM 1100	X	X	X	X
	GRÚAS GMK 5100	X	X	X	X
	GRÚAS GMK 2040	X	X	X	X
	GRÚAS LTM 1040	X	X	X	X
	CARGADORES 980 H	X	X	X	X
	CARGADORES 988 H	X	X	X	X
	CARGADORES 980C	X	X	X	X
	MONTACARGAS HYSTER 360	X	X	X	X
	MONTACARGAS HYSTER H550	X	X	X	X
	MONTACARGAS W300	X	X	X	X
	UNIMOG	X	X	X	X
	MANITOU	X	X	X	X
	UAS E.SOPORTE	MONTACARGAS DE 36 A 40 TON	X	X	X
MONTACARGAS LIFTKING		X	N/A	X	X
MONTACARGAS DE 10 - 20 TON		X	X	N/A	X
MONTACARGAS DE 2.5 A 5 TON		X	X	N/A	X
MONTACARGAS ELÉCTRICOS		X	N/A	X	N/A
MONTACARGAS TELESCOPICO		X	N/A	X	N/A
CARRETIILLAS ELÉCTRICAS		X	N/A	X	N/A
CARRY ALL		X	N/A	N/A	N/A
RETROCARGADOR 466D		X	X	X	X
CARGADOR VOLVO MC90B		X	N/A	X	X
CARGADOR PETTIBONE		X	X	X	N/A
CARGADOR CAT 242 B		X	X	X	X
PLATAFORMA JLG 400S		X	N/A	X	N/A
PLATAFORMA JLG 1250 APJ		X	N/A	X	N/A
PLATAFORMA JLG 600A		X	X	X	X
PLANTAS DE ILUMINACIÓN	X	X	X	X	

Fuente: Autor

Como podemos apreciar en el cuadro anterior (ver cuadro 16), no todos los equipos cuentan con las cuatro rutinas de mantenimiento preventivo, según su grado de complejidad, contexto operacional y recomendaciones del fabricante; algunos equipos solo tienen dos o tres formatos de mantenimiento.

El taller de equipo de soporte posee 98 formatos de mantenimiento preventivo. Estos formatos están alineados con el sistema de gestión de calidad de la compañía y almacenados en la aplicación de documentación controlada Onbase.

6.1.2. Trabajo programado

Parada programada acordada previamente con el usuario que busca corregir una falla potencial de equipo detectada con anterioridad. Se define clasificar los trabajos programados según el siguiente cuadro de prioridades. (ver cuadro 17).

Cuadro 17: Clasificación de tareas por prioridad

Prioridad	Descripción
P0	Tarea que debe ser ejecutada de inmediato
P1	Tarea que debe ser ejecutada en la ventana de programación en curso
P2	Tarea que debe ser ejecutada en las siguientes 2 ventanas de programación
P3	Tarea que debe ser ejecutada en la próxima parada de PM
P4	Tarea que puede ser ejecutada por oportunidad en cualquier parada del equipo

Fuente: Autor

La clasificación de los trabajos programados es muy importante y marca los ritmos de gestión de las áreas de planeación y programación, encargados de la consecución de los recursos necesarios para la ejecución de las tareas. El sistema Ellipse permite al área de ejecución registrar la prioridad de las tareas creadas y permite a los planeadores realizar un filtro de todas las tareas para garantizar una gestión de recursos metodológica y cumpliendo un orden lógico de prioridades.

El área de planeación debe asegurar las condiciones necesarias para responder las siguientes preguntas durante el proceso:

¿**Qué?**: El propósito de la ejecución de la actividad (Justificación).

¿**Con qué?**: Los recursos no humanos requeridos (logística).

¿**Quién?**: Los perfiles y cantidades de recursos humanos requeridos (Técnicos).

¿**Cómo?**: Los pasos requeridos para ejecutar la actividad (Métodos).

¿**Dónde?**: La ubicación de la actividad a ejecutar (Plano de ejecución).

¿**Cuánto Costará?**: Costos totales de la ejecución de la actividad (Presupuesto).

Una vez se gestionan todos los recursos requeridos para la ejecución, la tarea queda a disposición del área de programación donde se responde a la pregunta:

¿**Cuándo?**: Fecha y hora para ejecutar la tarea (Tiempo).

Una vez se define el “Cuándo” se incluye en la ventana de programación y se comunica al usuario del equipo.

6.1.3. Ventana de programación

Para el proceso de programación de trabajos planeados y mantenimientos preventivos del taller de quipo de soporte se define trabajar en ventanas de programación que constan de 7 días que van de miércoles a martes. (ver cuadro 18).

Cuadro 18: Ventanas de programación Julio 2016

JULIO 2016						
L	M	M	J	V	S	D
27	28	29	30	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

Fuente: Autor

Durante los 7 días de la ventana de programación se distribuyen los trabajos planeados que se necesitan ejecutar a cada equipo teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Prioridad del trabajo planeado.
- Disponibilidad actual de la flota a la que pertenece el equipo.
- Balance de horas hombre disponibles del taller.
- Información pactada en los acuerdos de servicio con los clientes.

Como parte de la estrategia del mantenimiento preventivo se contempla la ejecución de una reunión semanal para la evaluación de ventana de programación. La reunión de ventana es convocada y moderada por el programador de la flota y debe contar con la participación de:

- Planeador de la UAS de equipo de soporte.
- Planeador de la UAS de grúas.
- Supervisor de taller.
- Analista de confiabilidad.
- Auxiliar de programación de equipo de soporte.

Esta reunión es citada para tratar la siguiente agenda:

- Seguimiento a los indicadores del proceso de planeación y programación.
- Evaluación de cumplimiento de la ventana anterior.
- Validación de la nueva ventana de programación.

Una vez socializada y aprobada de la ventana de programación por el equipo de trabajo, el programador se encarga de notificarla a los diferentes usuarios.

En el siguiente cuadro se define el formato de registro de la ventana de programación que se envía a los interesados. (ver cuadro 19).

Cuadro 19: Formato de registro de ventana operativa

MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS						
EQUIPO	FECHA	OT	RUTINA DE PM	USUARIO	CLIENTE	OBSERVACIONES
INSPECCIONES PRE-SEIS						
EQUIPO	FECHA	OT	PRIORIDAD	USUARIO	CLIENTE	OBSERVACIONES
MANTENIMIENTO PREDICTIVO (ANÁLISIS DE ACEITE)						
EQUIPO	FECHA	OT	PRIORIDAD	USUARIO	CLIENTE	OBSERVACIONES
TRABAJO PROGRAMADO (PRIORIDAD P1 Y P2)						
EQUIPO	FECHA	OT	PRIORIDAD	USUARIO	CLIENTE	OBSERVACIONES
TRABAJOS ESPECIALES DE EQUIPOS DOWN						
EQUIPO	FECHA	OT	PRIORIDAD	USUARIO	CLIENTE	OBSERVACIONES

Fuente: Autor

El formato de programación se divide en cinco tipos de trabajos:

- **Mantenimiento preventivo:** Los equipos citados al taller para ejecutar una rutina de PM.
- **Inspecciones pre-seis:** Los equipos que se encuentran en pronóstico para la siguiente ventana de programación, se les realiza una inspección en campo para anticipar cualquier tarea adicional necesaria que requiera equipo y poder realizar la planeación.
- **Críticos de aceites:** Los equipos que presentan parámetros anormales en los resultados de las muestras de aceite, se les programa una inspección detallada del sistema afectado.
- **Trabajo programado:** Los equipos que tienen tareas para ejecutar con prioridad P1 o P2.

- **Trabajos especiales de equipos Down:** Son equipos que se encuentran “Down” en el taller y requieren de un plan de trabajo especial para ser intervenidos.

6.1.4. Manejo de información del proceso

Ellipse está definido como el software para la gestión y administración del mantenimiento a nivel de la compañía. El proceso de mantenimiento preventivo del taller se apoya en los siguientes módulos de Ellipse:

MSEWOT (Modulo de órdenes de trabajo):

En este módulo se gestiona todo relacionado con las órdenes de trabajo:

- Apertura de OT
- Clasificación por tipo de OT
- Registro de información relevante dentro de las OT
- Cierre de OT
- Consulta de OT ejecutadas

MSE130 (Modulo de APL):

En este módulo se realiza la administración de los consumibles requeridos para la ejecución de cada una de las rutinas de mantenimiento preventivo para los diferentes equipos.

MSE690 (Modulo de estándares de trabajo):

En este módulo se administra la información relacionada con las tareas de cada una de las rutinas; cada rutina de mantenimiento en Ellipse se crea bajo un estándar de trabajo.

MSE700 (Modulo de administración de MST):

En este módulo se crean y se gestionan las frecuencias de ejecución de cada una de las rutinas de mantenimiento.

