



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE  
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

“Implementación de la metodología RCM para los Scooptrams Caterpillar R1600G  
con la finalidad de mejorar la disponibilidad en la empresa Contratistas Mineros y  
Civiles del Perú”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniero Mecánico Electricista

**AUTOR:**

Ávila Rodríguez, Jorge Luis (ORCID: 0000-0002-9312-4752)

**ASESOR:**

Mg. Valderrama Campos, Edwin Ronald (ORCID: 0000-0003-1254-8340)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Sistemas y Planes de Mantenimiento

**TRUJILLO – PERÚ**

**2020**

## DEDICATORIA

Esta investigación va dedicada aquellas personas que estuvieron ahí apoyándome en todo momento, cabe mencionar el nombre de ese ser más importante en mi vida, mi madre **Olinda Rodríguez Mariños**, agradecerle por el apoyo incondicional que me brindo durante todo este proceso.

Agradecer infinitamente el apoyo de mis hermanos (**Carlos Avila Rodríguez y Magaly Avila Rodríguez**), familiares directos, a mi asesor por dedicar su tiempo de ir guiandome para lograr cada objetivo y como también a la plana de docentes de la universidad, por saber inculcar y compartir sus conocimientos, a todos ellos dedico esta tesis.

Jorge Avila

## **AGRADECIMIENTO**

En primera instancia, agradecer a Dios el todo poderoso por su bendición, mostrándome el camino del bien y a la vez por permitirme llegar hasta la etapa final de mi carrera.

A la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO porque en sus aulas forje mi aprendizaje hasta convertirme en un gran profesional.

A la plana de docentes que día a día se esmeran por guiar nuestros pasos a través de las aulas con sus enseñanzas forjadas en la experiencia, gracias a ello formaron nuestro carácter sumando su sabios consejos, enseñanzas y amistad.

Sin dejar atrás a valiosas amistades, personas que fueron parte de cada etapa de mi formación profesional, de las que estaré siempre agradecido por sus sabios consejos, amistad, apoyo incondicional y por sus palabras de aliento en los momentos más difíciles y como recalcar su gran compañía en los buenos momentos que se pudo compartir durante todos estos años de etapa estudiantil.

**Jorge Luis Avila Rodríguez**

## **Página del Jurado**

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo JORGE LUIS AVILA RODRIGUEZ con DNI N° 71055070 dando cumplimiento con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, declaro bajo juramento que toda la documentación que agrego es veraz y legitimo.

De tal manera, declaro bajo juramento que toda la información y datos que se sustenta en la presente tesis son legítimos y veraces.

Por lo tanto, acepto la responsabilidad que conlleve ante cualquier omisión, falsedad u ocultamiento tanto de los documentos como de la información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad Cesar Vallejo.

Trujillo, 14 de Julio del 2019.



.....  
Jorge luis Avila Rodríguez

## **PRESENTACIÓN**

Estimados señores integrantes del jurado calificador , ante ustedes presento la tesis titulada “IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM PARA LOS SCOOPTRAMS CATERPILLAR R1600G CON LA FINALIDAD DE MEJORAR LA DISPONIBILIDAD EN LA EMPRESA CONTRATISTAS MINEROS Y CIVILES DEL PERÚ”

Esta tesis se desarrollo con el proposito de mejorar la disponibilidad de los scooptrams R1600G en la empresa CONMICIV – UNIDAD MINERA CONSORCIO MINERO HORIZONTE, de tal manera esta relacionado al cumplimiento de grados y títulos de la universidad Cesar Vallejo, para optar el título de ingeniero mecánico eléctrico.

Esperando poder cumplir con las condiciones y requisitos necesarios de aprobación.

**Jorge Luis Avila Rodríguez**

# Índice

Carátula .....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Página del Jurado.....	iv
Declaratoria de autenticidad.....	v
Presentación.....	vi
Índice .....	vii
Índice de figuras.....	ix
Índice de tablas.....	x
Resumen .....	xi
Abstract .....	xii
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Realidad Problemática.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Antecedentes .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Teorías relacionadas al tema .....</b>	<b>12</b>
<b>1.3.1 Mantenimiento .....</b>	<b>12</b>
<b>1.3.2 El proceso del mantenimiento.....</b>	<b>12</b>
<b>1.3.3 Actividades del mantenimiento .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3.4 Principal objetivo del mantenimiento .....</b>	<b>16</b>
<b>1.3.5 Tipos de mantenimiento .....</b>	<b>16</b>
<b>1.3.6 Evolución del mantenimiento centrado en la confiabilidad .....</b>	<b>20</b>
<b>1.3.7 Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) .....</b>	<b>25</b>
<b>1.4 Formulación del problema.....</b>	<b>46</b>
<b>1.5 Justificación del estudio .....</b>	<b>46</b>
<b>1.6 Hipótesis. ....</b>	<b>47</b>
<b>1.7 Objetivos.....</b>	<b>47</b>
<b>II. MÉTODO .....</b>	<b>48</b>
<b>2.1. Tipo y diseño de la investigación. ....</b>	<b>48</b>
<b>2.2. Operacionalización de variables. ....</b>	<b>48</b>
<b>2.3. Población y muestra.....</b>	<b>49</b>
<b>2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad. ....</b>	<b>50</b>
<b>2.5. Procedimiento. ....</b>	<b>51</b>

2.6.	Métodos de análisis de datos: .....	52
2.7.	Aspectos éticos: .....	52
III.	RESULTADOS .....	53
IV.	DISCUSIÓN .....	106
V.	CONCLUSIONES .....	108
VI.	RECOMENDACIONES.....	110
	REFERENCIAS .....	111
	ANEXOS.....	113



## Índice de Figuras

<b>Figura 1:</b> Un caso de reducción de costos.....	12
<b>Figura 2:</b> Proceso de mantenimiento.....	13
<b>Figura 3:</b> Actividades de mantenimiento.....	15
<b>Figura 4:</b> Nuevas expectativas de mantenimiento.....	24
<b>Figura 5:</b> Nuevas investigaciones de mantenimiento.....	24
<b>Figura 6:</b> Cambios en las técnicas de mantenimiento.....	25
<b>Figura7:</b> Las 7 preguntas claves del RCM. ....	28
<b>Figura 8:</b> Procedimiento para la implantación de RCM. ....	29
<b>Figura 9:</b> Conformación de un verdadero equipo de trabajo. ....	30
<b>Figura 10:</b> Matriz para encontrar el nivel de criticidad. ....	33
<b>Figura 11:</b> Una manera de desarrollar el contexto operacional. ....	33
<b>Figura 12:</b> Arbol de consecuencias de los modos de falla según su categoría. ....	37
<b>Figura 13:</b> Arbol lógico de toma de decisiones.....	38
<b>Figura 14:</b> Evaluación del número de riesgo. ....	40
<b>Figura 15:</b> Prioridad de riesgo.....	40
<b>Figura 16:</b> Frecuencia de fallas de los scooptrams R1600G en porcentajes. ....	56
<b>Figura 17:</b> Frecuencia de las fallas por sistema del scooptrams SCA-141. ....	57
<b>Figura 18:</b> Representación de tiempos de parada del scoop en horas y porcentaje. ....	58
<b>Figura 19:</b> Clasificación de fallas según el subsistema del equipo.....	59
<b>Figura 20:</b> Representación de los tiempos de inoperatividad del SCA-160.....	60
<b>Figura 21:</b> Indicadores de mantenimiento(disponibilidad y utilización).....	61
<b>Figura 22:</b> Organigrama del personal de mantenimiento CONMICIV.....	76
<b>Figura 23:</b> Carguio de volquete atraves de un scoptrams. ....	79
<b>Figura 24:</b> Clasificación de los subsistemas del scooptrams R1600G. ....	80
<b>Figura 25:</b> Partes del scooptrams R1600G.....	81
<b>Figura 26:</b> Identificación de se subsistemas y partes del scooptrams R1600G.....	81
<b>Figura 27:</b> Disponibilidad después de la implantación del RCM.....	92
<b>Figura 28:</b> Desarrollo de horas de capacitación en la ecuelita CONMICIV.....	99

## Índice de tablas

<b>Tabla 1:</b> Cantidad de equipos de la empresa CONMICIV .....	2
<b>Tabla 2:</b> Nivel de severidad, escala. ....	41
<b>Tabla 3:</b> Nivel de ocurrencia.....	42
<b>Tabla 4:</b> Nivel de detectabilidad. ....	43
<b>Tabla 5:</b> Operacionalización de variables. ....	49
<b>Tabla 6:</b> Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	50
<b>Tabla 7:</b> Flota de scooptrams de la empresa CONMICIV.....	54
<b>Tabla 8:</b> Fallas en porcentaje de los scooptrams.....	55
<b>Tabla 9:</b> Fallas del equipo por sistema.....	56
<b>Tabla 10:</b> Tiempo de parada en horas y porcentaje de acuerdo al sistema del scoop. ....	57
<b>Tabla 11:</b> Frecuencia de fallas del SCA-160.....	58
<b>Tabla 12:</b> Inoperatividad del SCA-160, contabilizado en horas.....	59
<b>Tabla 13:</b> FMEA para scooptrams, subsistema hidráulico.....	65
<b>Tabla 14:</b> Tabla modos y efectos de falla, posibles soluciones del subsistema Hidráulico. 67	
<b>Tabla 15:</b> FMEA análisis de modo y efecto de falla, para subsistema motor scooptrams R1600G. ....	69
<b>Tabla 16:</b> Análisis de modos y efectos de falla, y posibles soluciones subsistema motor, Scooptrams R1600G.....	70
<b>Tabla 17:</b> Análisis de modos y efectos de falla, subsistema eléctrico scooptram R1600G. 72	
<b>Tabla 18:</b> Análisis de modos y efectos de falla y posibles soluciones subsistema eléctrico Scooptrams R1600G.....	73
<b>Tabla 19:</b> Formación del equipo de trabajo. ....	75
<b>Tabla 20:</b> Creación y división de las áreas de trabajo. ....	77
<b>Tabla 21:</b> Componentes de los subsistemas. ....	82
<b>Tabla 22:</b> Criterios para la implantación del RCM. ....	84
<b>Tabla 23:</b> Jerarquización de subsistemas.....	85
<b>Tabla 24:</b> Jerarquización de componentes. ....	87
<b>Tabla 25:</b> Matriz de jerarquización de componentes. ....	89
<b>Tabla 26:</b> Frecuencia de mantenimiento preventivo. ....	91
<b>Tabla 27:</b> Comparación de antes y después de los indicadores de mantenimiento.....	94
<b>Tabla 28:</b> Temas de capacitación, expositores y fechas de sustentación. ....	97
<b>Tabla 29:</b> Filtros, insumos para ejecución de mantenimiento preventivo de 250 horas... 100	
<b>Tabla 30:</b> Filtros, insumos para ejecución de mantenimiento preventivo 500 horas..... 101	
<b>Tabla 31:</b> Filtros, insumos para ejecución de mantenimiento preventivo 1000 horas. .... 102	
<b>Tabla 32:</b> Filtros, insumos para ejecución de mantenimiento preventivo 2000 horas. .... 103	
<b>Tabla 33:</b> Capacidad de llenado de aceite de los diferentes sistemas del Scoop. ....	104
<b>Tabla 34:</b> Balance económico antes de la implementación de la metodología RCM. .... 105	
<b>Tabla 35:</b> Balance económico después de la implementación de la metodología RCM. .. 105	

## RESUMEN

La presente tesis profesional tiene un planteo como objetivo principal realizar la “IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM PARA LOS SCOOPTRAMS CATERPILLAR R1600G CON LA FINALIDAD DE MEJORAR LA DISPONIBILIDAD EN LA EMPRESA CONTRATISTAS MINEROS Y CIVILES DEL PERÚ”, esta investigación se desarrolló en la unidad minera consorcio minero horizonte, con la finalidad de obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico Eléctrico.

La finalidad que esta investigación propone un soporte a una nueva gestión de mantenimiento con la metodología RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad). La metodología RCM, mantenimiento centrado en la confiabilidad, es una táctica para establecer un nuevo sistema de gestión, este proceso nos permite determinar las faenas de aplicación en el mantenimiento que se puede adecuar a cualquier activo físico.

Primero se logra obtener una data de las fallas que presento el equipo, luego se determina la frecuencia y clasificación de fallas para cada subsistema. Se realiza el análisis de modos y efectos de falla con las cartillas de FMEA y se calcula la disponibilidad antes de la implantación de la metodología RCM.

Se implantó la metodología RCM para los scooptrams, empezando por armar un equipo de trabajo, identificando el contexto operacional, realizando una jerarquización de subsistemas y componentes y evaluando su estado con la matriz de acuerdo a los criterios determinados conjuntamente con el equipo de trabajo. Luego se realiza nuevamente el cálculo de la disponibilidad obteniendo grandes resultados, aumentando la utilización y reduciendo el MTTR.

Por último, se realizó el proyecto de capacitación denominado escuelita CONMICIV, logrando capacitar a los técnicos con temas relevantes relacionados a los parámetros de funcionamiento, nuevas técnicas para la ejecución de mantenimiento preventivo y correctivo, temas de seguridad y medio ambiente. También se logró administrar los componentes e insumos para cada mantenimiento preventivo mediante las cartillas de administración.

**Palabras claves:** Disponibilidad, confiabilidad, utilización, scooptrams , gestión de activos.

## ABSTRACT

The present professional thesis has a proposal as main objective carried out the “IMPLEMENTATION OF THE RCM METODOLOGY FOR THE CATERPILLAR R1600G SCOOPTRAMS WITH THE PURPOSE OF IMPROVING THE AVAILABILITY IN THE COMPANY MINING AND CIVILIAN CONTRACTORS OF PERU”, this research was developed in the mining Consortium Mining Horizon, in order to obtain the professional title of Electrical Mechanical Engineer.

The purpose of this research is to support a new maintenance management with the RCM (Reliability Centered Maintenance) methodology. The RCM methodology, maintenance focused on reliability, this is a tactic to establish a new management system, this process allows us to determine the tasks of the application in maintenance that can be adapted to any physical asset.

First, you can obtain information about the faults that the equipment presses, then determine the frequency and classification of faults for each subsystem. The analysis of the modes and the effects of the failure with the FMEA cards is carried out and the availability is calculated before the implementation of the RCM methodology.

The RCM methodology was implemented for the employers, starting with a work team, identifying the operational context, making a hierarchy of subsystems and components and evaluating their status with the matrix according to the results with the work team. Then the calculation of the availability is again obtained obtaining great results, increasing the utilization and reducing the MTTR.

Finally, we will see how the training project with escort CONMICIV works, managing to train technicians with topics related to the operating parameters, new techniques for the execution of preventive, corrective maintenance, safety and environmental issues. The components and supplies for each preventive maintenance can also be administered through the administration books.

**Keywords:** Availability, reliability, utilization, scooptrams, asset management.

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Realidad Problemática**

Hoy en día en el mundo, el sector de minería ha crecido considerablemente, por lo cual para poder explotar estos recursos minerales se necesita de máquinas sofisticadas y bien diseñadas que hagan el rol de perforación, transporte, carga y descarga de minerales, el Perú es uno de los países que hoy está pasando por un buen momento siendo considerado como el primer país en América Latina en la producción (oro, zinc, estaño, telurio, plomo y bismuto), también es considerado como el segundo productor de plata y cobre a nivel mundial, tercero en estaño y en caso del oro se ubica en sexto lugar. (DAMMERT, y otros, 2007)

En la actualidad existen muchas compañías mineras en el Perú, de las cuales se clasifican según su método de explotación que puede ser minería superficial (a tajo abierto) y minería subterránea (socavón), las cuales ejecutan funciones de exploración y explotación de recursos minerales, para luego convertirlos en elementos que son útiles para la sociedad, tal es el caso de la compañía minera Consorcio Minero Horizonte S.A. situada en Retamas, distrito Parcoy, provincia Pataz, departamento La Libertad, es una empresa de inversionistas peruanos, que se encarga del rastreo, explotación y extracción de minerales (oro), hoy en día produce 190 mil onzas de oro por año, por lo cual está considerada como una de las empresas mineras auríferas subterráneas más importantes a nivel del país y catalogada como la quinta en el sector minero.

Con el pasar de los años la minería empezó a emplear en su proceso un nuevo método para la perforación, acarreo, carga y descarga de mineral, implementando la tecnología y mecanización para una mejor productividad y rentabilidad, de tal manera CMH empezó a contratar a terceros que cuenten con maquinaria (equipos trackless) entre ellos figuran los scooptrams, aumentando así, su producción y de tal manera desligándose de designar un presupuesto para el área de mantenimiento.

La empresa contratistas mineros y civiles del Perú, es una empresa, como su nombre lo indica, que cuenta con diferentes equipos trackless, de los cuales 7 son jumbos, 3 empernadores, 8 scooptrams, 3 robot lanzador y 2 mixer.

**Tabla 1:** Cantidad de equipos de la empresa CONMICIV

EQUIPOS	ÍTEM	CÓDIGO INTERNO	FAMILIA	MARCA	MODELO	AÑO DE FABRICACIÓN
JUMBOS	1	JUA-27	JUMBO	SANDVIK	DD-311	2013
	2	JUA- 35	JUMBO	SANDVIK	QUASAR	2008
	3	JUA- 37	EMPERNADOR	SANDVIK	DS-311	2014
	4	JUA- 44	EMPERNADOR	SANDVIK	ROBOLT 05	2006
	5	JUA-54	JUMBO	SANDVIK	DD-210	2015
	6	JUA-56	EMPERNADOR	SANDVIK	DS-311	2016
	7	JUA-60	JUMBO	SANDVIK	DS-311	2016
	8	JUA-67	JUMBO	RESEMIN	MUKI FRON FACE	2016
	9	JUA-71	JUMBO	SANDVIK	DD-311	2016
	10	JUA-76	JUMBO	SANDVIK	DD-311	2018
SCOOPTRAMS	11	SCA- 118	SCOOPTRAM	CATERPILLAR	R1300G	2011
	12	SCA- 135	SCOOPTRAM	CATERPILLAR	R1300G	2010
	13	SCA- 141	SCOOPTRAM	CATERPILLAR	R1600G	2013
	14	SCA-151	SCOOPTRAM	CATERPILLAR	R1300G	2012
	15	SCA-154	SCOOPTRAM	CATERPILLAR	R1600H	2016
	16	SCA-158	SCOOPTRAM	CATERPILLAR	R1300G	2016
	17	SCA-160	SCOOPTRAM	CATERPILLAR	R1600G	2013
	18	SCA-163	SCOOPTRAM	CATERPILLAR	R1300G	2016
ROBOT LANZADOR	19	LCA-14	ROBOT LANZADOR	-	INVECTOR	2015
	20	LCA-16	ROBOT LANZADOR	-	ALPHA 20	2013
	21	LCA-24	ROBOT LANZADOR	-	ALPHA 20	2018
MIXER	22	MXA-32	MIXER	M&C MACHINERY	MX-4	2016
	23	MXA-38	MIXER	M&C MACHINERY	MX-4	2016

**Fuente:** *Elaboración propia del autor.*

Actualmente la política de la empresa se basa en la mejora continua de la producción y avance, dejando de lado la estructuración de una política de mantenimiento dedicada netamente a los equipos.

Los equipos adquiridos de la empresa en su gran mayoría, son máquinas que ya han pasado por una reparación general (overhaul) y pocos equipos son nuevos, por lo que en el transcurso de su operación presentan fallas imprevistas.

La empresa carece de personal técnico capacitado, esto conlleva que cuando se presentan problemas críticos en los equipos, no se pueda dar una solución inmediata.

En la actualidad la empresa no cuenta con un taller bien implementado, carece de herramientas adecuadas, por lo tanto, es muy complejo desarrollar las labores técnicas con normalidad.

Por la distancia, ubicación y despreocupación por parte de gerencia en las operaciones de la empresa, hace que en el área de logística carezca del stock de repuestos necesarios, que ayuden dar una solución inmediata ante los percances que se presentan. En la empresa no existe la integración de las áreas, gerencia, logística, operaciones y mantenimiento, esto repercute a una despreocupación total de los equipos, a lo que conlleva a una explotación y descuido de dichas máquinas.

El personal técnico tiene poco interés, no está involucrado con el área de mantenimiento, no hay motivación de liderazgo, no rellenan los check list de mantenimiento.

## **1.2 Antecedentes.**

En un trabajo de tesis, el autor (GAMEZ, 2017) realizó un estudio basado en un sistema de gestión de mantenimiento refiriéndose en la criticidad y AMEF de equipos en minería subterránea en la empresa minera MARSÁ S.A. para aumentar la disponibilidad, por lo tanto, en su tesis sustenta lo siguiente.

Pudo determinar nuevos parámetros e indicadores de mantenimiento, obteniendo datos reales de acuerdo a porcentajes favorables en lo que es mantenibilidad, confiabilidad, disponibilidad y costos por tipo de mantenimiento.

También nos menciona de medición de parámetros de los equipos en campo, pero no específica que tipos de parámetros y que instrumentos utilizó, así que en mi tesis sustentaré que parámetros se requiere medir y que instrumentos se utilizará. Con estos datos y estandarización de dichos parámetros, se puede lograr una mejor optimización de la flota, aumentando la disponibilidad.

Mediante la partición de criticidad pudo determinar el estado de los activos, para posteriormente implantar el moderno sistema de gestión de mantenimiento. A decir verdad, para poder implantar un nuevo sistema de gestión de mantenimiento siempre se debe de partir después realizado un análisis previo de que tan críticos pueden estar los equipos, y más aún si no existe un historial de cada activo.

Mediante la implementación de AMEF, pudo determinar la causa efecto de donde se genera la falla, la cual se optó por una medida y aplicación de mantenimiento preventivo y mantenimiento predictivo de los equipos. Lo que yo buscaría mejorar, es la mantenibilidad de los equipos y esto se logra realizando un estudio de las condiciones de operación, para luego implantar nuevas estrategias de mantenimiento.

Implantó una nueva política de mantenimiento con el fin buscar mejoras continuas en su área. Siempre es muy importante practicar y hacer cumplir las políticas de mantenimiento, ya que esto nos permite implantar costumbres favorables para quienes los ejecutan.

En la tesis de (VÁZQUES, 2016) elaboró un sistema de gestión de mantenimiento basado en el riesgo para potenciar la confiabilidad de maquinaria pesada, por lo que determinó lo siguiente.

Mediante el análisis de criticidad de los equipos, aplicando los 5 principios de evaluación que vienen hacer los siguientes, frecuencia de evaluación, colisión de operación, tolerancia de operación, seguridad y medio ambiente y costos del mantenimiento, determinó que 8 máquinas entre cargadores frontales, excavadoras y volquetes, son los activos que generan más pérdidas en comparación con los costos de producción.

Antes de implementar un sistema de gestión de mantenimiento, siempre es muy importante realizar un análisis de criticidad de cada equipo para así determinar qué equipo es el que tendrá más deficiencias (paradas, fallos), durante su operación, este análisis se debió tratar más detallado evaluando desde la perspectiva de que equipo me generará más gastos según su condición crítica, de tal manera evaluar los costos que tendré que usar para levantar las observaciones de la flota, este estudio lo are más relevante durante el transcurso del desarrollo de mi tesis.

También determinó mediante el índice de riesgo, fundamentándose en la gravedad, ocurrencia y detección de la avería, encontró 133 fallas de las cuales 59 fueron inaceptables, 23 reducibles y 51 aceptables. En los equipos no puede existir fallas aceptables, ya que, si un equipo no tiene un 100% de confiabilidad, está predestinado que en cualquier momento pueda fallar, lo que nos ocasionará pérdidas y paradas imprevistas.

La proyección del nuevo sistema de gestión de mantenimiento justificado en el riesgo, estimó cada una de las 59 fallas inadmisibles, mediante fichas técnicas de información, aplicando las interrogantes del AMEF, obteniendo soluciones preventivas para cada falla imprevista. Con las interrogantes del AMEF se logra implementar nuevos métodos de información, que no solo son fichas, si no también es posible implementar un software, donde nos indique con datos reales nuestros indicadores de la gestión que sería DISPONIBILIDAD, CONFIABILIDAD y LA MANTENIBILIDAD. Pero esto se puede tratar con más intensidad cuando hagamos una gestión basado en RCM, es más complejo sí, pero es más sofisticado.



En la tesis realizada por (GRANADOS, 2015), desarrolló un estudio en gestión de la disponibilidad de equipos para la explotación subterránea mejorada en minería TECNOMIN DATA EIRL UNIDAD CERRO LINDO. En su tesis trata de hacer llegar al lector lo siguiente.

Que la envergadura de la gestión de mantenimiento de activos garantiza una mejor eficiencia productiva en minería, que convoca a diversos grupos de supervisión con la finalidad de encontrar una mejor eficiencia y disponibilidad, logrando así un incremento de disponibilidad de 3.55% para jumbos (frontoneros y de sostenimiento), 3.42% para scooptrams y 3.79% para volquetes en minería.

Granados manifiesta que para implementar un reciente sistema de gestión de mantenimiento se basa en análisis y práctica de mantenimiento tradicional, ver cómo es que se están desarrollando para luego buscar mejoras, y de tal manera poder implantar una nueva política de mantenimiento donde se busca mejorar la confiabilidad, y para ello es importante utilizar nuevas estrategias, métodos y herramientas para una gestión fructífera.

También manifiesta que la gestión de mantenimiento de activos no solo se basa en solucionar averías de los activos, sino que también trata la investigación de la raíz de la falla, la gestión de los requerimientos que son necesarios, las inferencias de las posibles averías utilizando y manipulando la información de los reportes Inter-diarios, mensuales y anuales. Lo cual acredita la disponibilidad obtenida cuyo indicador también es el índice de la disponibilidad planificada.

La metodología de la gestión de activos es evaluar las prácticas de mantenimiento tradicional con la finalidad de encontrar la solución para la ceñida relación de número de activos, con el volumen de producción planificada, donde consecuentemente busca nuevos vectores organizacionales en la empresa estén estandarizados con la visión y misión de la organización minera.

En la investigación que realizó (RIVERA, 2015) acerca de un estudio y el desarrollo de un prototipo de toma de determinaciones de mantenimiento, para evaluar impactos de disponibilidad, mantenibilidad, confiabilidad y costos, en la tesis hace mención lo siguiente.

Que es muy importante ingresar la información a los sistemas oficiales de registro de fallas, en la tesis detalla que efectivamente logró ingresar datos reales de las fallas de los activos al sistema de superintendencia donde se desarrolló el estudio para cada falla, se envió reportes a los interesados de cada área correspondiente con registros bien detallados.

Complementariamente las nuevas prácticas de gestión de desempeño internas, se alcanzó a los trabajadores de superintendencia con la finalidad que formaran parte de las metas anuales, que se enfocaron netamente al área de mantenimiento.

Obtener una data actual y confiable que permita realizar el análisis de ella.

Obtener un modelo que, a través de una función objetiva, sea capaz de evaluar los KPI de interés.

El motivo que conllevó a realizar este estudio fue el interés de poder determinar las mejores decisiones para el mantenimiento de equipos, ya que no existía una metodología que permita evaluar el pre y el post de los efectos sobre los indicadores de interés.

También logró desarrollar un software donde contenía los algoritmos claves para dar mayor importancia a la gestión de los equipos móviles.

También logró descartar la posibilidad de propuestas para algún acontecimiento de falla, por un modelo que permita evaluar diferentes escenarios, y de tal manera lograr mejoras continuas en el área.

También logró medir la gestión de una cantidad determinada de tomadores de decisiones de mantenimiento a través de la post evaluación de mejoras en el área, cuando ellas ya se habían ejecutado.

En la investigación de (CARDENAS, 2011) realizó un diseño que consistió en crear un plan de mantenimiento basado en RCM, para los diferentes equipos y vehículos de DINACOL SA.

Su trabajo, consiste específicamente en el diseño de un plan mantenimiento basado en RCM, para los equipos y vehículos de DINACOL S.A, con la finalidad de optimizar la operatividad y eficiencia de dichos activos; este estudio se realizó en base al análisis de modos de falla, de los diferentes sistemas mecánicos, electromecánicos y electrónicos.

Últimamente informa que la empresa en los últimos meses logró un desarrollo significativo, por lo cual lo permite proyectarse al siguiente año para la construcción y montaje de nuevas estructuras y equipos, por ese motivo los equipos juegan un papel importante dentro del proceso, por lo que fue necesario desarrollar los planes de mantenimiento proyectados bajo un riguroso cumplimiento permitiendo estar a su completa disposición de ellos cuando se requería, cuidando de la probidad de las personas y medio ambiente.

A pesar que los equipos de DINACOL SA tenían un plan de mantenimiento, no cumplía con las tareas que generaban la confiabilidad de los equipos, lo que conllevó que los equipos presenten fallas en su condición de nuevos, por tal motivo fue emergente realizar un nuevo plan de mantenimiento preventivo total, que garantice la confiabilidad, la disponibilidad y la prolongación de la vida útil de todos los equipos, basado a la nueva metodología de mantenimiento implementado. Se logró precisamente de una u otra manera garantizar los aspectos llevando a cabo programas rigurosos de mantenimiento con índices altos de ejecución procurando cero fallas.

La implementación del nuevo sistema de gestión de mantenimiento posibilitó identificar todas aquellas averías que se pudieron presentar en el transcurso de las operaciones, logrando así la intervención y solución del problema antes de que ocurriera la falla.

Por último, dedujo y descubrió la falla más crítica, donde aplico este nuevo sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) que permitió reducir costos de operación, lo cual fue muy beneficioso para lograr los objetivos de la empresa y que pueda proyectarse para un mejor futuro.

En una tesis de (GARCIA, 2006) ejecutó un estudio basado en la evaluación y planteamiento de mejoras en la gestión de mantenimiento del taller de vehículos en mina (MMC), mantenimiento centrado en la confiabilidad, minera loma de níquel, por lo que pudo sustentar lo siguiente.

Es muy importante que las empresas se comprometan al mejoramiento continuo y aún más, el tipo de empresas que extrae recursos naturales, cualquiera sea la materia prima a extraer (oro, plata, zinc, cobre, níquel, etc), debido al impacto ecológico y ambiental que se ocasiona al medio ambiente, de alguna u otra manera, para lograr producir un desarrollo sostenible, manteniendo las emisiones por debajo de lo permitido ya que al fin y al cabo somos nosotros, los seres vivos en general, los que seguiremos en este planeta tierra, el planteó un nuevo plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad que abarca también en una gestión que agrupa la seguridad y cuidado del medio ambiente.

También informa los resultados arrojados desde la práctica del nuevo plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, dice que logró ingresar en su módulo de mantenimiento, el cual estará en capacidad de generar, administrar y controlar las órdenes de las distintas actividades de mantenimiento preventivo, las cuales se podrán optimizar con la implantación del mantenimiento predictivo, ya que con ello, se podrá asegurar una planificación más detallada a la realidad del taller de mantenimiento mina.