MSEWJO (Modulo de administración de la ventana de programación):

En este módulo se visualizan las MST propuestas por el sistema y permite armar la ventana de programación.

MSO400 (Modulo de estadísticas):

Este módulo permite registrar y consultar los horómetros de los equipos, esta información es usada por el módulo MSEWJO para proponer las MST de la ventana de programación.

6.1.5. Indicadores del proceso de mantenimiento preventivo

El proceso de mantenimiento preventivo del taller de equipo de soporte es evaluado por 4 indicadores de gestión y seguimiento principales a los cuales se encuentran alineados los objetivos de este trabajo.

Porcentaje de cumplimiento de la ejecución de PM

Este indicador busca garantizar que todas las órdenes de trabajo de PM abiertas en el sistema sean ejecutadas.

Porcentaje de cumplimiento del intervalo de PM

Este indicador busca garantizar que las rutinas de PM se ejecuten dentro del $\pm 10\%$ del intervalo (250 horas).

Ultimo llamado

Este indicador busca evaluar la calidad en la ejecución del mantenimiento preventivo midiendo el tiempo en días que demora un equipo en volver al taller por

un trabajo correctivo después de la última intervención por un mantenimiento preventivo.

Porcentaje de cumplimiento de los trabajos programados

Este indicador busca hacer seguimiento al cumplimiento de la ejecución de los trabajos programados en la ventana.

6.1.6. Estrategia de mejoramiento del proceso de pm

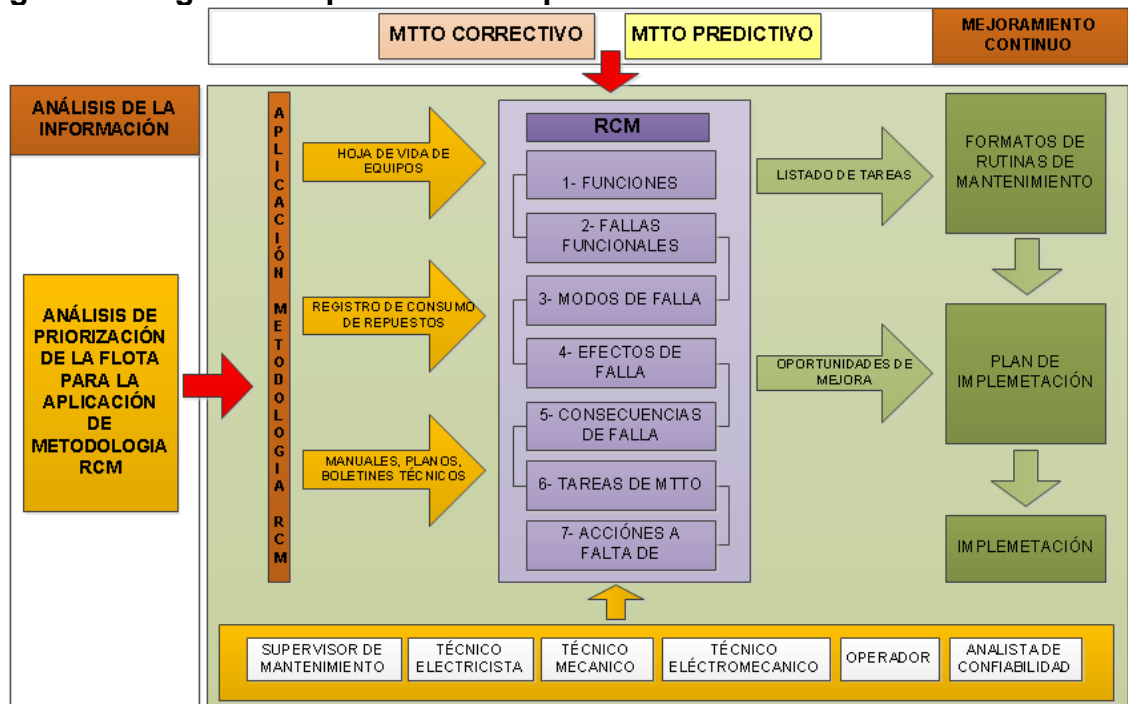
Se define como parte de la estrategia de mantenimiento del taller de equipo de soporte la implementación de las metodologías RCM por sus siglas en inglés Reliability Centered Maintenance y PMO por sus siglas en inglés Planned Maintenance Optimization, como pilares fundamentales en el proceso de mantenimiento preventivo.

- La metodología RCM será aplicada a los equipos clasificados con criticidad alta.
- La metodología PMO será aplicada a los equipos clasificados con criticidad media.
- Las rutinas de mantenimiento de los equipos de baja criticidad serán basadas en las recomendaciones de mantenimiento propuestas por los fabricantes.

Mantenimiento Basado en Confiabilidad - RCM:

Es una metodología de análisis racional y estructurado, que define las tareas óptimas de Mantenimiento necesarias para eliminar los riesgos asociados a la materialización de los modos de falla presentes en los equipos y sus consecuencias. En la siguiente figura se establece el proceso RCM para el taller de equipo de soporte. (ver figura 9).

Figura 9: Diagrama de proceso de implementación de RCM



Fuente: Autor

El proceso RCM inicia desde el análisis de criticidad de los equipos donde se define que los equipos clasificados como alta prioridad van a ser tratados bajo esta metodología de mantenimiento y se diseña un plan de implementación de RCM para la flota crítica. Este plan de implementación no hace parte de los objetivos de este trabajo.

Posteriormente se debe recoger toda la información de los activos que van a ser estudiados, manuales, planos, hojas de vida, boletines de fabricantes, consumo histórico de repuestos. Toda esta información es fundamental antes de iniciar con la aplicación de las 7 preguntas de la metodología.

Para el taller de equipo de soporte se define al analista de confiabilidad como líder y facilitador de proceso RCM. Una vez aplicada la metodología se procede a emitir las rutinas de mantenimiento basadas en RCM y a realizar el seguimiento

correspondiente para evaluar el éxito del nuevo plan de mantenimiento. Los formatos RCM serán sometidos a revisión cada dos años y/o cuando alguna recomendación de un análisis de falla o boletín técnico de fabricante lo requiera.

Optimización del Mantenimiento Planeado - PMO:

Es un proceso analítico para racionalizar los programas existentes de mantenimiento, teniendo en cuenta el historial de fallas y otra información técnica para eliminar defectos buscando que cada tarea de PM (Mantenimiento Planeado) sea costo-efectiva y tenga valor agregado dentro del proceso.

La metodología está basada en la eliminación de fallas y un programa de mejoramiento de productividad y su implementación en el proceso de mantenimiento comprende el desarrollo de 8 pasos.

Paso 1. Recopilación de Tareas

Paso 2. Análisis de Modos de Falla (FMA)

Paso 3. Racionalización y Revisión del FMA

Paso 4. Análisis Funcional (Opcional)

Paso 5. Evaluación de Consecuencias

Paso 6. Definición de la Política de Mantenimiento

Paso 7. Revisión y Agrupación

Paso 8. Aprobación e Implementación

6.2. MANTENIMIENTO PREDICTIVO

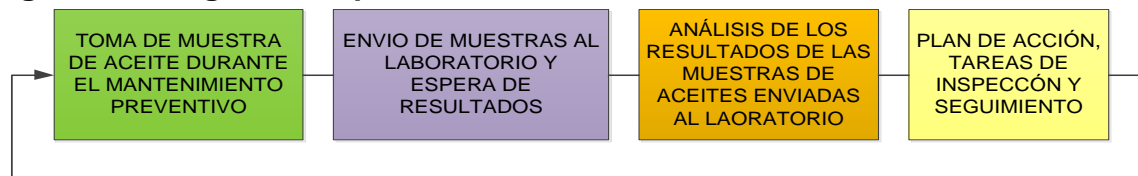
El proceso de mantenimiento predictivo del taller busca identificar fallas potenciales a temprana edad para tomar las acciones correspondientes con el fin de evitar fallas catastróficas y mejorar la confiabilidad de los activos.

Se define la implementación de dos técnicas de mantenimiento predictivo en el taller:

6.2.1. Análisis de aceites

El proceso de análisis de aceites busca identificar condiciones anormales en el funcionamiento de los diferentes sistemas y realizar un seguimiento al estado de desgaste interno de los diferentes componentes. (ver figura 10).

Figura 10: Diagrama de proceso de muestra de análisis de aceites



Fuente: Autor

Las muestras de aceite son tomadas durante los mantenimientos preventivos y enviadas al laboratorio del departamento de inspecciones y tecnología GIT. Una vez procesadas las muestras los resultados son enviados vía correo electrónico e ingresados en la base de datos de Ellipse, módulo MSE345. El analista de confiabilidad de la flota es el encargado de analizar los resultados y sugerir las acciones correspondientes según sea el caso.