En su tesis sustena lo siguiente que en la empresa no se tienen todos los manuales técnicos o la información detallada de los equipos y si los tiene, algunos no están traducidos al español, esto implica una gran dificultad ya que no todos los técnicos encargados de ejecutar las labores conocen por completo los equipos y no comprenden el idioma para traducir dichos manuales. Por lo tanto el logró recopilar la mayoría de manuales de todos los equipos, como también logró traducir y preparar el material en el idioma para facilitar la información para el personal técnico.

La falta de un hábito para anotar la información de las averías, es una de las murallas iniciales que se deben superar para poder contar con información útil, y así eliminar

las causas profundas de los dilemas de los equipos. Y así preparar al personal que este capacitado y puedan llenar bien la base de datos cuando se presente una avería y así poder contar con un historial de cada equipo.

Informa también que con el análisis de confiabilidad se observa que uno de los aspectos más importantes a conocer es el comportamiento del equipo (Con respecto a las fallas que éste pueda presentar y sus intervalos de falla), con el firme propósito de seleccionar el modelo matemático que más se adapte para obtener los resultados que sean lo más confiable posible.

La confiabilidad es una probabilidad que se calcula en base a datos obtenidos de fallas anteriores o historial del activo, por tal motivo para hallar su valor se tuvo que presentar una falla de todos los sistemas del equipos y haber registrado los tiempos de funcionamiento de cada componente. Por lo tanto se debe considerar que el principal interés reside en prever la vida útil del activo, para poder calcular todo lo mencionado es la estadística.

También se refiere y resalta el tema de la seguridad dice que es muy importante en el ámbito laboral y se proyecta hacia las contratistas, las familias de los trabajadores y las comunidades que se encuentran alrededor de las operaciones de la empresa. Los incidentes y accidentes son la responsabilidad de cada persona que forma parte del gran equipo de trabajo diario y que debe estar unificada para cada tarea que se realiza.

El cumplimiento de las Normas y protocolos de Seguridad es responsabilidad de todos, así como el reporte de condiciones subestándares, la utilización de epps como lentes, overol, casco, protección auditiva y botas de seguridad.

La investigación de incidentes y accidentes es importante para emitir informes, conclusiones, recomendaciones y hacer seguimientos.

En el artículo sustentado por (ELLMANN, 1958) nos brinda un enfoque de costo-beneficio de la implantación de RCM 2, mantenimiento centrado en confiabilidad, en donde, el autor sustenta lo siguiente.

### **Una manera de como calcular el costo beneficio:**

Las ecuaciones de costo-beneficio está presente en todas las decisiones que se puede tomar en la conducción de una empresa.

Las actividades de la Ingeniería nos permiten una evaluación viable con respecto a los resultados que son medibles, por consecuencia de una excelente gestión de mantenimiento. Así como cuando se logra introducir la programación concreta de la productividad de los recursos humanos, y la medición de volúmenes (toneladas, metros, litros o unidades) producto por la medición hora hombre es simple. Si esta relación es correcta y coherentemente medido a lo largo del tiempo, se puede afirmar sin duda alguna que un proyecto es exitoso en productividad, o esta en aumento en un X% con respecto a la programación antes implantada.

Sin embargo no es fácil, cuando deseamos medir en proporción de las mejoras de calidad o de servicio al cliente. Sin embargo, es dominante hacerlo.

### **Medición de reformas en el mantenimiento:**

¿Cómo evaluamos los beneficios de programas de reforma del mantenimiento? El autor nos brinda un realce de acuerdo a su impresionante cantidad de años de experiencia en la industria alrededor del mundo.

Informa que la medición del tiempo de máquina (o activo) disponible, no siempre arroja un índice característico. En algunos de los casos, una disponibilidad del 95% de una máquina puede ser ínfimo que la disponibilidad del 75% de otra. Esto evidentemente está dado en relación diferente, que hacen que una pérdida en la productividad por causa de una falla menor que el 5% en un activo, puede tener una derivación económica de más alto índice que el paro del 25% de otro activo.

## **Mantenimiento como núcleo de interés**

Lo primero que debemos entender definitivamente es que no se busca reducir el costo de mantenimiento, sino incrementar la rentabilidad de la inversión de la empresa a través de mejoras substanciales del mantenimiento.

Cuando se trabaja con un modelo bien estructurado de mantenimiento centrado en confiabilidad, como es el caso del RCM 2, es más factible detectar todas las fuentes de costos a consecuencia de fallos.

Verifiquemos sintéticamente los “tipos” de consecuencias que investiga el RCM 2: Siempre es importante considerar los fallos ocultos, que en un futuro aparecerán y que serán altamente graves y que no son consecuencia de la operación. Claro ejemplo son los fallos que traen drásticas consecuencias en la seguridad y medio ambiente. Los fallos por operación afectan directamente en la producción, calidad, asistencia al cliente y costos.

Ejemplo: para ejecutar un mantenimiento preventivo se necesitaba la sustitución de una pieza cada seis meses. Esta faena se ejecuta en dos horas de trabajo que tiene un valor de \$ 40 /hora y un componente que cuesta \$ 180. En conclusión cada vez que se ejecuta la tarea, el costo real es de \$ 260, y como se realiza dos veces por año, el costo anual de este preventivo es de \$ 520. El mantenimiento predictivo el cual se propone implantar, permite esperar un MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas) de nueve meses. Por consecuencia el reemplazo a condición para que aparezca el fallo potencial, ocurrirá en un promedio de 1,5 veces por año. El valor del reemplazo sería idéntico por vez, ya que necesitará la misma mano de obra y el mismo repuesto. Para ese entonces el costo anual será de  $1,5 \times 260 = 390$ , o sea 130/año menos que antes. Un moderado ahorro, pero es uno de los cuantiosas economías que se puede aplicar.

<b>ANTES: Preventivo, dos veces/año</b>			
Mano de obra	2hs x \$40.-/h =	\$ 80.-	
Repuesto			\$180.-
TOTAL por vez			\$260.-
TOTAL / año	(dos veces)	\$520.-	\$520.-
<b>NUEVO: Predictivo (MTBF 8 meses)</b>			
Verificación cada tres meses:			
Mano de Obra, operario presente			
Reparación "A CONDICIÓN"		\$260.- (id. prevent.)	
TOTAL por año ( x 1,5)		\$390.-	\$390.-
<b>AHORRO por pasar de preventivo a predictivo,</b>			<b>\$130.-/año</b>
Notar que se omitieron otros costos que son idénticos para ambas alternativas			
© Enrique Ellmann			

**Figura 1:** *Un caso de reducción de costos. Fuente: (Cost-beneficio de la implantación de RCM 2, mantenimiento centrado en la confiabilidad., s.f.)*

### 1.3 Teorías relacionadas al tema

#### 1.3.1 Mantenimiento:

Se define por mantenimiento al conjunto de tareas y técnicas, destinado para la conservación de activos físicos e instalaciones industriales que están en funcionamiento, al mayor tiempo posible explorando la más elevada disponibilidad de los activos (equipos) y con un máximo rendimiento a un menor costo. (GARCÍA, 2009)

#### 1.3.2 El proceso del mantenimiento:

Todos los gestores de mantenimiento por muchas razones quieren que los activos permanezcan en estado operativo durante el mayor tiempo posible, y para lograrlo es necesario ejercer las tareas apropiadas. Estas tareas pueden ser exigidas por los fabricantes de los activos. A pesar de ello no se puede evitar que los activos en algún momento dejen de funcionar, a raíz de ahí, es indispensable realizar otras faenas para recuperar su funcionamiento. Esto conlleva al mantenimiento que abarca todas las tareas para recuperar el estado óptimo de operación de los activos. Entonces el proceso que tiene la capacidad de que un sistema realice sus funciones, se llama proceso de mantenimiento (KNEZEVIC, 1996).

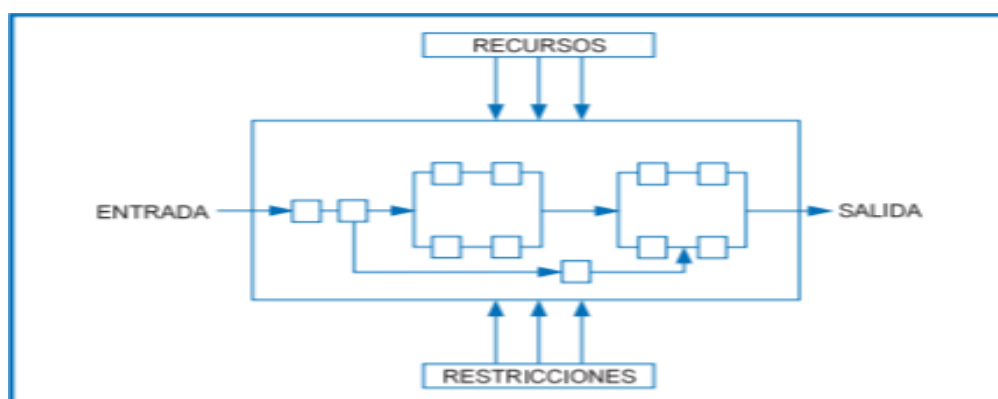
Por tanto, el ingreso para el proceso de mantenimiento está formada por el



funcionamiento de un sistema implantado por una persona, mientras que la salida del proceso consiste en el funcionamiento óptimo del activo, como se puede ver en la **Figura 2**.

Tareas realizadas durante el proceso de mantenimiento.

1. Expansión de la vida útil de los sistemas, reduciendo el cambio por condición. Ejemplo (calibración, lubricación, lavado, ajustes, limpieza, etc.)
2. Reducción de fallos, brindando garantía con la fiabilidad y seguridad del activo. Para ello se realiza diferentes actividades como: pruebas y ajustes, inspección, detección.
3. Contribuir al coste – eficacia al proceso de operaciones, mediante una tasa óptima de consumo de elementos de alta rotación, insumos como lubricantes, combustibles, etc.
4. Las tareas de mantenimiento que sirve para poder recuperar el funcionamiento del activo, esta actividad comprende en: reparación, sustitución o remplazo, modificación, renovación, etc. (KNEZEVIC, 1996)



**Figura 2:** *Proceso de mantenimiento. Fuente: (KNEZEVIC, 1996).*

Recursos que nos ayudan o facilitan el proceso de mantenimiento.

- A. Abastecimiento o stock:** esto se refiere a un suministro de repuestos, elementos de alta rotación, repuestos especiales, insumos. Para llevar un control y ayudar a la gestión de mantenimiento debe ir inventariado. (KNEZEVIC, 1996)

- B. Instrumentos de prueba:** son las herramientas, equipos especiales, instrumentos de medición de parámetros, herramientas de calibración, estos instrumentos ayudan a las tareas de mantenimiento. (KNEZEVIC, 1996)
- C. Personal:** se debe considerar el personal de acuerdo a cada tarea de mantenimiento, y contar con un organigrama según el cargo del personal. (KNEZEVIC, 1996)
- D. Datos técnicos:** para realizar las funciones de mantenimiento, es necesario contar con manuales de cada activo, donde este escrito instrucciones, parámetros de funcionamiento, mantenimiento, manual de partes de cada activo, planos y procedimientos de inspección. Estos datos no solo se refieren al mantenimiento sino también a la operación, utilización de instrumentos de medida. (KNEZEVIC, 1996)
- E. Instalaciones:** para un buen proceso de mantenimiento es muy importante contar con las instalaciones adecuadas y bien implementadas, como vienen hacer los talleres, laboratorios de calibración, talleres de rectificación. (KNEZEVIC, 1996)
- F. Elementos informáticos:** para realizar una buena gestión de mantenimiento es muy importante contar con computadores sofisticados, bases de datos, discos de programas, etc. (KNEZEVIC, 1996)

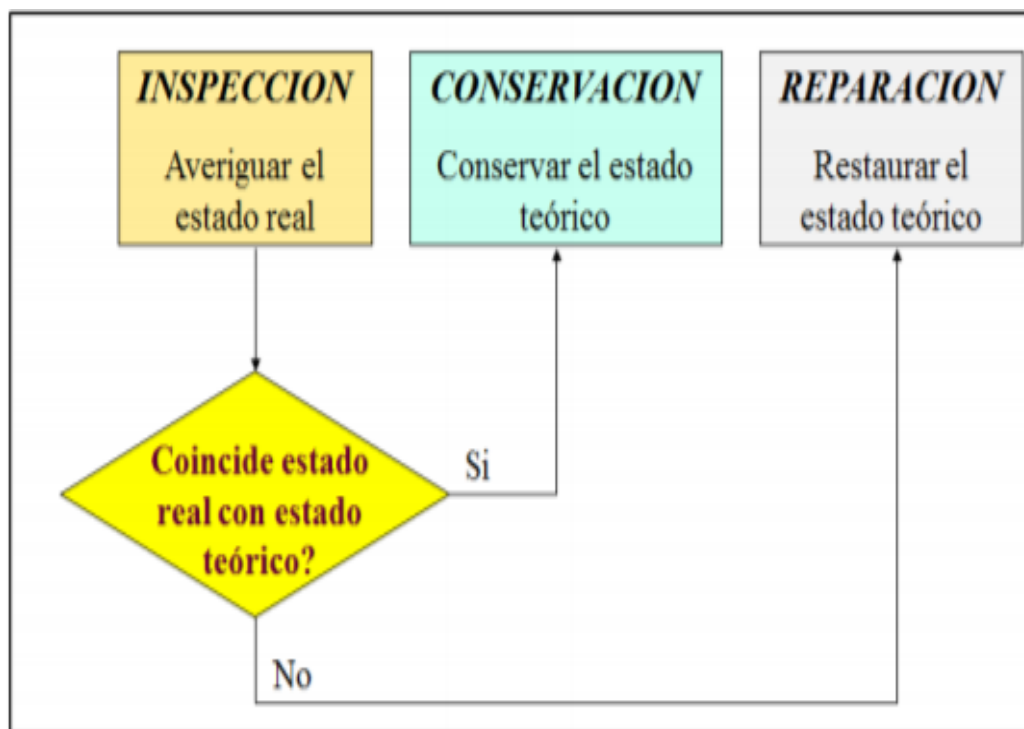
Restricciones del proceso de mantenimiento. (KNEZEVIC, 1996)

1. Presupuesto.
2. Planeamiento
3. Seguridad
4. Condición climática.
5. Idioma
6. Cultura del mantenimiento.

### 1.3.3 Actividades del mantenimiento:

Se refiere al grupo de faenas que se ejecutan paulatinamente:

- ✓ **Inspección:** permite evaluar el conjunto de elementos de un determinado sistema. **Ejemplo**, medición de parámetros físicos de un activo, que puede ser la toma de temperatura del sistema hidráulico de un scooptram.
- ✓ **Conservación:** tarea que permite conservar en un estado óptimo un sistema del activo. **Ejemplo**, lubricación, mantenimiento.
- ✓ **Reparación:** se trata de la reposición de un elemento del sistema del activo que ha presentado alguna avería para que este operativo y realice sus operaciones sin tener que parar. **Ejemplo**, sustitución y reparación de componentes que puede ser de cualquier sistema involucrado al equipo. (HERRERA, 2009)



**Figura 3:** Actividades de mantenimiento. Fuente: (HERRERA, 2009) *Introducción al mantenimiento*.

#### 1.3.4 Principal objetivo del mantenimiento

Es la tarea principal del mantenimiento que se ejecuta para apoyar al proceso de producción, con los niveles más altos de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad a un costo aceptable sin necesidad de alterarlos.

- ✓ **Disponibilidad:** es el espacio de tiempo que el activo está operativo, en estado de que no presente alguna avería o falle.
- ✓ **Confiabilidad:** es la medida en número de veces que el sistema técnico o activo presente fallas. Se resalta aquí que un activo físico puede tener alta confiabilidad, pero eso no quiere decir que no va a fallar.
- ✓ **Mantenibilidad** indica la capacidad de un elemento, bajo determinadas condiciones de uso, para que su Mantenimiento sea realizado de una forma sencilla, eficaz y segura. En otras palabras, representa la facilidad con que se pueden ejecutar las tareas de Mantenimiento sobre un equipo.
- ✓ **Operatividad:** se define como la destreza de un sistema técnico o activo para mantener alta disposición para la producción. De tal manera se logra una alta operatividad con base de una alta disponibilidad y confiabilidad.
- ✓ **Costo:** se define como la acción de mantenimiento, solo se puede realizar si su costo es aceptable, de tal manera las políticas, estrategias, objetivos y planes deben considerar la sustentación de costos (a largo plazo). (HERRERA, 2009)

#### 1.3.5 Tipos de mantenimiento:

##### ➤ **Mantenimiento correctivo**

El mantenimiento correctivo, conocido como mantenimiento reactivo, es una de las actividades que se realizan poco después de que aparezca alguna falla en el equipo. Es decir, esta táctica está orientada a desarrollarse como mecanismo de trabajos que depende de la aparición de la falla en un momento cualquiera. Del mismo se comenta lo siguiente.

El mantenimiento correctivo también llamado mantenimiento por falla consiste en dejar en funcionamiento todos los sistemas de una maquina hasta que se vuelva a presentar en el futuro una nueva falla y en ese momento es donde el área de operaciones hace un llamado al área de mantenimiento para asistir al activo y reparar la avería. Una vez que se soluciona la avería, el técnico de mantenimiento deja el activo hasta que se produzca otra falla.

Ventajas de la ejecución del mantenimiento correctivo.

- Bajo costo de implementación.
- El planeamiento no es necesario.
- Los controles o inspecciones están por demás, no se necesita.

Desventajas de la ejecución del mantenimiento correctivo.

- No ataca el origen de las fallas
- Tiempos en que se ejecuta es impreciso.
- Costos de mantenimiento no administrables.
- Niveles de seguridad escasos.

### ➤ **Mantenimiento preventivo**

La mayoría de la maquinaria está constituida por diferentes sistemas, entre los mas resaltantes estan; los sistemas mecánicos, sistemas eléctricos, sistemas electrónicos, sistemas electrohidráulicos, sistemas hidráulicos y sistemas neumáticos. Tales sistemas, por su estructura y funcionamiento que poseen, se adaptan para poder hacer funciones de mantenimiento programado en un periodo de tiempo. Es decir, que estos sistemas se adaptan para realizar tareas de mantenimiento de una forma programada. Estas tareas son de manera diaria o rutinaria que conglomera actividades como, limpieza, engrase, inspección y ajustes. Así mismo, se encuentra faenas generales que agrupa trabajos de cambio de componentes, reparaciones y calibraciones del activo. Finalmente, tenemos faenas de tipo overhaul que consiste en retirar el equipo del ciclo de producción por un mayor tiempo, de tal manera hacer la reparación general del equipo partiendo de un componente menor a uno mayor del equipo.

Las faenas del mantenimiento preventivo más comunes son cambios, reparaciones, comprobaciones generales, sustitución de componentes mayores, etc. Para ello es necesario resaltar estas tareas que se ejecutan, ejemplo. El mantenimiento a travez de una frecuencia de 500 horas de trabajo, 5000 km de recorrido, o cada 200 aterrizajes, al margen del estado real de cada uno de los componentes.

De todo lo mencionado, se puede resaltar que uno de los parámetros mas importantes de una excelente táctica de mantenimiento preventivo es la programación que se realizará las diferentes faenas ya antes mencionadas. También se indica que una buena táctica del mantenimiento preventivo que agrupa todas las actividades de inspección diaria o rutinaria, busca detectar condiciones que afecten en el funcionamiento del activo. (TECSUP , 2011)

#### ➤ **Mantenimiento predictivo**

Los equipos pesados están constituidos y diseñados por un conjunto de sistemas funcionales que se basan en principios físicos, mecánicos, electrónicos, etc. los cuales son capaces de informar las condiciones de operativas de los activos según su estado. Es por eso que el mantenimiento predictivo esta basado en el monitoreo de condiciones de los activos para predecir cuándo se presentará una avería en alguno de los sistemas.

El mantenimiento predictivo se basa en el conjunto de faenas que sirven para determinar la condición en la que operan los activos, midiendo las variables físicas y químicas más resaltantes con el objetivo de pronosticar averías y así corregirlas usando instrumentos de diagnóstico.

De lo antes descrito podemos resaltar que el objetivo principal del mantenimiento predictivo, es identificar potenciales averías que puedan aparecer en el futuro mediante el monitoreo de condiciones con el fin de obtener un diagnóstico antes que el fallo aparezca.

El mantenimiento predictivo mejorará la disponibilidad de los activos, porque, en primera instancia analiza el comportamiento de los componentes a medida

del tiempo y para eso busca una medida para que no falle. En segunda instancia, este monitoreo evita que se desmonte un componente para ver su estado, sino que éste permite evaluar y programar su desmontaje sin haber existido desmontajes previos para su evaluación. Asimismo, con las estrategias del mantenimiento predictivo se obtienen menos costes de mano de obra, componentes y insumos, pues la mano de obra que se aplica en tareas de reparaciones comunes disminuye considerablemente al reducir faenas de mantenimiento. Además, elude contar con inventarios de protección, porque el cambio de componentes se realizarán según la condición del activo. (ASTETE, 2017)

Las actividades de mantenimiento predictivo para los equipos pesados en minería son las siguiente:

- **Análisis de aceite:** Consta en evaluar la muestra de aceite para identificar el nivel de porciones químicas que posee un activo después de ejecutar sus horas de operación.
- **Análisis vibracional:** Está sujeto a elementos rotatorios como transmisiones de potencia, cajas reductoras, mandos finales y diferenciales, que cuentan en su interior con (rodajes, engranajes) para poder determinar la desalineación de componentes.
- **Monitoreo de parámetros de operación:** se basa en la medición de los niveles de temperatura, presión, voltaje, corriente, potencia, etc. De tal manera busca comparar con los límites habituales de operación de los activos.
- **Ensayos de ultrasonido:** mediante estos ensayos se logra medir el desgaste mecánico, fisuras internas, rajaduras, etc. Sin que sea necesario desmontar los componentes del activo. (ASTETE, 2017)

### **1.3.6 Evolución del mantenimiento centrado en la confiabilidad.**

Dentro de los 20 últimos años el mantenimiento ha logrado un cambio muy significativo, se puede decir mejor que cualquier otra disciplina administrativa. Los cambios se dieron primordialmente por la incalculable cifra y variedad de sistemas físicos (plantas industriales, equipos, infraestructura y edificaciones) los mismos que se debe de prestar atención de mantenimiento alrededor del mundo, la complejidad en su diseño conlleva a crear una nueva metodología del mantenimiento.

Como bien sabemos la conservación de los activos responde a todas las perspectivas de cambio. Lo que incluye tomar conciencia para realizar una evaluación veraz y así determinar hasta qué nivel las fallas afectan la seguridad y medio ambiente; la calidad del producto y su relación con el mantenimiento, y la desesperación de lograr una elevada disponibilidad de los activos a un bajo coste.

El equipo de mantenimiento se está viendo obligado a pensar y actuar de una forma innovadora, con mucha aptitud y habilidad, de tal manera actuar como ingenieros debido a estos cambios en la mecanización y la automatización de todas las industrias.

Frente a esta situación de grandes cambios, los administradores, gerentes, vienen buscando un nuevo rumbo para el mantenimiento, que puedan evitar proyectos sin concluir, con inicios desfavorables.

Buscan nuevas estrategias con un modelo racional, para después pasar por un proceso de evaluación y posteriormente aplicar las mejores estrategias que satisfaga los requerimientos de la empresa.

A partir de la década de los 30 la evolución del mantenimiento se fue realizando a través de tres generaciones.

#### **1.3.6.1. Primera generación de mantenimiento:**

La primera generación del mantenimiento se extendió hasta inicios de la segunda guerra mundial. Exigido por la industria, ya que en aquellos tiempos no estaba totalmente mecanizada, daba igual si el equipo paraba por alguna avería.

El evitar que ocurra alguna avería en los equipos no era importante para los



dirigentes de las empresas, por lo que los equipos en esa época eran simples con escasas en tecnología, a raíz de ello se originó el nombre de mantenimiento correctivo.

Estas características en los equipos hacían confiables y fáciles de reparar, de tal manera era ausente la aplicación de un mantenimiento sistemático, y solo se hacían actividades rutinarias como lavado y lubricación. (MOUBRAY, 1997)

Características:

- Equipos simples, robustos y sobredimensionados.
- Los modos de falla solo se enfocaban en el desgaste de las piezas.
- No había una alta mecanización y automatización de la industria.
- No había repercusión en el control de tiempos de parada de los activos.
- La prevención de fallas no era de alta primacía gerencial. La dirección de mantenimiento mayormente aplicada era la del área de mantenimiento.
- No existía la implantación de un mantenimiento táctico.
- Bajos índices de volúmenes de producción.

#### **1.3.6.2. Segunda generación de mantenimiento**

A raíz de la segunda guerra mundial, aumentó la demanda de todo tipo de intereses, paralelo a ello disminuía el número de trabajadores en las empresas industriales, obteniendo así el aumento de la mecanización. En la década de los años 50 había intensificado el número y complejidad de todos los activos físicos, y empezamos a depender de la industria.

Debido a que las maquinas fueron evolucionando y cada vez volviéndose más complejas, se enfocó en los tiempos de paradas de los activos, lo que llevo a una magnífica idea de prevenir las fallas, llegando así a la calificación de mantenimiento preventivo.

Pasado los años 60, los costos de mantenimiento empezaron a elevarse de una manera desmesurada en comparación de los costos operacionales. Esto conlleva a nuevas ideas y la creación de planes de mantenimiento, logrando así tener un mejor control de mantenimiento, los que posteriormente sirvió como pilar para la creación de sistemas de gestión de mantenimiento.

Por último, el aumento de la inversión, conlleva a buscar formas de extensión de la vida útil de los componentes y activos. (MOUBRAY, 1997)

Principales características:

- Se inicia a dar relevancia a la productividad.
- Aumento de la mecanización y automatización de las industrias
- Importancia muy significativa a los tiempos de parada de los activos.
- Se hizo conocido el concepto de mantenimiento preventivo, aplicado a una frecuencia determinada en lo que consistía a las reparaciones generales (overhaul).
- Considerable crecimiento de los costos de mantenimiento en relación a otros costos.
- Inversión e implantación de nuevos sistemas de planificación y un mejor control de mantenimiento.
- Alargar vida útil de los elementos y activos.
- Creación de inventarios de elementos (repuestos).

### **1.3.6.3. Tercera generación de mantenimiento**

A partir de la mitad de la década de los años 70, aumentó considerablemente los procesos y el cambio en la industria. Es por eso que este cambio logrado se clasificó en: nuevas expectativas, nuevas investigaciones, y nuevas técnicas.

La producción siempre se ha visto afectada por los tiempos de parada de los equipos reduciendo considerablemente la producción en la etapa operacional, aumentando los costes e interfiriéndose con la atención del cliente.

Entre los años del sesenta y setenta se dio inicio a una preocupación en el sector minero, el sector de manufactura y el sector del transporte. En el sector de manufactura se agravo por efectos de los tiempos de parada de los activos, ya que una falla ocasionaba paradas de toda la planta.

En la actualidad el desarrollo de la mecanización y la automatización han envuelto a la disponibilidad y la confiabilidad en un factor clave en el sector del procesamiento de datos, telecomunicaciones, sector salud y demás organizaciones. (MOUBRAY, 1997)

### ➤ **Nuevas expectativas**

Con el desarrollo de la automatización, está logrando un significado grande con la presencia de fallas, que cada vez afectan a nuestra capacidad de mantener los parámetros estandarizados durante la operación. Es por eso que cada vez que aparecen estas fallas están originando graves consecuencias a la seguridad y medio ambiente, paralelo a ello crece las exigencias en estos temas.

Es por ello que hoy en día todas las empresas se adecuan a las nuevas expectativas en el cuidado de la seguridad y medio ambiente, **Figura 4**, y si no cumplen con las expectativas simplemente pueden dejar de operar. Entonces se dice que la integridad de los activos físicos está encaminada a llegar más allá en relación a los costos el cual tiene relación con la perduración de la organización. Paralelo a ello, aumenta el coste de conservarlos y operarlos, y para lograr dicho objetivo se necesita actuar con mucha eficiencia. Por último, se puede deducir que los costos de mantenimiento están creciendo en términos absolutos. (MOUBRAY, 1997)

### ➤ **Nuevas investigaciones**

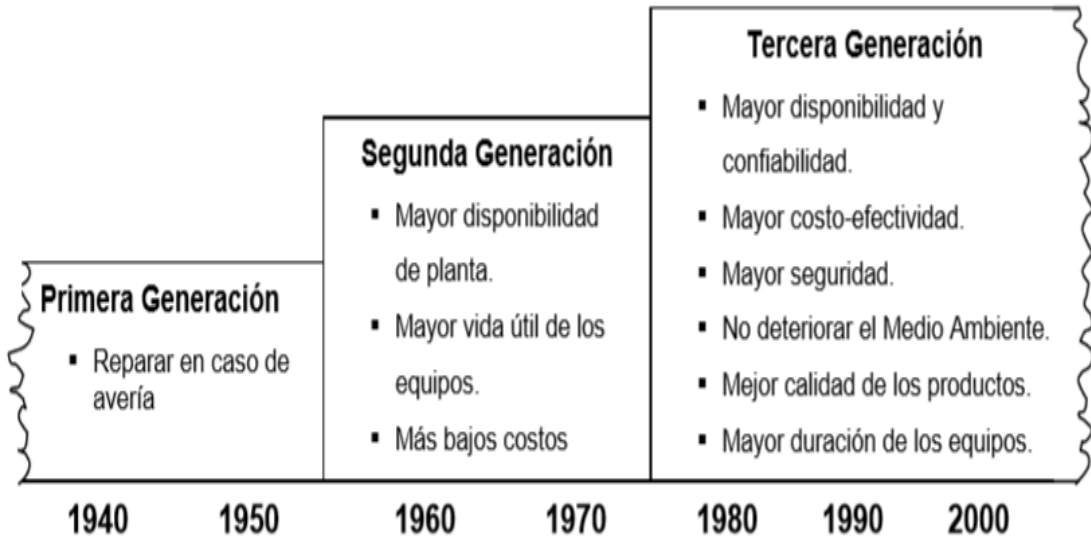
A través de nuevas investigaciones se puede decir que las creencias que tienen relación entre la edad y las fallas, están en un proceso de cambio. Es por eso que se dice que hay una menor conectividad entre la edad del activo y la probabilidad de que estos puedan fallar. En la **Figura 5**, se observa como en aquellos años antes de la década de los 50, los activos envejecían y estaban más propensos a fallar. Para la segunda generación lo que conlleva a crecer la curva de la bañera. Hoy en día no solo se tiene un patrón de falla, si no seis que normalmente se presentan en las actividades diarias, los cuales repercuten en el mantenimiento, es lo que nos revela las últimas investigaciones. (MOUBRAY, 1997)