De acuerdo a la estrategia y la capacidad del laboratorio se define el muestreo de análisis de aceite para los siguientes componentes. (ver cuadro 20).

Cuadro 20: Componentes evaluados con análisis de aceites

Compartimento	Frecuencia de cambio (H)	Frecuencia de muestreo (H)
Motor	250	250
Hidráulico	2000	1000
Transmisión	1000	500
Transfer	1000	500
Transmisión de giro	2000	1000
Diferencial	1000	500

Mando final	1000	500
-------------	------	-----

Fuente: Autor

Teniendo en cuenta la criticidad de equipos los análisis de aceite se realizan de la siguiente manera:

- Para equipos definidos como criticidad alta se toman muestra de todos los sistemas.
- Para equipos definidos como criticidad media se toman muestras de sistemas de motor, transmisión y diferenciales.
- Para equipos de criticidad baja se toman muestras de motor.

6.2.2. Ultrasonido enfocado a inspecciones estructurales

Las inspecciones estructurales busca garantizar el buen estado del sistema de los equipos clasificados como criticidad alta, adicionalmente se incluyen las plataformas de trabajos en alturas debido a la naturaleza de su función.

Para definir la frecuencia de las inspecciones se tiene en cuenta las recomendaciones de los fabricantes y se determina una frecuencia anual. La inspección es realizada por personal especializado perteneciente al departamento de inspecciones y tecnología GIT. Una vez realizada la evaluación es enviado un informe con los hallazgos y recomendaciones al taller de equipo de soporte. Las tareas entran en el proceso de trabajos planeados y se incluyen en las ventanas de programación según la prioridad.

6.3. MANTENIMIENTO CORRECTIVO

El proceso de mantenimiento correctivo del taller busca recuperar la función de los activos en el menor tiempo, de manera segura, confiable y costo efectiva para reducir el impacto en la operación. El proceso de mantenimiento correctivo es administrado por el supervisor del taller que basado en la matriz de criticidad de equipos y el contexto operacional de la compañía, asigna las prioridades de cada uno de los trabajos, la información correspondiente a los trabajos es registrada en Ellipse, módulo MSEWOT (Modulo de órdenes de trabajo).

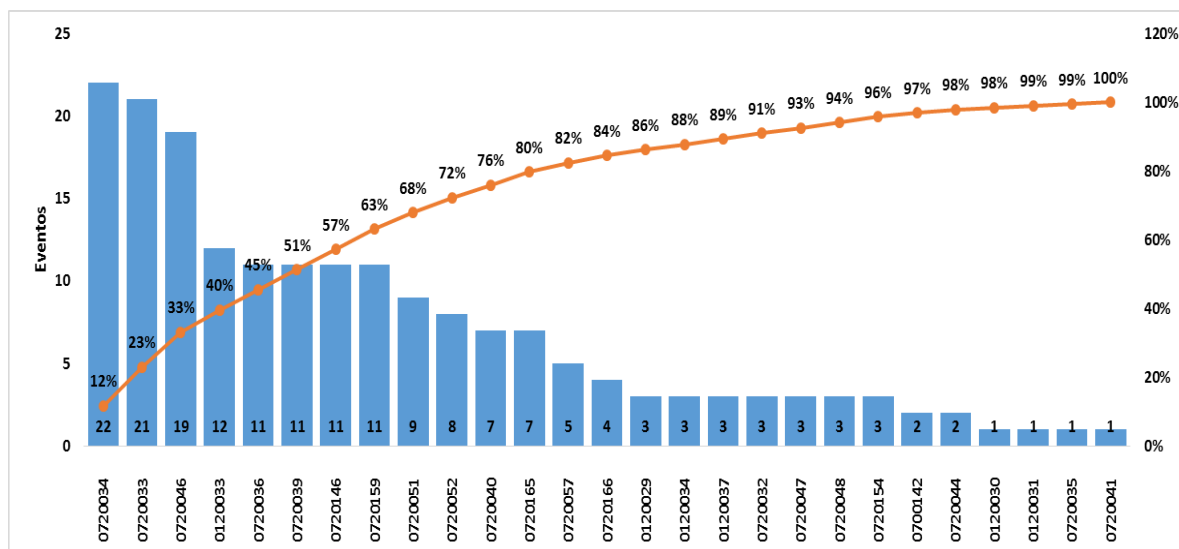
Como estrategia de mejoramiento del proceso correctivo se implementa el uso de las metodologías Malos actores y RCA Análisis de causa raíz.

6.3.1. Malos actores

Para este proceso se realiza una clasificación de los eventos, situaciones y desviaciones en el proceso, o fallas que tengan un alto impacto o alta recurrencia, partiendo de este análisis se identifican aquellos equipos que deben ser tratados de forma especial realizando un análisis detallado de su funcionamiento y de esta manera generar las bases y conceptos determinantes para tomar decisiones que conlleven a la implementación medidas o mejoras a los procesos.

Para el desarrollo de este proceso de clasificación se selecciona la metodología de Análisis de Pareto. (ver figura 11). Una vez aplicando este análisis se identifican de manera clara los eventos o fallas en las que se deben concentrar los esfuerzos para hacer que las acciones tengan los mayores impactos positivos en los indicadores de mantenimiento.

Figura 11: Pareto UAS – eventos correctivos 01 Ene a 30 Jun 2016



Fuente: Autor

Mensualmente se realizarán análisis de Pareto con el fin de identificar las fallas crónicas que requieran la ejecución de un análisis de causa raíz. A partir de la información existente en la base de datos de Ellipse. Se deberán obtener las estadísticas de fallas, mantenimientos correctivos por equipos y toda la información registrada en las órdenes de trabajo.

Los análisis de Pareto que se podrán realizar para identificar oportunidades de mejora:

- **Análisis de Pareto por equipos:** Busca identificar los equipos que generan la mayor cantidad de trabajo al taller, equipos generan la mayor cantidad de órdenes de trabajo correctivas.
- **Análisis de Pareto por sistemas:** Busca identificar los sistemas que más fallas están generando durante la operación de los equipos.
- **Análisis de Pareto por repuestos:** Busca identificar los repuestos más consumidos en el taller.

- **Análisis de Pareto de costos:** Busca identificar los equipos que más están impactando el presupuesto del taller.

Con la información anterior podemos realizar un análisis para determinar cuáles son las fallas, equipos, repuestos y sistemas que generan el 80% de los costos y cuales aunque son más numerosas solo representan el 20% de los costos correctivos que tiene que afrontar la compañía.

Estas fallas que representan el 80% de los trabajos correctivos deben ser revisadas a fondo para poder definir un plan de acción de mejorar enfocado. La metodología a utilizar para definir las acciones de mejora es el análisis de causa raíz RCA, esta metodología permite estudiar los eventos de una forma estructurada para identificar la raíz de los problemas y de esta forma seleccionar acciones contundentes para eliminar las fallas repetitivas, con esto mejorar el desempeño de los equipos.

Esta información debe ser socializada a todos los niveles del taller, para que ellos tengan conocimiento de cuáles son los malos actores que generan mayor cantidad de costos correctivos e impactos en la disponibilidad de la flota dentro de la operación de la compañía y cuáles son las acciones que se están implementando para mejorar el desempeño del taller.

6.3.2. Análisis causa raíz – rca

Se realizará una estrategia de implementación de la metodología RCA al proceso de mantenimiento del taller con el fin de evaluar toda la cadena de hechos hasta identificar las causas raíces y las soluciones efectivas para eliminar o mitigar sus efectos. Esta técnica de análisis pretende la eliminación de las causas, en lugar de corregir los síntomas.

- **Definiciones**

Facilitador ACR

Persona responsable de liderar la ejecución de la metodología de ACR, encargada de orientar el proceso de investigación y análisis de los eventos, de tal forma que se cumplan los objetivos planteados.

Riesgo

Es la probabilidad de que un evento específico ocurra, generando consecuencias no deseadas para la compañía.

Consecuencia

Resultado de la materialización de una amenaza o peligro, y que resulta en afectación al personal, el medio ambiente, a la imagen de la compañía, daños a la propiedad, pérdidas de producción, costos operacionales, entre otros; o una combinación de ellos, denominado de impacto múltiple. Puede ser expresado cuantitativamente, debido a que proporciona una correlación directa entre el valor del evento analizado y el costo de las soluciones propuestas.

Reporte de Falla

Formato usado para realizar el análisis de fallas o eventos con un nivel de riesgo moderado.

Árbol de Falla

Diagrama con niveles jerárquicos usados en el ACR para identificar las posibles causas raíz de los eventos.