### ➤ **Nuevas técnicas**

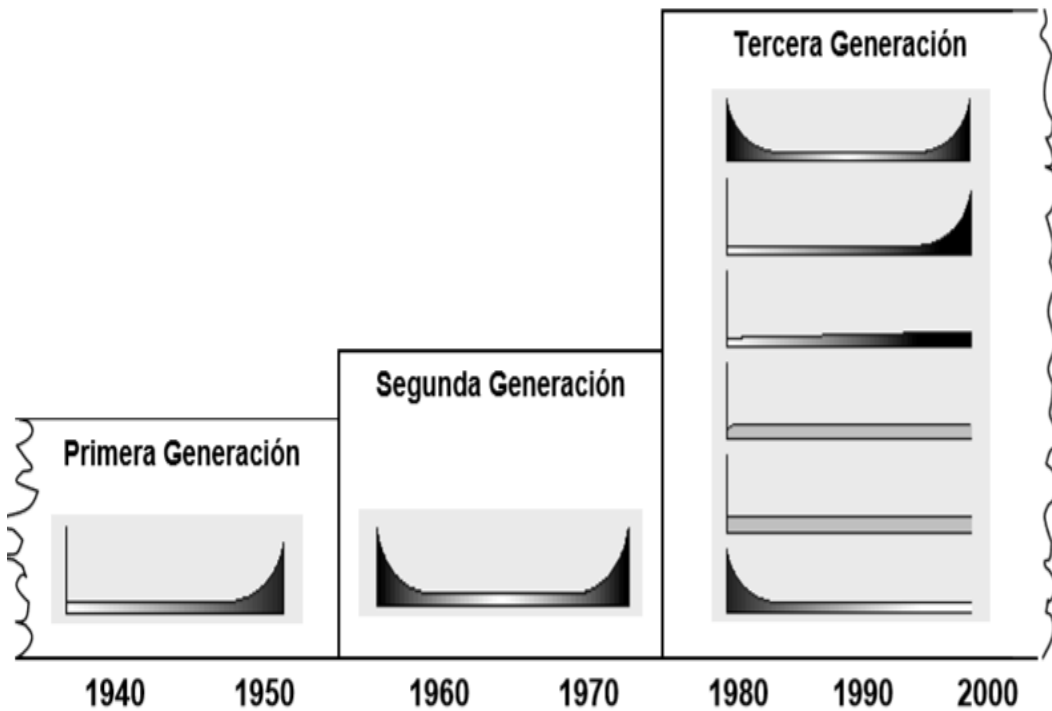
En los últimos quince años han surgido nuevas concepciones y técnicas del mantenimiento, y hoy en día vienen manifestándose cada vez más. En la **Figura 6**, se observa cómo ha aumentado el énfasis de los muy comunes sistemas de

administración y de grandes reparaciones para sumar el desarrollo de nuevas áreas de mantenimiento.

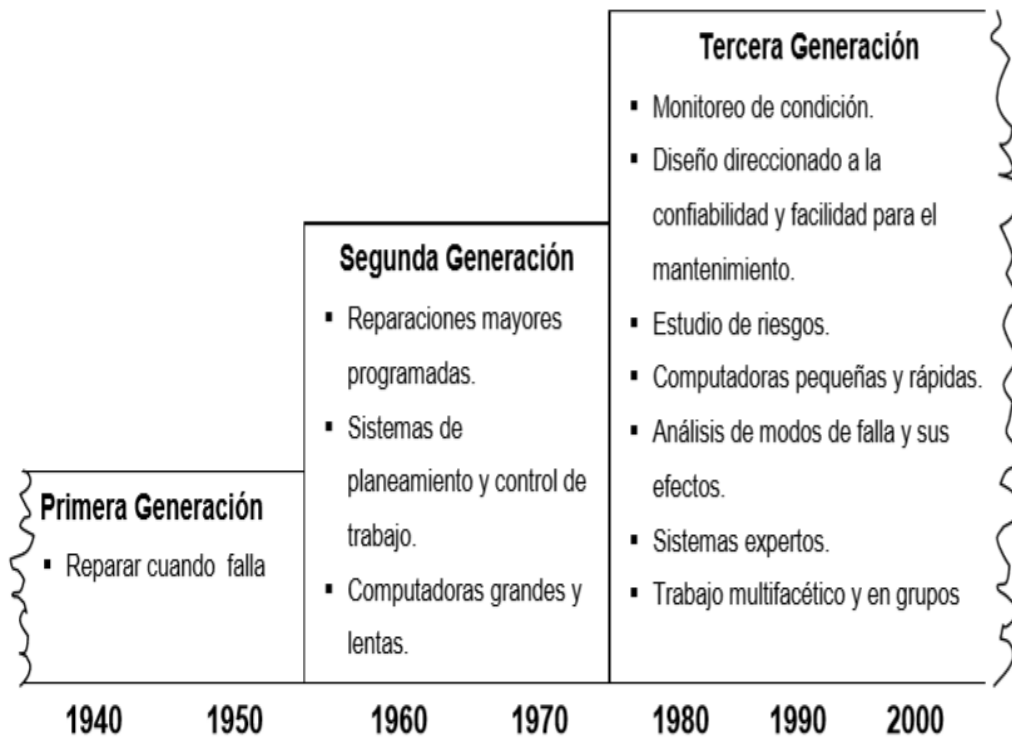
El desafío más importante para el personal que integra la plantilla de mantenimiento, no es solo instruirse o aprender nuevas técnicas, si no de aprender a tomar decisiones las cuales serán valiosas para la organización. (MOUBRAY, 1997)



**Figura 4.** Nuevas expectativas de mantenimiento. Fuente: mantenimiento centrado en la confiabilidad, edición en Español (MOUBRAY, 1997)



**Figura 5.** Nuevas investigaciones de mantenimiento. Fuente: mantenimiento centrado en la confiabilidad, edición en Español (MOUBRAY, 1997)



**Figura 6.** *Cambios en las técnicas de mantenimiento. Fuente: mantenimiento centrado en la confiabilidad, edición en Español (MOUBRAY, 1997).*

### 1.3.7 Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM, es uno de los procesos que ayuda a determinar la actividad de mantenimiento más efectiva. Logra identificar las probabilidades de falla, seguido a ello mejora la reducción en los efectos del costo. El RCM busca la perfecta mezcla de acciones que se basa en la condición, acciones en el tiempo o ciclo.

El RCM es un método que se apoya en la información de la rentabilidad de la operación de los sistemas, lo cual lo utiliza para buscar estrategias y mejoras en el diseño y trabajos progresivos de mantenimiento.

Estas nuevas estrategias de mantenimiento, no solo se aplican de una forma independiente, sino que son agrupadas para optimizar la operación de los equipos, reduciendo los costes del ciclo de vida.

Definimos al RCM como: la filosofía de la gestión del mantenimiento, en el cual un equipo jerárquico de trabajo, es el encargado de acrecentar la confiabilidad de operación de un activo que opera bajo ciertas condiciones de trabajo definido, desarrollando actividades positivas de mantenimiento en relación del estado u

condición (criticidad) de los equipos, evaluando los efectos que originan los modos de falla que afectan a las operaciones, seguridad y medio ambiente. (MOUBRAY, 1997)

### **1.3.7.1 Evolución histórica del RCM**

A inicios de la década de los setenta se dio origen al Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, en base al esfuerzo del gobierno y la industria aeronáutica de los Estados Unidos. Nowlan Heap fue el primer en publicar documentación acerca de las principales aplicaciones del RCM (Reability Centered Maintenance). Lo cual en su documentación reveló que no existe una relación entre la edad y la aparición de la falla y que la simple idea del mantenimiento basado en el tiempo para los equipos era falsa. Lo que fue confirmado posteriormente por estudios adicionales por parte del Departamento de Defensa y varias organizaciones Nucleares.

Desde los años de 1960 hasta 1980, predominó el mantenimiento preventivo PM ya que fue la técnica más relevante usada por las organizaciones que trabajaban en el mantenimiento. El PM admite que para evitar la falla a tiempo se debería de reemplazar los componentes en un determinado tiempo en base a un estudio estadístico.

Un claro ejemplo del pasado, era en reemplazar o renovar los rodamientos poco después de haber cumplido un cierto número de horas de operación, esto debido a que la tasa de falla de los rodamientos aumenta en relación al tiempo de servicio. Lo cual se demostró ser improductivo.

Los últimos estudios relacionado a los rodamientos se determinó que los rodamientos exceden su vida útil de diseño, SKF propuso nuevos cambios de evaluación teniendo como resultado que los rodamientos tienen mayor durabilidad siempre y cuando las condiciones de operación cumplan con los siguientes requisitos: lubricación, instalación adecuada, protección de la humedad y polvo y una excelente operación.

A esta evolución se conoce como rastreo de vida, este proceso fue usado por las fuerzas armadas de los Estados Unidos en 1970, para alargar el tiempo entre las reparaciones mayores y reemplazar las actividades de mantenimiento basadas en el tiempo con actividades basadas en la condición. Entonces deducimos que los

mantenimientos que se basan en un intervalo de tiempo, se deben remplazar por mantenimientos que se basan en la condición.

En la década de los 90 se desarrolló nuevos avances tecnológicos, y para ello aumento el monitoreo de la condición, el que se denomina Mantenimiento Predictivo. Para todo esto el RCM provee la metodología para crear la mejor estrategia de mantenimiento a aplicar a cualquier activo o sistema. (MOUBRAY, 1997)

### **1.3.7.2 Analizando el RCM**

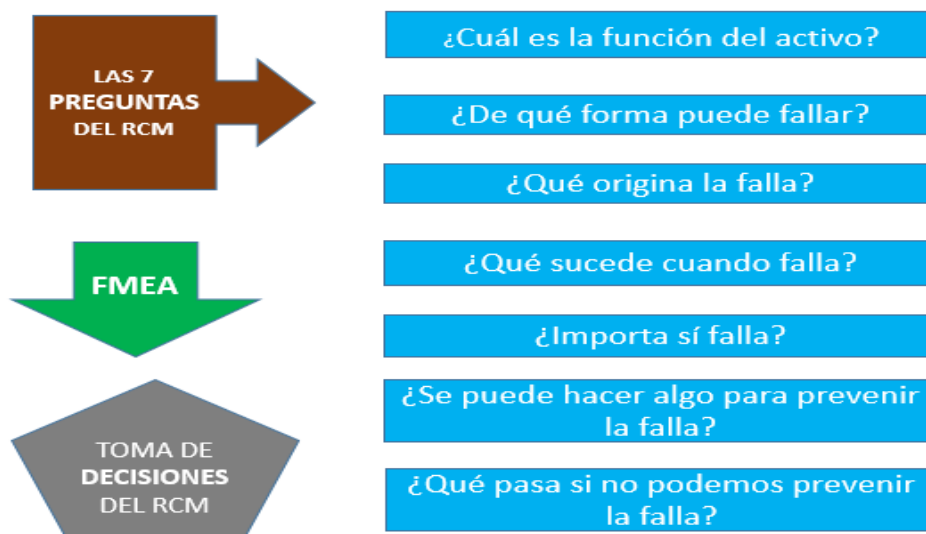
Para iniciar a aplicar el proceso de RCM, primero, se deben responder las siguientes siete interrogantes:

1. ¿Cuál es la función del activo?
2. ¿De qué forma puede fallar?
3. ¿Qué origina la falla?
4. ¿Qué sucede cuando falla?
5. ¿Importa sí falla?
6. ¿Se puede hacer algo para prevenir la falla?
7. ¿Qué pasa si no podemos prevenir la falla?

A partir del análisis de las respuestas de estas preguntas, se podrá detallar los menesteres reales del mantenimiento de la maquinaria en su relación operacional.

Antes de comenzar a utilizar RCM, es necesario recalcar lo beneficiosa que es esta herramienta, siempre y cuando se haya decidido bien y haya sido correctamente enfocada, ya que de una vez iniciada y sin un proceso claro, se podría tornar pesada e inútil. Para complementar la idea anterior, se debe recordar que la principal meta de toda empresa es generar más ganancias y reducir pérdidas, por lo que tal vez, no en toda la maquinaria o activos convenga aplicar RCM, ya que puede ser más rentable dejar que falle antes que usar esta herramienta. Así mismo, antes de comenzar con el proceso de RCM, la empresa deberá identificar cuáles son sus activos críticos, ya que de realizarse un estudio tan complejo y detallista en un equipo no tan relevante, la mejora o cambio no sea tan notoria para todo el tiempo y dedicación invertida. Lo ideal es que, desde

el inicio de la aplicación del proceso, se elija uno de los activos clave de la compañía. (MOUBRAY, 1997)



**Figura7:** Las 7 preguntas claves del RCM. Fuente: elaboración propia

### 1.3.7.3 Principios del RCM

Su orientación del RCM es en base a la función; por lo tanto no solo busca preservar las operaciones, si no que preserva la función de los equipos.

El enfoque del RCM agrupa a todos los sistemas; por lo que se interesa por el buen funcionamiento de los sistemas en general y no de una parte de los componentes.

La confiabilidad es el resultado del RCM; utiliza datos estadísticos de falla, edad de operación de los sistemas y las fallas.

El RCM no solo se enfoca a una falla común; si no que busca saber la probabilidad de nuevas fallas de acuerdo a la edad del sistema.

El RCM está encaminado por la administración de la economía y seguridad; por lo tanto la seguridad es una prioridad que debe de ser cubierta a cualquier costo.

El RCM puntualiza a la falla como una condición insatisfecha; por lo que se deduce que la falla se considera como una parada para la operación, donde se generan grandes perdidas.

El RCM utiliza para la toma de decisiones del mantenimiento un árbol lógico; el cual provee una relevancia firme a la conservación de todos los equipos.



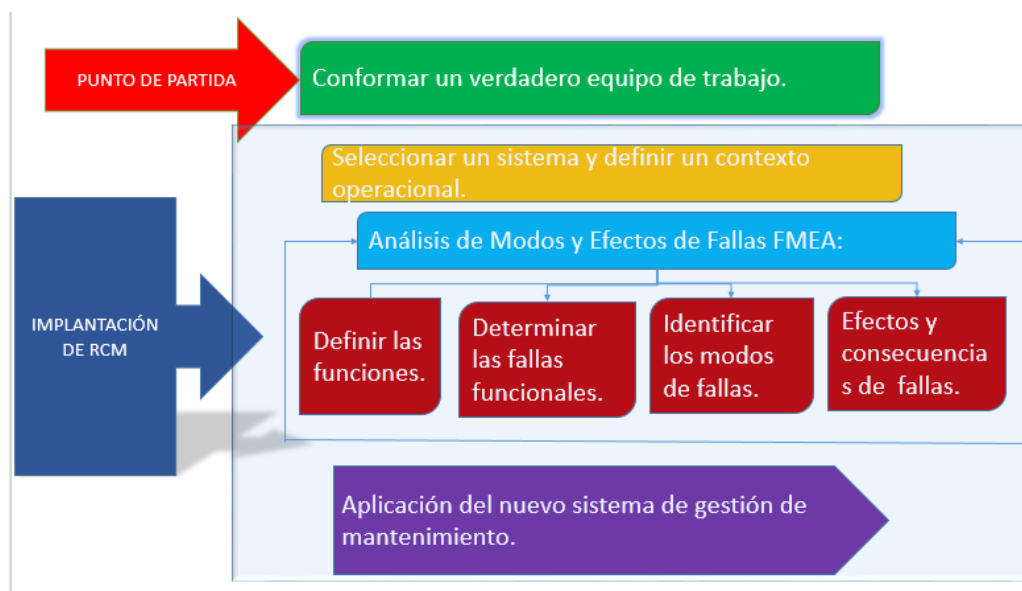
Todas las tareas del RCM son aplicables, estas faenas están orientadas al modo de fallo, las cuales deben de ser efectivas para reducir la probabilidad que se presente una falla.