Evento

Cualquier incidente que produzca o pueda generar daños a las personas, al medio ambiente, a los activos o imagen de la organización y que genere una desviación de los objetivos del negocio.

Falla Funcional

Evento que produce en un equipo o componente una reducción del estándar de función para el cual está determinado dentro del proceso productivo de la compañía.

Modo de Falla

Es cualquier evento que “Causa” que un activo o sistema falle, la Norma SAE JA1011, lo define como cualquier evento que causa una falla funcional.

Causa Raíz

Es la causa primaria que origina una falla, estas pueden ser físicas (evidencias reales y medibles), humanas (por error u omisión) y latentes (falta de normatividad y procedimientos).

Causa raíz física

Causa tangible de la ocurrencia del problema, en ocasiones asociada a fenómenos físicos: propiedades o estado de los materiales, componentes o partes afectadas.

Causa raíz humana

Asociada a errores humanos, al comportamiento de las personas, la acción o la omisión.

Causa Raíz Latente

Relacionada con el diseño, fabricación o el ámbito organizacional, y que permiten que se materialicen las causas raíces tanto físicas como humanas.

Recomendaciones

Acciones para la corrección y prevención de fallas, como resultado de un Análisis de Causa Raíz.

Reparación

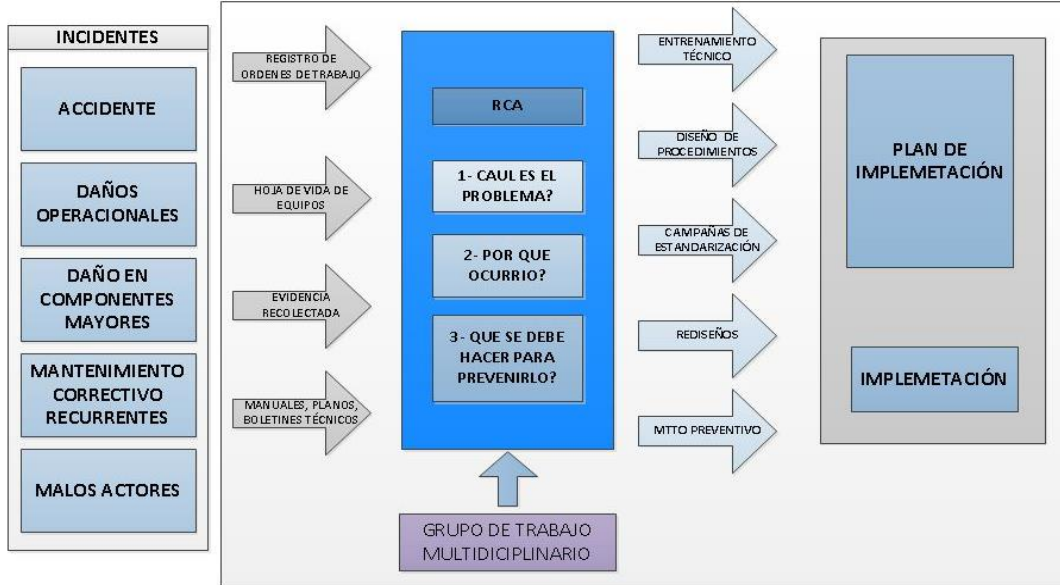
Intervención que implica aislar el equipo de su proceso para restablecer su condición a los niveles de operación fijados por la organización o el proceso requiera y estas pueden ser clasificadas como de carácter correctivo, preventivo o predictivo.

- Proceso RCA

Se define la utilización de la metodología de Análisis de Causa Raíz – RCA, principalmente para los eventos clasificados como “Malos Actores”, de igual forma esta metodología se implementa en el análisis de fallas repetitivas, investigación de accidentes y daños en componentes mayores.

Las conclusiones de este método se utilizan para establecer los planes de acción con el objeto de evitar que las fallas vuelvan a ocurrir, incrementando la disponibilidad y confiabilidad de los activos. Como parte del proceso se establece el proceso metodológico (ver figura 12) que se debe seguir en el taller de equipo de soporte para llevar a cabo un estudio RCA.

Figura 12: Diagrama de proceso de ejecución de RCA

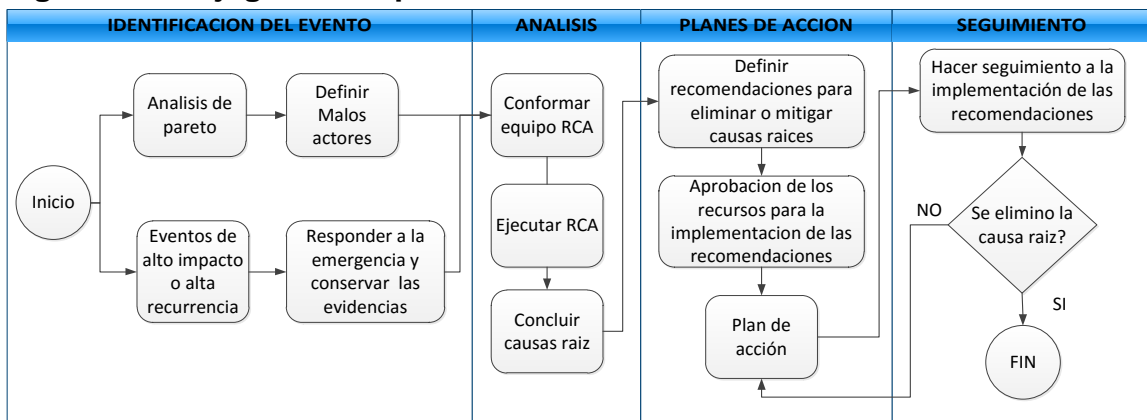


Fuente: Autor

- **Metodología**

Para garantizar una correcta implementación del procedimiento RCA, se deben considerar y aplicar las siguientes etapas. (ver figura 13), esta resume el proceso dinámico bajo el cual estará regulada esta metodología, este flujograma guía de forma organizada el proceso bajo el cual se tomarán las decisiones de los diferentes eventos que ocurran en el taller.

Figura 13: Flujograma de proceso de RCA



Fuente: Autor

Tras la identificación del evento y el correspondiente análisis realizado aplicando la matriz de riesgos de eventos, se debe realizar RCA a todos aquellos eventos en los cuales se alcancen la valoración de riesgo alto, ya que tienen un nivel de impacto de gran relevancia para la compañía.

- **Conformación del equipo**

Dependiendo del tipo de evento, será conformado un equipo de análisis multidisciplinario, a través del cual se debe fijar la fecha, hora y lugar de la reunión, también es necesario que aquellas personas que conforman este grupo lleven para el análisis toda la información o evidencias que ellos creen adecuada para la investigación. El equipo de trabajo debe contar por lo menos con una persona de operación.

Características del equipo de trabajo:

- El equipo debe ser multidisciplinario.
- Debe involucrar personal directamente afectado por el problema o evento.
- El personal que interviene en el RCA debe ser excusado de sus asignaciones normales de trabajo, mientras se encuentre trabajando en el análisis.
- De ser necesario se puede citar contratistas conocedores de evento o especialistas externos.

- **Definición del problema**

Identificar claramente el problema es fundamental para un análisis efectivo. La definición del evento que constituye el problema es el punto de partida y se debe

definir con detalle, de lo contrario, se pueden dar soluciones a problemas diferentes al que se quiere corregir y por tanto obtener resultados insatisfactorios.

Por tal razón se debe definir con exactitud el nombre del evento de estudio; para que se centralicen las ideas y detallar todo el entorno que se genera por el problema, es necesario conocer la jerarquía funcional del activo. Después de tener esto establecido, se define el contexto operacional, este debe tener los criterios de operación diaria.

A su vez se debe clarificar donde ocurrió el evento, con fecha y hora, si es necesario se debe agregar lo que sucedía antes del evento y lo que se generó después, esto se debe hacer para ampliar el rango del problema de estudio. Después de tener clara esta definición se debe preguntar cuál fue la acción correctiva realizada para solucionar la falla, y si durante esta intervención se encontraron hallazgos significativos, los cuales pueden servir como hipótesis y evidencias de lo sucedido.

El siguiente punto de análisis dentro de la definición del problema es verificar si existen antecedentes de este tipo de fallas en otra área de la empresa, o si se tiene conocimiento que ha ocurrido este evento en alguna compañía del sector. Esta información puede servir más adelante para la toma de decisiones.

- **Árbol de fallas**

Esta etapa de la metodología es el eje de la investigación del evento ya que sobre este se realiza el proceso dinámico de selección de modos de falla, asignación y validación de hipótesis y definición de causas raíz. En el nivel más alto del árbol se debe colocar el evento de estudio, este es el punto de partida de todo el proceso RCA y es lo que buscamos eliminar o que no se vuelva a presentar.