El RCM se considera como un sistema vivo; el cual obtiene información de los resultados y busca mejoras para futuras faenas del mantenimiento. (MOUBRAY, 1997)

#### 1.3.7.4 Proceso de implantación del RCM

El proceso de implantación depende únicamente del equipo de trabajo, quienes serán los encargados de responder las preguntas del RCM, de forma clara y consisa, considerando los siguientes pasos:

- ✓ Conformar un verdadero equipo de trabajo.
- ✓ Seleccionar un sistema y definir un contexto operacional.
- ✓ Análisis de los Modos y los Efectos de Falla FMEA:
  - Definir las funciones.
  - Definir fallas funcionales.
  - Describir los modos de fallas.
  - Diagnosticar los efectos y consecuencias de las fallas.
- ✓ Aplicación del nuevo sistema de gestión de mantenimiento.



**Figura 8:** Procedimiento para la implantación de RCM. Fuente: elaboración propia

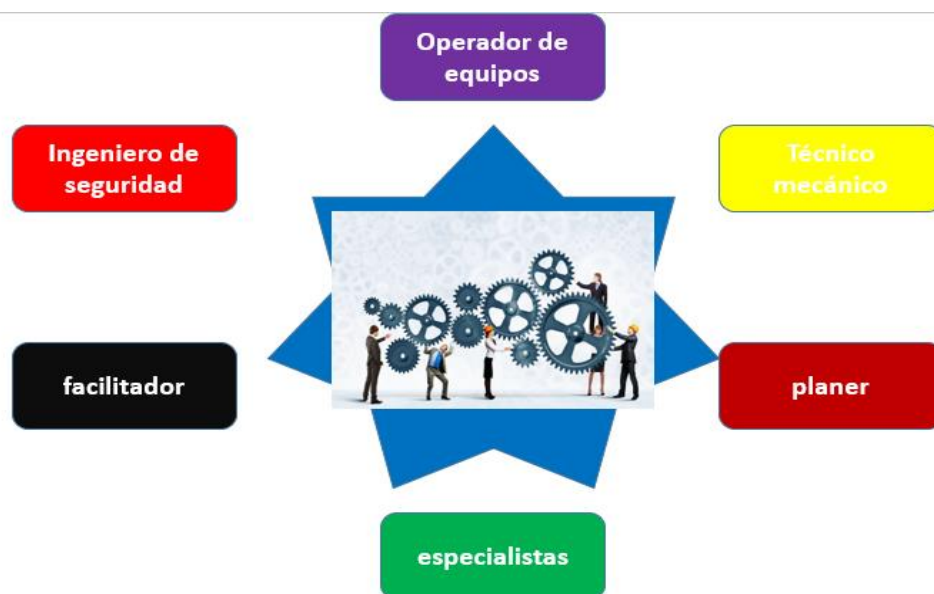
### 1.3.7.5 Conformación del equipo de trabajo

Definimos al equipo de trabajo como un grupo de personas de diferentes áreas dentro de la empresa que se juntan para trabajar con una sola visión y misión. Cada integrante se compromete con las normas del equipo, el cual requiere que el desarrollo de los objetivos sea un logro de todos. De tal manera sacar provecho de los conflictos dentro de la organización, para integrarlos y conseguir soluciones prácticas.

Entonces cada integrante del equipo de trabajo, al tener los roles y responsabilidades conciso dentro de la organización, se compromete con el equipo con total responsabilidad.

El compromiso debe de ser compartido para lo cual se necesita la habilidad de saber distinguir; puntos de vista, hechos y la interpretación de los mismos, de tal manera debatir cada punto de vista de forma equitativa.

Los integrantes del equipo de trabajo tienen un rol claro, considerando que el rol del facilitador es el principal. Las labores de los demás integrantes se da mediante la aportación de ideas, experiencias y destrezas, ayudando así al facilitador en la implantación del proceso siendo también los principales vigilantes. (CORDOVA, 2005)



**Figura 9:** Conformación de un verdadero equipo de trabajo. Fuente: elaboración propia.

### 1.3.7.6 Selección del sistema y contexto operacional

Para la implantación, es de vital importancia realizar una selección de los sistemas, porque a todos no se le da la misma importancia de estudio. se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Sistemas o componentes que tienen un alto índice de tareas de mantenimiento preventivo.
- Sistemas con un elevado índice de actividades de mantenimiento correctivo, de acuerdo el historial desde hace dos años.
- Sistemas con una elevada aportación a paradas de los activos, en el periodo de los dos últimos años.
- Sistemas con un elevado índice de riesgos que pueden afectar en la seguridad y medio ambiente.
- Activos con un elevado costo de mantenimiento.
- Sistemas donde predomina una desconfianza al realizar el mantenimiento.

Después de haber seleccionado el sistema y se tiene el concepto de forma general, es necesario que el equipo de trabajo RCM, pueda responder las siguientes dos preguntas.

- ¿Qué nivel de detalles se necesita para realizar el análisis de los modos y efectos de fallas en el sistema seleccionado?
- ¿Debería de analizarse todo el sistema, es necesario analizar todo, que se debería de hacer para seleccionar un determinado sistema y cuál es la prioridad de analizar las partes del sistema elegido? (CORDOVA, 2005)

Para dar respuesta a estas preguntas se tienen que tener en cuenta lo siguiente.

#### ➤ Jerarquización de sistemas

Mediante el método de evaluación de criticidad para los equipos, se dice que es una metodología que se basa en el riesgo, lo que nos permite establecer una

determinada jerarquía para los diferentes instalaciones, sistemas y equipos, en funcionamiento, con la finalidad de asignar y optimizar los recursos (humano, técnicos y económicos), y además nos permite dividirlo para que se puedan manejar con total control y que sean autitables para la toma de decisiones.

Se dice que la frecuencia está asociada al número de eventos o averías que presenta un sistema, y la consecuencia está relacionada con los impactos operacionales, costos e impacto en la seguridad y medio ambiente. Para ello se debe considerar los siguientes criterios:

- Impacto ante la seguridad e impacto ambiental.
- Impacto Operacional.
- Costos de operación y mantenimiento.
- Flexibilidad Operacional.
- Frecuencia de ocurrencia de falla.

La identificación de prioridades en los equipos y sistemas, administrar los recursos, crear valores para la toma de decisiones y determinar el impacto, es el siguiente paso a seguir. Para ello se creará una tabla de criterios, lo cual solo se considera las urgentes necesidades del equipo estudiado, esta tabla también se puede adaptar a demás sistemas dentro de la organización. (CORDOVA, 2005)

Después de crear la tabla de criticidad, los factores son evaluados en reuniones con las personas involucradas en el área (seguridad y medio ambiente, operaciones y mantenimiento). Con la evaluación de todos los factores, se logra obtener el valor de la criticidad del equipo, y para obtener la criticidad para cada sistema se toman los valores individuales y se colocan dentro de la matriz de criticidad **Figura 10**, la cual nos permite jerarquizar los sistemas en tres términos.

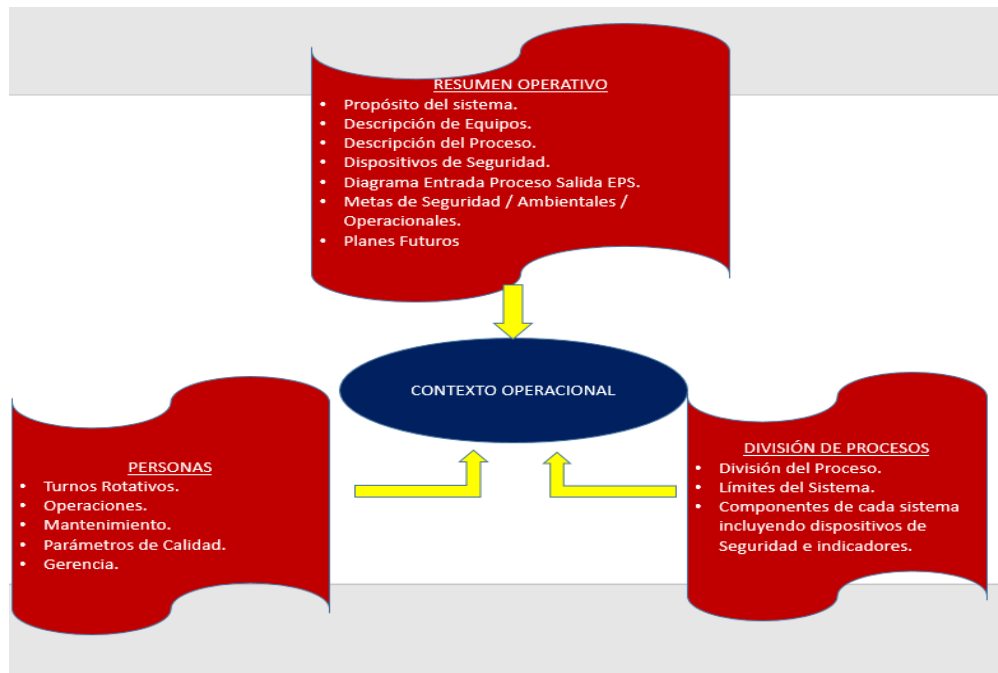
- No críticos **NC**.
- Semi críticos **SC**.
- Críticos **C**.

F R E C U E N C I A	4	SC	SC	C	C	C
	3	SC	SC	SC	C	C
	2	NC	NC	SC	SC	C
	1	NC	NC	NC	SC	C
		10	20	30	40	50
<b>CONSECUENCIAS</b>						

**Figura 10:** Matriz para encontrar el nivel de criticidad. Fuente: Elaboración propia.

➤ **Contexto operacional**

El contexto operacional es el conjunto de determinaciones que resumen a un sistema a estudiar, mencionando los procesos de operación, funcionamiento de equipos, personal de operaciones y mantenimiento y la división de los procesos. **Figura 11.**



**Figura 11:** Una manera de desarrollar el contexto operacional.

Fuente: elaboración propia.

Para el contexto operacional se necesita:

- Un perfil de operación.
- Un ambiente de operación
- Implantación de políticas de administración de repuestos.
- Disposición de insumos requeridos
- Manuales de datos técnicos, operación y mantenimiento de los activos.

### **1.3.7.7 Análisis de modos y efectos de falla FMEA**

Para la implantación de la metodología RCM, el análisis de modos y efectos de falla FMEA, es su principal herramienta para lograr los objetivos y optimizar la gestión de mantenimiento. El FMEA es una herramienta de gestión que nos permite identificar los posibles problemas que puedan presentarse y de tal manera afecten a la operación. Siempre hay que tener en cuenta que el FMEA conforma la parte más importante en la implantación del RCM hacia un determinado sistema, ya que esta herramienta es la que obtiene la información necesaria para la prevención de las consecuencias y efectos de las fallas, partiendo de una adecuada selección de tareas de mantenimiento, las cuales se ejecutarán sobre los modos de falla y sus consecuencias o efectos. (CORDOVA, 2005)

#### **➤ Fallas funcionales**

Una falla funcional es la ocurrencia que no se puede prever, es aquella anomalía que no permite al activo a cumplir con el estándar de operación esperado en un determinado contexto operacional, es cuya consecuencia de que el activo no llegue a cumplir con la función que se requiere o si lo hace es de una forma ineficiente.

Para la identificación de una falla funcional, es muy importante definir el estándar de ejecución dentro del contexto operacional donde se desempeñará.

Es importante considerar que un activo puede tener muchas fallas

funcionales, las cuales pueden incidir de forma total en el funcionamiento de los sistemas de un activo, ocasionando la parada total del equipo, lo cual no permitirá que el activo llegue alcanzar el estandar operativo.

### ➤ **Modos de falla**

Se considera a los modos de falla como las causas físicas que originan las fallas funcionales en los activos, las cuales se tienen que eliminar. Esta afirmación, hace que el RCM sea una metodología sobresaliente en comparación de la forma tradicional de la gestión de activos. Para el RCM tiene como primer objetivo atacar los modos de falla que tienen asociación con las fallas funcionales, estos se realiza mediante actividades de mantenimiento propuestas por el equipo de trabajo.

La correcta identificación de los modos de falla por parte del equipo de trabajo, es el primordial factor para seleccionar bien las actividades de mantenimiento. Estas deben cumplir los siguientes aspectos:

- Nivel de falla.
- Causa- raíz de las fallas funcionales.
- Modos de falla con su respectivo nivel de ocurrencia los cuales deben ser registrados.

En ocasiones la identificación de los modos de falla no corresponden al nivel de detalle para analizar un determinado sistema de un activo, para eso es de vital importancia saber identificar el nivel donde se producirán los diferentes modos de falla y así aportar y llevar acabo el desarrollo del sistema de gestión de mantenimiento.

**¿Qué es lo que causo la ocurrencia de falla?** Es una pregunta que nos permite reconocer de una forma practica la causa raíz de un modo de falla. Las respuestas a la pregunta nos ayudará a identificar las causa raíz de las fallas de los activos.

Para registrar correctamente los modos de falla es muy importante identificar

los motivos porque el equipo puede fallar o no cumplir con los estándares de operación.

➤ **Efectos o consecuencias de las fallas**

Los efectos de las fallas bien hacer el resultado de la manifestación de un modo de falla identificado dentro del contexto operacional. La identificación de los efectos de falla debe de incluir toda información que permita poder soportar las consecuencias de las fallas. Para poder describir de una forma concisa los efectos que se producen por los modos de falla, se debe de hacer la siguiente pregunta. ¿Cómo evidenciar si un modo de falla ha ocurrido?.

El equipo de trabajo son los encargados de analizar todos los modos de falla, también son los encargados de informar si la ocurrencia de cada modo de falla será evidente o no por el personal que trabaja dentro del contexto operacional.

Para la descripción del efecto de falla, deberá de incluir toda la información recopilada si en algún momento atento contra la integridad humana, seguridad del activo, las operaciones o producción, estos deben de estar escritos de forma clara y concisa, para determinar lo que ocasionará la ocurrencia de los modos de falla.

Para el RCM, la severidad de las consecuencias de los modos de falla, son los principales aspectos que se deben de tomar en cuenta para seleccionar las actividades de mantenimiento que se deben de realizar en los activos.

Los impacto de los modos de falla, siempre dependerá del contexto operacional donde el activo ejecute sus funciones, de su estándar de operación deseado y las consecuencias físicas que provocan las ocurrencias de cada uno de los modos de falla.

Los modos de falla pueden impactar con la seguridad, medio ambiente y las operaciones.



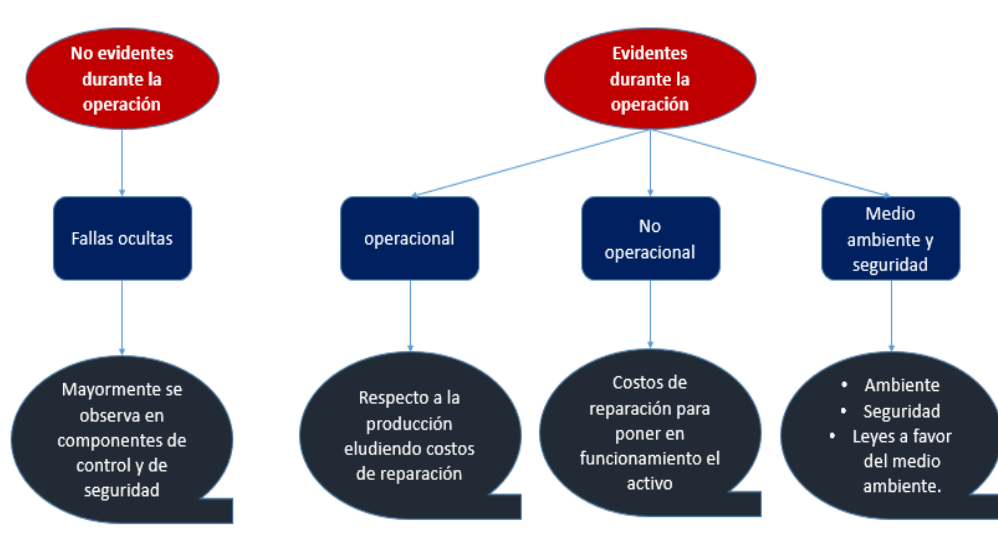
**Modos de fallas con consecuencias ocultas;** se originan a raíz de las funciones que no son evidenciadas y que representan los equipos, las cuales es difícil de persuadir en el desarrollo de sus funciones. Hoy en día estos modos de falla afectan a los activos, debido al aumento de sistemas mas automatizados y complejos.