Con la información que el equipo de análisis ya conoce se procede a determinar cuáles pueden ser los modos de falla que pudieron haber generado el evento, estos modos de falla son los eventos físicos encontrados una vez ocurre la falla, también conocidos como síntomas.

Una vez determinados los modos de falla se deben establecer las posible hipótesis de cómo se pudieron haber generado estos, este punto debe ser realizado con una lluvia de ideas de todos los participantes, se deben discutir todas las ideas que se generen por mas improbables que parezca se están determinando posibles hipótesis. Cada modo de falla debe tener por lo menos una hipótesis, las cuales deben ser descritas a través del interrogante ¿Por qué?

- **Evidencias**

La recolección de las evidencias de eventos o fallas crónicas, se puede realizar simultáneamente con la realización de las actividades de restablecimiento de la operación, este es un proceso clave para el desarrollo de la investigación, puesto que la evidencia es fundamental para validar o descartar las hipótesis. En el diagrama de flujo que se estable en este procedimiento se determina que la persona que identificó la falla y la que la corrigió son los principales agentes de toma de evidencia, ya que fueron los que visualizaron y revisaron lo ocurrido.

Cuando la información no es capturada oportunamente los equipos reinician operaciones, las personas olvidan lo ocurrido o intercambian ideas confundiendo como se desarrollaron los eventos. Dentro de la metodología RCA, es necesario recopilar la mayor cantidad posible de información y evidencias para hacer el análisis.

Como evidencia se puede tomar:

- Fotografías del evento.
- Videos.
- Planos.
- Testimonios (Entrevistas).
- Información técnica de proveedores.
- Expertos externos a la compañía.
- Hoja de vida de equipos.
- Tendencias predictivas.
- Informes de inspección.
- Procedimientos e instructivos.
- Registros de entrenamiento.
- Información de compra.

- **Validación de hipótesis**

Al tener una recopilación inicial de evidencias se puede comenzar a sustentar las hipótesis con hechos reales no con supuestos. Estas evidencias deben ser tomadas objetivamente para iniciar a descartar, aprobar o dejar en estudio las hipótesis.

En el árbol de falla se debe empezar a asignar las convenciones a cada hipótesis de tal forma que se pueda concretar cuales ya fueron estudiadas. Si con las evidencias inicialmente recopiladas no se pueden sustentar todas las hipótesis es necesario encargar a miembros del equipo de análisis según sea sus habilidades para que se realice una investigación más profunda y así se pueda aprobar o descartar la totalidad de hipótesis planteadas. Cuando se está buscando una sustentación a la hipótesis se puede realizar alguna de las siguientes prácticas:

- **Evaluar el diseño:** Determinar si los eventos ocurrieron por razones de diseños mal concebidos que pudieron generar la falla, estableciendo las características de los equipos involucrados en el evento, definiendo las funciones y rangos de operación, revisando manuales de operación, mantenimiento, procedimientos establecidos.
- **Evaluar las instalaciones:** Conociendo las especificaciones de las instalaciones y equipos el investigador puede realizar inspecciones visuales para determinar si hay condiciones inadecuadas para la operación de los equipos y/o instalaciones. Pueden emplearse fotografías, planos, esquemas, diagramas de flujo, para apoyar el análisis.
- **Evaluar las prácticas operacionales:** Es necesario revisar los procedimientos de operación y verificar los sistemas supervisores de control de proceso que en algunos casos monitorean constantemente las variables de operación. También pueden emplearse reportes donde se registren las condiciones operativas.
- **Evaluar las prácticas de mantenimiento:** Considerar las rutinas de inspección, lubricación y monitoreo establecidas en el plan de mantenimiento, los procedimientos de reparación a través del sistema del sistema de información del departamento.

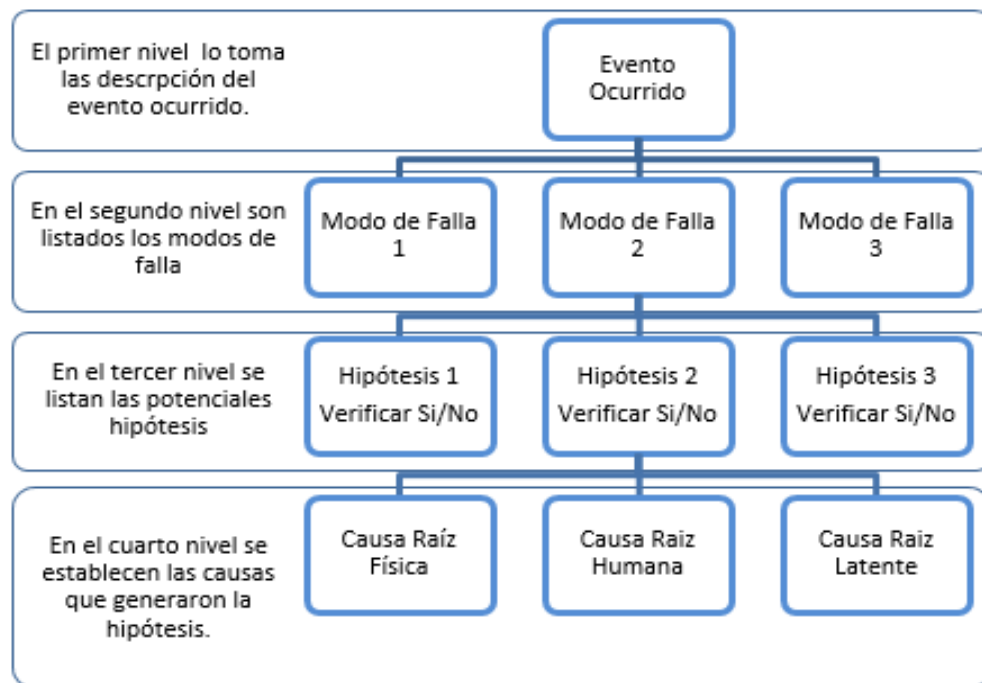
- **Determinación de la causa raíz**

Una vez determinada la hipótesis más probable, se define la característica que pueda dar origen a la falla; un causa raíz física, humana o latente (ver gráfico 13), no toda hipótesis valida es resultado de las tres posibles causas, por lo general una causa es la determinante de la falla. En el caso de las causas humanas es

bueno resaltar que no se debe convertir en una situación de asignación o señalamiento de culpables ya que el análisis no busca ese tipo de resultados, dentro de este proceso siempre se busca determinar oportunidades de mejora.

Las causas raíces deben determinar por qué se provocó la hipótesis y por cual razón se materializara el modo de falla generando el evento indeseado a continuación se aprecia la clasificación de las hipótesis según la metodología. (ver figura 14).

Figura 14: Árbol de falla RCA



Fuente: Autor

- Recomendaciones

Una vez ejecutado el taller de RCA y determinadas las causas raíz del evento se cuenta con una base sólida para determinar recomendaciones efectivas que puedan eliminar el modo de falla y mitigar el nivel de riesgo al cual se está siendo sometida la operación por este tipo de eventos. Luego de ser expresadas todas

las recomendaciones se debe asignar un responsable, una fecha límite de implementación y su respectivo costo.

Para determinar la viabilidad de estas recomendaciones se debe realizar un análisis sencillo de costo beneficio respecto de la afectación económica que genera la falla.

$$\text{Relación (Costo – Beneficio)} = \left(\frac{\text{Costo de Implementación}}{\text{Costo generado por la Falla}} \right)$$

Con esta relación se pueden agrupar las recomendaciones en dos tipos: de corto y largo plazo, según sea el presupuesto asignado para hacerlas efectivas. Si la relación entre los dos costos es menor a uno, es porque es beneficiosa desde el punto de vista económico para la compañía; si la relación es igual a uno se refiere a que tiene el mismo valor implementar la recomendación, que asumir el costo del evento o falla; y la última opción es que esta relación sea mayor a uno significando que la compañía invierte menor cantidad de dinero si asume el evento o falla, que implementando la solución presentada por el equipo RCA.

La metodología RCA en el caso de eventos relacionados con la seguridad de las personas no realiza una evaluación desde el punto de vista de costo-beneficio o retorno de inversión, pues toda solución que disminuya o elimine los niveles de riesgo para las personas debe ser implementada lo más pronto posible.

Las posibles soluciones a las causas probables que identifique el equipo RCA, es efectiva si:

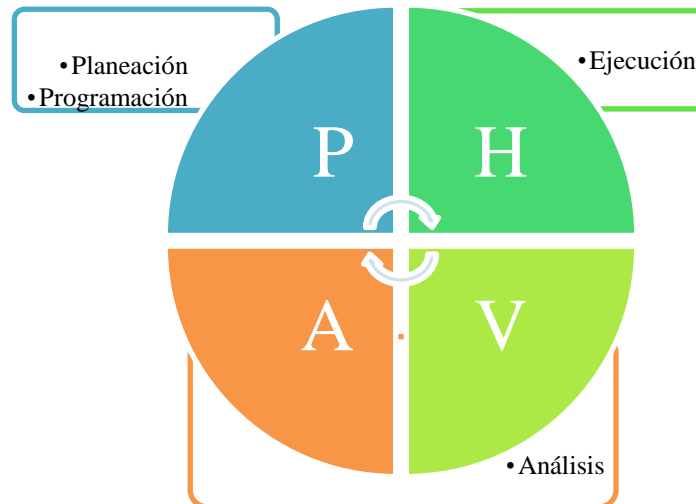
- Previene la recurrencia de las causas identificadas.
- Cumple con las metas y objetivos de la compañía.
- Su ejecución está bajo el control de la organización.
- Es viable (costo-beneficio)

- No crea nuevos problemas

6.4. DEFINICION DE INDICADORES

En línea con el proceso de mejora continua PHVA (ver figura 15) en el taller se definen los siguientes cuatro sub-procesos.

Figura 15: Ciclo PHVA



Fuente: Autor

Se definen los indicadores desempeño para cada uno de los procesos del taller planeación, programación (ver cuadro 21), ejecución y análisis (ver cuadro 22) implementando la aplicación del cuadro de indicadores o balance score card.

Cuadro 21: Indicadores de planeación y programación

Proceso	Indicador	Formula	Intervalo de medición	Meta	Actual UAS E.SOP	Actual UAS GRÚAS
Planeación	% de Ordenes con mas de 90 días abiertas en sistema	$= \frac{OT \text{ con mas de 90 días en sistema}}{OT \text{ abiertas en sistema}}$	Mensual	10%	37,5%	56%
	% De distribución de OT cerradas (% de trabajo preventivo)	$\frac{OT \text{ correctivas}}{OT \text{ totales}} = \frac{OT \text{ preventivas}}{OT \text{ totales}} + \frac{OT \text{ predictivas}}{OT \text{ totales}}$	Mensual	OT preventivas + OT predictivas >= 50% del total de las OT cerradas	33,0%	27,0%
	% de tiempo Down Esperando partes	$= \frac{T \text{ por partes}}{T \text{ down}}$	Mensual	E.SOP = 20% GRÚAS = 10%	27,49%	13,6%
Programación	Cumplimiento de SEIS	$= \frac{OT \text{ de Seis programados} - OT \text{ Seis no ejecutados}}{OT \text{ Seis programados}}$	Semanal	98%	99,4%	100,0%
	Cumplimiento de intervalo de SEIS	$= \frac{OT \text{ Seis programados} - OT \text{ Seis desviadas}}{OT \text{ Seis Programados}}$	Semanal	80%	75,8%	78,2%
	Carga de Backlog	$= \frac{\sum H - H \text{ OT's trabajos pendientes}}{H - H \text{ disponibles día promedio}}$	Semanal	En proceso	En proceso	En proceso

Fuente: Autor

Cuadro 22: Indicadores de ejecución y análisis

Proceso	Indicador	Formula	Intervalo de medición	Meta	Actual UAS E.SOP	Actual UAS GRÚAS
Ejecución	% de cumplimiento de trabajos programados	$= \frac{OT \text{ programadas} - OT \text{ no ejecutadas}}{OT \text{ programadas}}$	Semanal	80%	80%	50,0%
	% de tiempo esperando labor	$= \frac{T \text{ por espera de labor}}{T \text{ down}}$	Mensual	20%	25%	9,4%
	% De distribución de OT abiertas preventivas (% de OT preventivo)	$\frac{OT \text{ correctivas}}{OT \text{ totales}} = \frac{OT \text{ preventivas}}{OT \text{ totales}} + \frac{OT \text{ predictivas}}{OT \text{ totales}}$	Mensual	OT preventivas + OT predictivas >= 50% del total de las OT abiertas	32,0%	35%
	Calidad de ejecución del SEIS	$= \frac{OT \text{ Correctivas}}{OT \text{ seis}}$	Mensual	En proceso	En proceso	En proceso
Análisis	Disponibilidad	$= \frac{T_{total} - T_{Down}}{T_{total}}$	Mensual	Según flota	85%	71%
	Confiabilidad (MTBF)	$= \frac{T_{total} - T_{Down}}{OT \text{ correctivas}}$	Mensual	En proceso	En proceso	En proceso
	% de calidad de cierre de OT	$= \frac{\text{Campos de la OT diligenciados}}{\text{Campos totales}}$	Semanal	80%	49,7%	38,2%
	Mantenibilidad (MTTR)	$= \frac{T_{Down}}{OT \text{ correctivas}}$	Mensual	En proceso	En proceso	En proceso

Fuente: Autor

6.5. CAPTURA DE INFORMACIÓN

Dada la importancia que tiene el manejo de la información en el proceso de mantenimiento para el análisis y la mejora continua, la cantidad de equipos que maneja el taller y el volumen de información que se genera día a día, se define el software Ellipse como el medio para el registro y almacenamiento toda la información del proceso de mantenimiento.

Con el fin de poder realizar análisis y mantener ordenada la información en el sistema se define que las órdenes de trabajo del taller se clasificaran (ver cuadro 23) por tipo de mantenimiento y tipo de orden de trabajo

Cuadro 23: Clasifican de órdenes de trabajo

Tipo de mantenimiento	Manejo de ordenes de trabajo en Ellipse		
	Tipo de OT		Descripción
PE (Preventivo)	IP	SEIS	Ejecución de mantenimiento preventivo
	RM	Trabajo programado	Tareas que se identifican y no se ejecutan de inmediato
	IS	Inspecciones	Inspecciones pre-seis
	SN	Servicio no conforme	Incumplimiento de algún punto acordado con el cliente
	OH	Overhaul	Overhaul
PD (Predictivo)	AA	Análisis de aceites	Muestras de aceites
	IE	Inspección estructural	Inspección estructural
CO (Correctivo)	RE	Reparación	Correctivo que genera Down imprevisto
	DO	Daño operacional	Se comprueba que el ingreso es producto de un daño operacional
	A	Accidente	El ingreso del equipo al taller es producto de un accidente
	G	Garantía	Se debe realizar un retrabajo en el equipo

Fuente: Autor

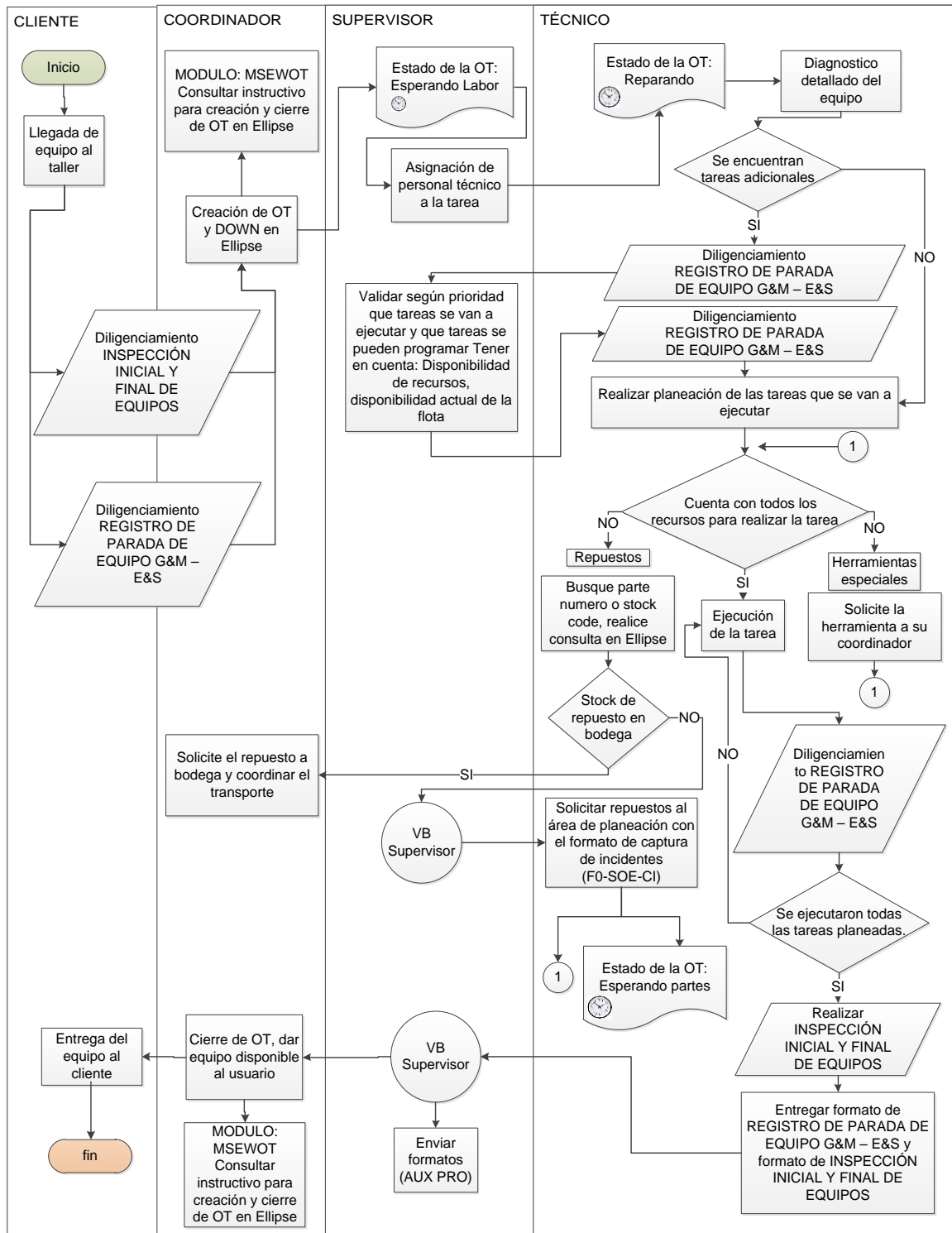
Aplicando la clasificación de la tabla anterior facilitamos la identificación de las diferentes órdenes de trabajo y podemos realizar análisis y validar que porcentaje