**Modos de fallas con consecuencias sobre la integridad humana y medio ambiente.** Surgen a raíz de las funciones que son evidentes en los activos, estas fallas afectan a la integridad de las personas y medio ambiente.

**Modos de fallas con consecuencias operacionales;** se presentan a raíz de las funciones que son evidentes en los activos, estas fallas afectan considerablemente en la producción u operación (calidad de servicio de mantenimiento, calidad del producto, cantidad de productos).

**Modos de fallas con consecuencias no operacionales;** se presentan a raíz de funciones evidenciales, estas fallas no tienden a afectar a la integridad humana, medio ambiente y operaciones. Este tipo de modo de falla es originada por la mala administración y consecuencias económicas (costos de reparación).

Estos modos de falla que implican a la integridad humana, medio ambiente y operaciones, deben ser identificadas y bien sustentadas por el equipo de trabajo. (CORDOVA, 2005)

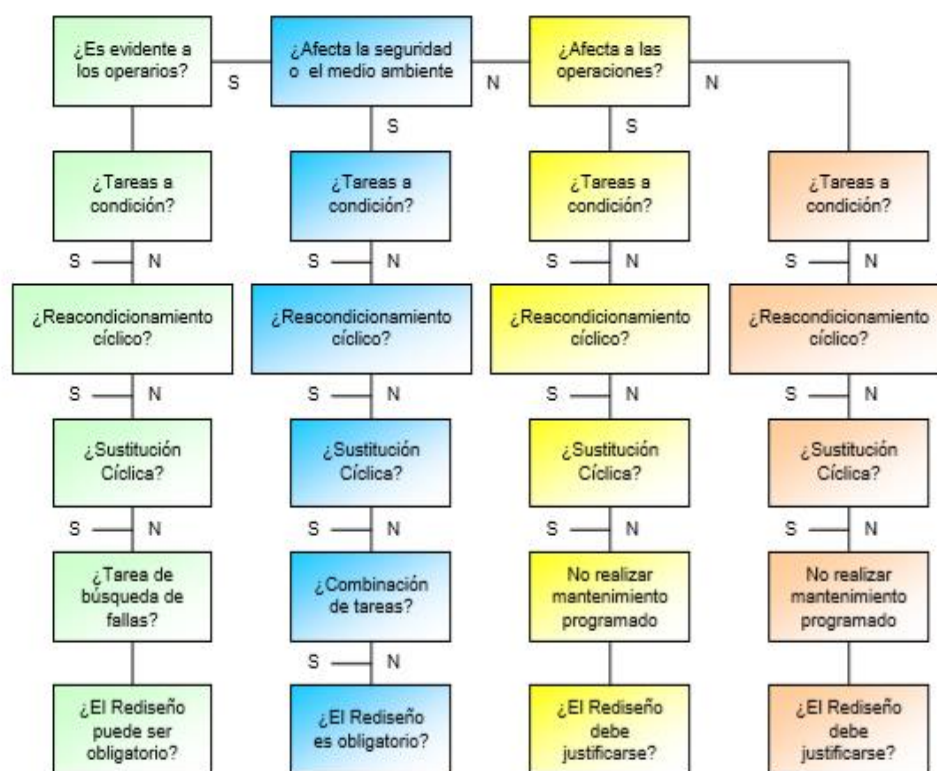


**Figura 12:** Arbol de consecuencias de los modos de falla según su categoría.  
*Fuente: Elaboración propia*

### 1.3.7.8 Actividades de mantenimiento

Después de haber realizado el análisis de modos y efectos de fallas FMEA, se debe de determinar el tipo de mantenimiento o la aplicación de nuevas técnicas que ayude a prevenir la aparición de cada modo de falla, a raíz del árbol lógico de toma de decisiones, **Figura 13**, este árbol lógico es una de las herramientas del RCM, que nos permite seleccionar las actividades de mantenimientos más adecuadas y así evitar las ocurrencias de fallas y de tal manera disminuir los efectos. Después de seleccionar las actividades de mantenimiento con la ayuda del árbol lógico de decisión, se tiene que especificar el tipo de actividad de mantenimiento con su respectiva frecuencia de ejecución, siempre se debe tener en cuenta los principales objetivos del RCM que son evitar las consecuencias que afecten la integridad humana, medio ambiente y producción

Las actividades de mantenimiento el RCM los clasifica en dos grandes grupos actividades preventivas y actividades correctivas.



**Figura 13:** *Árbol lógico de toma de decisiones. Fuente: Elaboración propia.*

### ➤ **Tareas en base a condición (predictivas)**

Estas tareas de mantenimiento preventivas y programadas (predictivas), están basadas en el hecho de que los modos de falla no aparecen en el instante, si no que se van desarrollando paulatinamente en un tiempo determinado. Si estos modos de falla son evidentes durante la operación, se toman acciones programadas en base a la condición del activo, para así prevenir y/o eliminar las consecuencias de los modos de falla.

En el momento en que se detecta una falla funcional, o se detecta que dentro de un sistema esta generándose una falla , se denomina falla potencial. Se denomina así, porque es una acción física que se esta evidenciando dentro del activo, la cual indica que en cualquier momento puede ocurrir y detener el proceso de producción.

### ➤ **Tareas de reacondicionamiento**

Se denomina tareas de reacondicionamiento preventivas, a todas las actividades periódicas que se realizan con el fin de restaurar los activos a su condición original. Estas actividades de prevención se realizan en un intervalo de frecuencia que es menor al límite de vida del activo.

### ➤ **Tareas de sustitución programada**

Estas tareas de sustitución, es una actividad preventiva que esta orientada en el cambio de componentes deteriorados por unos componentes nuevos, en un determinado tiempo menor al de su vida útil. Estas actividades vuelven a su condición original de los componentes, ya que el elemento viejo es reemplazado por uno nuevo.

### ➤ **Actividades de corrección**

Las actividades de corrección se ejecutan, cuando las actividades de prevención no son factibles para evitar los modos de falla.

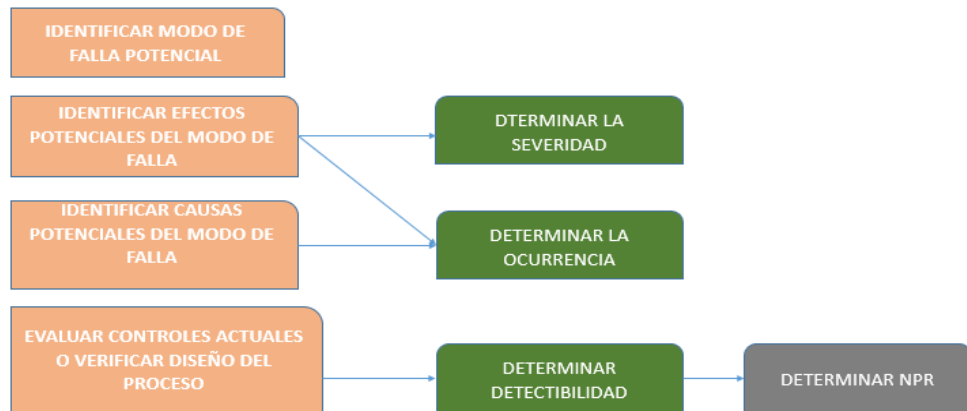
- **Rediseñar**, está actividad se ejecuta cuando no es posible conseguir

actividades de prevención para los sistemas de los activos.

- **Tareas de mantenimiento no programado;** esta tarea se ejecuta cuando las actividades de prevención son altamente costosas y que los efectos de modos de falla pueden ser por consecuencia operacional, se toma la decisión de realizar actividades correctivas. (CORDOVA, 2005)

### 1.3.7.9 Método de evaluación de riesgos del FMEA

Para el análisis y la evaluación del riesgo que asocia a diferentes problemas potenciales de los activos, el FMAE incorpora a través de métodos siendo el más usado, el método NPR. (CORDOVA, 2005)



**Figura 14:** Evaluación del número de riesgo. Fuente: Elaboración propia.

#### ➤ Número de prioridad de riesgo - NPR.

El NPR es considerado como un método que evalúa los riesgos a cada causa de daño potencial. Está definido por el producto del nivel de severidad (NS), el nivel de ocurrencia (NO) y el número de detectabilidad (ND). (CORDOVA, 2005)



**Figura 15:** Prioridad de riesgo. Fuente: Elaboración propia.

➤ **Nivel de severidad (NS)**

La severidad es un valor numérico, el cual es el encargado de medir la gravedad de un efecto de falla. La severidad es aplicada únicamente a los efectos de las fallas y la estimada en una escala del 1-10. **Tabla 2.** (CORDOVA, 2005)

**Tabla 2:** *Nivel de severidad, escala.*

DESCRIPCIÓN	EFFECTOS DE FALLA	NIVEL DE SEVERIDAD
Arriesgado sin precaución	Muy alto rango de severidad cuando un modo de falla potencial afecta la operación segura e involucra al cumplimiento de regulaciones sin precaución.	10
Arriesgado con precaución	Muy alto rango de severidad cuando un modo de falla potencial afecta la operación segura e involucra al incumplimiento de regulaciones con precaución.	9
Muy alto	Equipo inoperable, las fallas provocan la pérdida de la función para la que fueron diseñadas.	8
Alto	Equipo operable. Fallas que causan un alto grado de insatisfacción al cliente que recibe el servicio.	7
Moderado	Equipo operable. Fallas que afectan el equipo originando un mal funcionamiento de los equipos disminuyendo la calidad del servicio.	6
Bajo	Equipo operable. Fallas que provocan la pérdida de eficiencia y causan que el cliente se queje.	5
Muy bajo	Equipo operable. Fallas que pueden ser mejoradas con pequeñas modificaciones y su impacto sobre la eficiencia de los equipos es bajo.	4
Leve	Equipo operable. Fallas que crean mínimas molestias, que el podría corregir en el proceso sin necesidad de perder eficiencia.	3
Muy leve	Fallas difíciles de reconocer y sus efectos son insignificantes para el proceso.	2
Ninguno	Fallas que no son identificadas y no afectan la eficiencia del proceso.	1

**Fuente:** *Evaluación de la severidad (MC DERMONTT, y otros, 1996).*

➤ **Nivel de ocurrencia (NO)**

La ocurrencia es un valor numérico, que corresponde a la causa y su modo de falla que repercuten sobre la vida de diseño de los activos. El nivel de ocurrencia tiene una escala del 1-10. **Tabla 3.** (CORDOVA, 2005)

**Tabla 3:** *Nivel de ocurrencia.*

DESCRIPCIÓN	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE LA FALLA	NIVEL DE OCURRENCIA
Muy alta: Falla que es casi inevitable	Más de una por día, o una probabilidad de más de tres ocurrencias en diez eventos.	10
	Una ocurrencia cada tres o cuatro días, o una probabilidad de tres ocurrencias en diez eventos.	9
Alta: Continuamente falla	Una ocurrencia por semana o una probabilidad de cinco ocurrencias en cien eventos.	8
	Una ocurrencia por mes, o una ocurrencia en cien eventos.	7
Moderada: ocasionalmente falla	Una ocurrencia cada tres meses o tres ocurrencias en mil eventos.	6
	Una ocurrencia cada seis meses en un año, o una ocurrencia en diez mil eventos.	5
	Una ocurrencia por año o seis ocurrencias en cien mil eventos.	4
Baja: relativamente falla poco	Una ocurrencia entre uno y tres años o seis ocurrencias en diez millones de eventos.	3
	Una ocurrencia entre tres y cinco años o dos ocurrencias en un billón de eventos.	2
Remota: no es probable que falle	Una ocurrencia en más de cinco años, o menos de dos ocurrencias en un billón de eventos.	1

**Fuente:** *Criterios a tener en cuenta para la evaluación de la ocurrencia,* (MC DERMONTT, y otros, 1996)

➤ **Número de detectabilidad (ND)**

La detectabilidad es un valor numérico que representa a todos los métodos de detección de los modos de falla, también se mide en una escala del 1-10.

**Tabla 4.** (CORDOVA, 2005)

**Tabla 4:** *Nivel de detectabilidad.*

DESCRIPCIÓN	PROBABILIDAD DE DETECTABILIDAD	NIVEL DE DETECTABILIDAD
Absolutamente incierto	El proceso y el producto no es controlado. No se puede detectar la causa potencial y su modo de falla.	10
Muy remoto	Se inspecciona solo el producto final a partir de un nivel aceptable de calidad.	9
Remoto	Se inspecciona solo el producto final en base a un modelo previamente probado.	8
Muy bajo	Se inspecciona solo el producto manualmente durante todo el proceso ( no hay duda de equipos modernos de control).	7
Bajo	Se inspecciona solo el producto manualmente durante todo el proceso, usando pruebas de ensayo y error.	6
Moderado	El proceso se controla bajo técnicas estadísticas de control de procesos, y el producto es inspeccionado al final del proceso en la línea de producción (25% de automatización).	5
Moderadamente alto	El proceso se controla bajo técnicas estadísticas de control de procesos, y el producto es inspeccionado en dos puntos del proceso en línea de producción (50% de automatización).	4
Alto	El proceso se controla bajo técnicas estadísticas de control de procesos, y el producto es inspeccionado en más de dos puntos del proceso en línea de producción (75% de automatización).	3
Muy alto	El proceso se controla bajo técnicas estadísticas de control de procesos, y el producto es inspeccionado durante el proceso en la línea de producción (100% de automatización).	2
Casi controlado	El proceso se controla bajo técnicas estadísticas de control de procesos, y el producto es inspeccionado durante todo el procesos de la línea de producción (100% de automatización con calibración continua y mantenimiento preventivo de los equipos).	1

**Fuente:** *Criterios a tener en cuenta para la evaluación de detectabilidad* (MC DERMONTT, y otros, 1996)

### 1.3.7.10 Indicadores de mantenimiento

Los indicadores de mantenimiento ayudan a analizar el comportamiento operacional de los equipos, componentes e instalaciones. De este modo, es aplicable a un plan de mantenimiento para perfeccionar sus actividades que desarrollan diariamente y de tal manera obtener una mejor eficiencia. (RAMOS, 2013).

#### ✓ Disponibilidad de un activo

Se define como la capacidad de un equipo, componente para permanecer en un estado (óptimo), de tal manera, pueda realizar sus funciones bajo condiciones dadas en un instante de tiempo, durante un intervalo de tiempo, se asume que los recursos externos e internos necesarios han sido suministrados (SALDAÑA, 2013).