de trabajo del taller es de tipo correctivo, preventivo o predictivo, identificar los costos y puntos de disponibilidad perdidos por accidentes o daños operacionales.

Teniendo en cuenta la cantidad y diversidad de equipos, la cantidad de clientes y acuerdos de servicios, y los indicadores de seguimiento de cada uno de los subprocesos del taller, el manejo de la información es un punto vital para la mejora continua.

A continuación se presenta el flujograma (ver figura 16) definido para la captura de información generada durante el proceso de mantenimiento y los responsables en cada una de las etapas de la parada.

Figura 16: Flujograma de manejo de la información



Fuente: Autor

Se diseña el formato de administración de parada, (ver figura 17) como herramienta para capturar la información de los trabajos realizados en el taller, este formato será diligenciado inicialmente por el cliente durante de recepción de un equipo en el taller y posteriormente será diligenciado por el personal técnico para registrar las tareas realizadas al equipo.

Figura 17: Formato de administración de parada

Nº DEL EQUIPO:		HOROMETRO DEL EQUIPO:		HOROMETRO SUPER-ESTRUCTURA:				
COORDINADOR / SUPERVISOR QUE RECIBE EL EQUIPO:			FECHA Y HORA DE APERTURA DE LA OT					
# OT COMANDANTE			DÍA	MES	AÑO	HORA		
DESCRIPCIÓN:			EJEC (OK)	PROG	PRI	HH EST	TÉCNICO (Firma)	
Nº	LISTADO DE TAREAS		Abrir OT	EJEC (OK)	PROG	PRI	HH EST	TÉCNICO (Firma)
DATOS DEL CLIENTE								
COMENTARIOS DEL CLIENTE:								
CLIENTE QUE ENTREGA EL EQUIPO AL TALLER:				CLIENTE QUE RECOGE EL EQUIPO DEL TALLER:				
FIRMA: _____				FIRMA: _____				
NOMBRE: _____				NOMBRE: _____				
EJEC: Ejecutado - PROG: Programar - PRI: Prioridad: P0- Detener el equipo inmediatamente, P1- Programar en ventana en curso, P2- Programar a más tardar en la siguiente ventana, P3- Programar en el próximo SEIS, P4- Programar según oportunidad - HH EST: Horas hombre estimadas								

Fuente: Autor

Toda la información registrada en el formato anterior será transcrita a la orden de trabajo en Ellipse una vez el equipo sea entregado disponible. Con esta

herramienta se garantiza la trazabilidad y confiabilidad de la información del proceso.

6.6. ROL DEL ANALISTA DE CONFIABILIDAD

6.6.1. Objetivo

Liderar, desarrollar e implementar las mejores técnicas de análisis de confiabilidad y mejora continua con el fin alcanzar las metas de gestión de activos de manera segura, confiable y costo-efectiva.

6.6.2. Funciones

- Analizar con diagramas de Pareto la información de mantenimiento con el fin de identificar sistemas y componentes con mayor cantidad de fallos.
- Analizar la información de mantenimiento para la identificación de equipos con fallas repetitivas y baja confiabilidad (MTBF).
- Ejecutar análisis RCA para la identificación de causas raíces de los problemas, con el fin de definir acciones correctivas que permitan obtener soluciones efectivas en busca de eliminar o mitigar el impacto negativo ocasionado por la falla.
- Establecer plan de acción para mejoramiento continuo de la confiabilidad de la flota.
- Capacitar al personal técnico en temas donde se detecte debilidad de los colaboradores o en sistemas críticos que afecten la confiabilidad de la flota, para fermentar una cultura de mantenimiento preventivo.
- Acompañamiento en campo para entrenar al personal en la ejecución de nuevas rutinas de mantenimiento.
- Realizar revisiones aleatorias de calidad en las ejecuciones de las rutinas de mantenimiento en campo.
- Elaborar estándares de trabajo, procedimientos, y asegurar que estén dentro del sistema de gestión de la empresa.

- Diseñar la estrategia de mantenimiento para cada flota, para definir las acciones a seguir según los resultados de los análisis de mantenimiento.
- Aplicar RCM como estrategia de mantenimiento para definir las tareas a ejecutar en cada rutina de mantenimiento preventivo.
- Servir de facilitador para la implementación de RCM.
- Crear formatos para la ejecución de los mantenimientos preventivos.
- Definir variables de monitoreo para el mantenimiento predictivo en cada rutina.
- Realizar seguimiento a nuevos tipos de fallas no contemplados para definir nuevas tareas de mantenimiento que las eviten.
- Hacer seguimiento y tomar acciones para la mejora continua de los procesos.
- Realizar revisión periódica de la estrategia de mantenimiento RCM, para optimizar el plan de mantenimiento de las flotas objeto del contrato.
- verificar la efectividad de los planes de acción propuestos mediante el indicador de MTBF.
- Realizar seguimiento continuo a la calidad de la información de mantenimiento.
- Realizar revisiones aleatorias de calidad en las ejecuciones de las rutinas de mantenimiento en campo.
- Obtener información del desempeño y monitoreo de condiciones de los equipos de la flota de objeto del contrato para establecer alcance de los trabajos.
- Notificar y plantear recomendaciones sobre la interpretación de las variables de monitoreo, signos vitales, alarmas y tendencias.
- Desarrollar Técnicas de análisis de confiabilidad con el fin de realizar diagnóstico de estado de equipos y generar planes de acción
- Generar reportes de confiabilidad de acuerdo con los procedimientos establecidos con el fin de establecer planes de mejoramiento continuo.

- Realizar seguimiento mediante indicadores, a la confiabilidad de los equipos para determinar malos actores.
- Realizar predicciones basadas en confiabilidad (modeladas y en campo), procesos FMECA, Weibull, basado en modelos establecidos con el fin de mitigar los impactos futuros en cuanto a pérdidas de producción e indisponibilidad de equipos.
- Desarrollar análisis de Indicadores de confiabilidad con el fin de establecer el plan de eliminación de malos actores.
- Levantamiento de información de estado de equipos en función de diferidas, costos y número de fallas para realizar análisis de Pareto.
- Realizar análisis de Pareto con el fin de identificar malos actores y establecer acciones de mejora.
- Establecimiento de planes de acción para reducción de malos actores.
- Divulgación de plan de mejora para implementar las acciones derivadas.
- Determinar y elaborar el plan de eliminación de malos actores para mejorar su desempeño.
- Gestionar la modificación de rutinas de mantenimiento para incrementar la efectividad en las rutinas de mantenimiento
- Identificar hallazgos de necesidad de modificación de rutinas.
- Establecer criterios para definición de metodología a aplicar.
- Dirigir grupos de trabajo para establecimiento de las modificaciones con el fin de garantizar su adecuado desarrollo.
- Implementar las modificaciones en el CMMS con el fin de dar cumplimiento a las recomendaciones.
- Divulgar modificaciones de las rutinas de mantenimiento con el fin de hacer conocer a los interesados el cumplimiento del requerimiento.
- Actualizar listados de filtros y repuestos en el CMMS
- Actualizar las tareas programadas de mantenimiento MST en el CMMS

6.6.3. Habilidades

- Ingeniero Mecatrónico, Mecánico, Electrónico o afín.
- Manejo de metodologías de confiabilidad como RCA, RCM, PMO, FMECA, Análisis Estadístico de la información.
- Facilitador de metodologías como RCA y RCM.
- Programas y Estrategias de Mantenimiento (Ellipse, Mesh, RCM cost)
- Conocimientos en planeación, programación y ejecución de mantenimiento.
- Costos de mantenimiento y análisis de costo del ciclo de vida de activos.
- Manejo de sistemas de Información de Mantenimiento.
- Mantenimiento Basado en Condición.
- Conocimiento ciclo mejoramiento continuo.
- Seguridad Industrial.
- Manejo de indicadores o KPI's.

6.7. IMPORTANCIA DEL ÁREA DE CONFIABILIDAD DENTRO DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO

El proceso de mantenimiento del taller de equipo de soporte se encuentra conformado por los sub-procesos de planeación, programación, ejecución y análisis, áreas interrelacionadas que trabajan para cumplir con el propósito del departamento y los resultados de indicadores. Alineado con este concepto surge la iniciativa de la implementación del área de confiabilidad al proceso de mantenimiento, estableciéndolo así como un objetivo importante para la organización, basado en la mejora continua de sus procesos.

El área de confiabilidad permite definir un orden lógico para el proceso de mantenimiento permitiendo almacenar la información generada durante todo el transcurso del mismo garantizando constantemente la calidad y trazabilidad del trabajo ejecutado en cada uno de los equipos.

El área de confiabilidad es el encargado de los procesos de recolección, aseguramiento de calidad y análisis de información de confiabilidad y mantenimiento, que tiene como fin evaluar los procesos de mantenimiento; facilitando la toma efectiva de decisiones y evaluación del desempeño de cada uno de los sub-procesos del taller.

El área de confiabilidad está alineada con el proceso de mejora continua y es la encargada de proponer y hacer seguimiento a la implementación de mejora, validar la efectividad de cada acción y de esta manera hacer del departamento de mantenimiento un área efectiva, eficiente, dinámica y sostenible en el tiempo con resultados medibles en términos de la disminución de fallas a medida que se estabilizan los costos de mantenimiento.

7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Cuadro 24: Diagrama de Gantt – Cronograma de actividades

ACTIVIDAD	FEB							MAR							ABR							MAY							JUN						
Recolección de información de equipos	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■																																		
Taxonomía de equipos de la flota								■ ■ ■ ■ ■ ■ ■																											
Taller de criticidad de equipos								■ ■ ■ ■ ■ ■ ■																											
Definición de entradas y salidas del proceso de mantenimiento															■ ■ ■ ■ ■ ■ ■																				
Definición de sub-procesos de mantenimiento																						■ ■ ■ ■ ■ ■ ■													
Definir proceso de captura y registro de información																						■ ■ ■ ■ ■ ■ ■													
Definir indicadores de gestión del proceso y sub-procesos																						■ ■ ■ ■ ■ ■ ■													
Estudio financiero																													■ ■ ■ ■ ■ ■ ■						
Elaboración de trabajo escrito.																													■ ■ ■ ■ ■ ■ ■						
Entrega del proyecto.																													■ ■ ■ ■ ■ ■ ■						

Fuente: Autor

8. PRESUPUESTO.

Cuadro 25: Presupuesto

CONCEPTO	PRESUPUESTO
TRABAJO INTELECTUAL DE AUTORES Y DIRECTOR Autoría y dirección	\$12.000.000
Total trabajo intelectual de autores y directores	\$12.000,000
GASTOS GENERALES	
Papelería y útiles varios	\$300,000
Digitalizado e impresiones	\$100,000
Total gastos generales	\$400,000
GASTOS LOGISTICOS	
Gastos informáticos	\$600,000
Libros, documentos y normas	\$150,000
Transporte	\$300,000
Total gastos logísticos	\$1,050,000
OTROS GASTOS E IMPREVISTOS	\$300,000
TOTALES	\$13,750,000

Fuente: Autor

9. CONCLUSIONES

Se aplicó la teoría de mantenimiento vista a lo largo de las diferentes materias de la especialización de gerencia en mantenimiento en pro de diseñar el plan estratégico para la implantación del área de confiabilidad del taller de equipo de soporte de Cerrejón Limited.

La aplicación del trabajo de taxonomía de equipos reveló que el taller de equipo de soporte atiende 36 marcas de equipos divididos en 92 modelos de referencias demostrando la diversidad de la flota y la importancia de generar una estrategia de priorización como estrategia de mantenimiento.

Se diseña la matriz de criticidad del taller de equipo de soporte y se define su uso para priorizar los equipos o evaluar el impacto de cualquier evento que se genere en el taller con el fin de cuantificarlo y tomar decisiones basadas según su impacto.

La clasificación de los equipos por medio del taller de criticidad revela que solo el 8% de los activos del taller son considerados como de alta criticidad y permitió optimizar los recursos y alinear la estrategia de mantenimiento. Con esta clasificación se tiene una mayor comprensión de los riesgos y se disminuye la incertidumbre dentro de la operación; en conclusión, tener definida las prioridades en los equipos permite enfocar los esfuerzos de la compañía en las flotas críticas obteniendo un mejor desempeño.

Se define la implementación de la metodología de malos actores y análisis de Pareto, que permitió identificar los equipos que más órdenes de trabajo correctivo han registrado en un periodo de tiempo determinado y realizar una evaluación detallada de cada uno para definir un plan de acción enfocado en el aumento de la confiabilidad del activo; concluyendo así que la metodología de malos actores es

una herramienta fundamental dentro de la estrategia de mantenimiento del área de confiabilidad para el proceso de mejora continua.

Se establece el análisis de causa raíz RCA como las metodologías sistemática para analizar eventos y fallas crónicas generando un conocimiento basado en la experiencia de las fallas y definiendo estrategias costo efectivas para eliminar o disminuir la frecuencia de aparición de los modos de falla de mayor impacto. En resumen el Análisis RCA es la herramienta sistemática encargada del estudio de las fallas y la evolución del mantenimiento correctivo.

Se define el flujograma de captura de información generada durante el proceso de mantenimiento, la estrategia de captura de la información y la clasificación de las órdenes de trabajo. Reconociendo y resaltando la importancia que tiene la calidad del registro de la información en un proceso de mantenimiento.

Se definen indicadores y frecuencia de seguimiento que midan la gestión de los subprocesos del taller. Los indicadores seleccionados se asignan a un área en específico pero fueron pensados para fomentar el trabajo en equipo del taller, que sin duda alguna es uno de los valores fundamentales en el proceso de mantenimiento.

Se determina la importancia del área de confiabilidad dentro de un proceso de mantenimiento y se demuestra que el área de confiabilidad es el encargado de ordenar el proceso, velar por la calidad de la información, gestionar las acciones de mejora y validar la efectividad de los planes implementados; en conclusión el área de confiabilidad se puede definir como la conciencia del proceso y pieza fundamental en la mejora continua.

BIBLIOGRAFÍA.

ALBARRACÍN AGUILON, Pedro. Mantenimiento Predictivo: Análisis de Aceites. Universidad Industrial de Santander - UIS. Posgrado en Gerencia de Mantenimiento. Cartagena, 2007

GONZÁLES FERNANDEZ, Javier Francisco. Auditoria del mantenimiento e indicadores de gestión. España, Editorial FC, 2004.

GONZÁLEZ FERNÁNDEZ Francisco Javier. Auditoria del mantenimiento e indicadores de gestión, Fund. Confemetal, 2004

GONZALEZ Francisco. Auditoria del mantenimiento e indicadores de gestión, 2004.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION - ISO 14224. Petroleum and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment, 2004.

MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios. 1 ed. Medellín. Editorial AMG, 2005. 306p

MORA GUTIERREZ, Luis A. Costos de mantenimiento UIS Posgrado en Gerencia de Mantenimiento, Agosto 2009.

MOUBRAY John. Mantenimiento centrado en la confiabilidad. Segunda Edición, 1997.

NASA RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE GUIDE for facilities and collateral equipment. September, 2008. (en línea) Disponible en: <http://www.hq.nasa.gov/office/codej/codejx/Assets/Docs/NASARCMGuide.pdf>

NAVARRO ELOLA Luis, PASTOR TEJEDOR Ana Clara y MUGABURU. Jaime Miguel. Gestión integral de mantenimiento. S.A. Marcombo, 1997

NORZOK STANDAR Z- 008. Criticality analysis for maintenance purposes, 2001

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS – SAE 1011. Evaluation Criteria for reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes, 20009.

TURNER, Steve. Análisis Mantenimiento de futuro PM Optimización PMO2000. Australia, Northwestern University - Kellogg School of Management Universidad Chapman.

ANEXOS

Anexo A: Taxonomía de equipos