**MTBF:** tiempo medio entre fallas, h/período

**MTTR:** tiempo medio para reparar, h/período

Entonces se tiene:

$$D (\%) = \left( \frac{MTBF - MTTR}{MTBF} \right) \times 100.$$

$$MTBF = \left( \frac{N^\circ \text{ de horas de operación}}{N^\circ \text{ de paradas correctivas}} \right)$$

$$MTTR = \left( \frac{\text{Tiempo total de reparaciones}}{N^\circ \text{ de reparaciones}} \right)$$



✓ **Confiabilidad de un activo:**

Se define como la probabilidad que un equipo, componente realice sus funciones bajo condiciones dadas en un intervalo de tiempo. (SALDAÑA, 2013).

$$R_{(t)} = e^{\left(-\frac{t}{MTBF}\right)}$$

**R(t):** Confiabilidad del activo en un tiempo t; en %

**t:** tiempo que se espera que el activo no falle, h

**MTBF:** tiempo medio entre fallas, h

✓ **Mantenibilidad de un activo:**

Se define como el tiempo promedio requerido para reparar la falla que se ha presentando (MTTR). En modo normal depende del diseño del equipo y del modo en que se haya montado (PRANDA, 1996).

$$M_{(t)} = 1 - e^{\left(-\frac{t}{MTTR}\right)}$$

**M(t):** Mantenibilidad del activo, en (%)

**t:** tiempo que se espera reparar el activo, h

**MTTR:** tiempo medio entre reparación, h

## **1.4 Formulación del problema**

Determinar la mejora en la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad a través de la implementación de la metodología RCM para los scooptrams Caterpillar R1600G de la empresa contratistas mineros y civiles del Perú.

## **1.5 Justificación del estudio**

### **1.5.1. Relevancia tecnológica**

Con la implantación del nuevo sistema de gestión de mantenimiento mejoraremos la disponibilidad de los activos, aplicando estas técnicas de mantenimiento se logrará identificar las fallas, de tal manera se aplicará una estrategia adecuada para una mejor eficiencia de los equipos.

### **1.5.2. Relevancia institucional**

El desarrollo de este proyecto permitirá a los alumnos de la universidad César Vallejo, a tener una mejor perspectiva en la aplicación de un sistema RCM, y cuanto a la empresa permitirá reducir los costos de mantenimiento y en lo personal lograr el reconocimiento de la empresa como autor de este nuevo sistema, que traerá mejores beneficios.

### **1.5.3. Relevancia económica**

Al elaborar este sistema, permitirá a la empresa a obtener un mejor beneficio económico mediante la reducción de costes de mantenimiento, logrando así una mejor disponibilidad y la utilización en altos índices de operación de los activos.

### **1.5.4. Relevancia medio ambiental**

Este trabajo también relaciona a una mejora continua, que involucra el caso polémico de hoy en día como es el cuidado del medio ambiente, esto se lograra tomando medidas adecuadas, evitando derrames de insumos químicos que usan los equipos, a través de inspecciones diarias y solución inmediata de alguna fuga.

## **1.6 Hipótesis**

La implementación de la metodología RCM para los scooptrams Caterpillar R1600G en la empresa Contratistas Mineros y Civiles del Perú en la compañía minera Consorcio Minero Horizonte mejorará la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad de los equipos.

## **1.7 Objetivos**

### **1.7.1. Objetivo General**

Implementar la metodología RCM para los scooptrams Caterpillar R1600G, con la finalidad de mejorar la disponibilidad, en la empresa Contratistas Mineros y Civiles del Perú, compañía minera Consorcio Minero Horizonte S. A.

### **1.7.2. Objetivos Específicos**

- Recopilar información de la actual gestión de mantenimiento, para determinar estado-condición, mediante las cartillas de FMEA (análisis de modos y efectos de falla), y evaluación de la criticidad de los componentes y subsistemas del scooptrams.
- Implantar la metodología RCM, para identificar el contexto operacional y realizar el análisis de mantenibilidad, confiabilidad y disponibilidad de los scooptrams.
- Capacitar al personal, de tal manera contar con mano de obra calificada, para que cuando se presente algún problema complejo se dé la solución inmediata.
- Implementar un almacén estratégico con un stock de repuestos, bien administrados.

## II. MÉTODO

### 2.1. Tipo y diseño de la investigación

El diseño de la investigación es experimental.

Dónde:

<b>G 01 X 02</b>
------------------

G: Scooptrams de minería subterránea.

O1: Disponibilidad de los scooptrams antes de la implementación de la metodología RCM.

X: Mejores resultados mediante la implementación de la metodología RCM.

O2: Disponibilidad actual después de la implementación de la metodología RCM.

### 2.2. Operacionalización de variables

#### 2.2.1 variables independientes

- Estado crítico del equipo.
- Implementación de la metodología RCM para los scooptrams Caterpillar R1600G.

#### 2.2.2 variables dependientes

- Disponibilidad del equipo.

**Tabla 5:** *Operacionalización de variables.*

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
<b>Variable dependiente</b> • Disponibilidad del equipo	El sistema de gestión de mantenimiento es la asertiva y eficiente utilización de los recursos materiales, económicos, humanos y de tiempo para lograr el objetivo de mantenimiento	Se refiera a los reportes diarios de condición, disponibilidad, y capacidad semanal de los scooptrams.	Horómetro inicial	nominal
			Horómetro final	nominal
<b>Variable dependiente</b> • Estado crítico del equipo	Es la determinación de prioridad de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo de los sistemas de equipos mineros, en función de una metodología establecida.	<b>Criticidad global</b> $Criticidad\ Total = Frecuencia * Consecuencia$ $Consecuencia = (Impacto\ Operacional * Flexibilidad\ Operacional) + Costos\ Mantenimiento + Impacto\ Seguridad\ Ambiental\ y\ Humana$	No Crítico	razón
			Semicrítico	razón
			Crítico	razón
Implementación de la metodología RCM para los scooptrams Caterpillar R1600G.	Procedimiento para identificar fallas en equipos de operaciones y clasificar sus efectos y causas, evitar su ocurrencia y tener un método de prevención.	Se refiere al descubrimiento de la falla, su efecto y la forma de ocurrencia y su control para evitarla en un futuro.	frecuencia de fallas	Razón

**Fuente:** *Elaboración propia.*

### 2.3. Población y muestra.

- **Población**

Equipos (scooptrams) de minería subterránea de todas las empresas de la región La libertad

- **Muestra**

Scooptrams de minería subterránea de la empresa contratistas mineros y civiles del Perú, en la compañía minera Consorcio Minero Horizonte.

#### 2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.

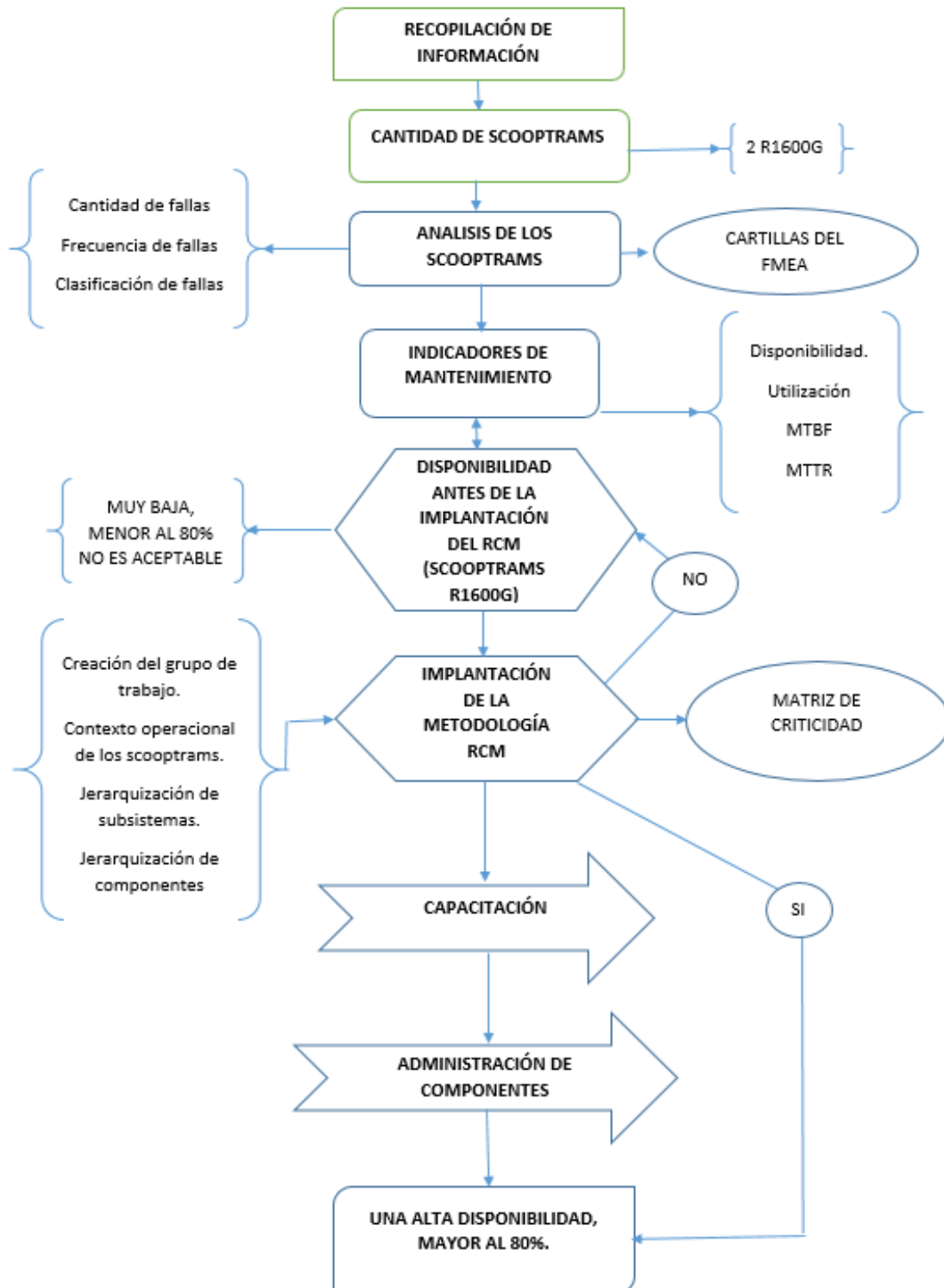
**Tabla 6:** *Técnicas e instrumentos de recolección de datos.*

<b>Técnica</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Objeto</b>	<b>Objetivos</b>
<b>Encuestas</b>	Hojas de encuestas, cuestionario	Personal ejecutivo de gestión y operación.	Para determinar la diversidad y uniformidad de criterios y definir la importancia que se le da a la metodología RCM para los scooptrams.
<b>Cartilla de inspección del equipo antes de poner en marcha.</b>	Cartilla, Fichas técnicas, check list, reportes diarios, cartillas del FMEA.	Equipos, componentes.	Inspeccionar y almacenar la información del equipo antes de poner en marcha, para así hacer cumplir los estándares, así que cuando el equipo entre en la operación sea confiable.

**Fuente:** *Elaboración propia.*

## 2.5. Procedimiento.

A continuación se presenta el procedimiento para resolver los objetivos, aplicando la ingeniería.



## **2.6. Métodos de análisis de datos:**

Se realizarán análisis de condición de los equipos para determinar la confiabilidad y disponibilidad de los scooptrams, mediante recolección de datos y registrando en un historial por cada equipo.

Los parámetros de proceso serán desarrollados con estadística descriptiva.

En el análisis cuantitativo, se aplicará la ingeniería básica:

### **Análisis de ingeniería para la disponibilidad de los equipos.**

- Muestras de análisis de aceite.
- Comprobación de temperatura de los sistemas y ambiente donde operan los equipos
- Rendimiento de todos los equipos.
- Análisis de ultrasonido en sistemas de transmisión y rotación.
- Costos unitarios y totales
- Parámetros de operación de los equipos
- Cálculo de la disponibilidad.

Que permitan realizar la selección de nuevos métodos para lograr la disponibilidad de los equipos reduciendo los costes del mantenimiento.

## **2.7. Aspectos éticos:**

La información presentada en el presente estudio es propia del autor, en base a investigación y aplicación de los conceptos de ingeniería de mantenimiento, mecánica, eléctrica obtenidos en la UCV, sin plagio de ningún tipo.



### III. RESULTADOS

#### 3.1. Recopilación de información de la actual gestión de mantenimiento. Para determinar estado-condición, mediante las cartillas de FMEA (análisis de modos y efectos de falla) y evaluación de la criticidad de los componentes y subsistemas del scooptrams.

Posterior al planteamiento de la tesis se identificó iniciar un programa piloto considerando la flota de SCOOPS – CAT R1600G. Posterior al análisis de resultados se plantea ampliar el plan de trabajo incluyendo los diferentes equipos de la empresa.

##### 3.1.1. Número de scooptrams.

En la **tabla 6**, se muestra el número total de la flota de scooptrams de la empresa CONMICIV, en la unidad minera CONSORCIO MINERO HORIZONTE, se detallan datos importante lo cual se hace mención a continuación.

- **Fecha de llegada**, es un dato importante ya que se considera como punto de partida para la creación de una carpeta de informes, donde se almacenará datos relevantes en cuanto a los acontecimientos que se presenten en el equipo.
- **Código interno del equipo**, es la numeración interna que deben de tener cada equipo, esta codificación ayuda al área de seguridad.
- **Marca y modelo**, especificar la marca y el modelo del equipo, es importante para organizar y obtener datos relevantes como, manuales técnicos, manuales de operación, manual de partes y de tal forma poder acceder a información acerca de la seguridad, parámetros de operación y instalación de componentes.
- **Número de serie del equipo y número de serie del motor**, es muy importante tener el registro, porque mediante estos datos se puede acceder a información relevante por parte del concesionario y fabricante de los equipos.
- **Potencia y capacidad de carga**, información importante porque mediante estos datos se determina, si los equipos son eficientemente empleados y que tanto pueden ayudar en la operación y así para determinar si son productivos o no.

- **Condición de llegada y año de fabricación**, son datos importantes para la implantación del nuevo sistema de mantenimiento.
- **Horómetro de trabajo del motor diésel**, dato importante para llevar el control de horas de trabajo del equipo, este dato nos ayuda para formar la frecuencia y la programación de mantenimiento.

**Tabla 7:** Flota de scooptrams de la empresa CONMICIV.

ÍTEM	FECHA DE LLEGADA	COD. INT CMH	MARCA	MODELO	N° DE SERIE	N/S MOTOR - MODELO	POTENCIA	CAP (Yardas)	LLEGO NUEVO/USADO	AÑO. FAB.	H. DE TRABAJO DE MOTOR DIESEL
1	3/10/2015	SCA-118	CAT	R1300G	LJB01426	3306/R6J03075	165HP	4	USADO/OVERHAUL	2011	12,718.40
2	14/05/2016	SCA-135	CAT	R1300G	LJB01414	R6J00773/CAT 3306	165HP	4	USADO/OVERHAUL	2010	9,509.70
3	17/08/2016	SCA-141	CAT	R1600G	9PP00244	3176 C/7ZR27462	270 HP	6	USADO/OVERHAUL	2013	8,192.60
4	24/01/2017	SCA-151	CAT	R1300G	LJB01419	X10Z54348/3606	165 HP	4	USADO/OVERHAUL	2012	7,406.80
5	22/02/2017	SCA-154	CAT	R1600H	9SD00251	TXE11956/C11	270 HP	6	NUEVO	2016	7,756.00
6	28/05/2017	SCA-158	CAT	R1300G	ONJB00288	R6J03291/3306	165 HP	4	NUEVO	2016	5,378.40
7	28/07/2017	SCA-160	CAT	R1600G	9YZ00651	7ZR26014/3176	270 HP	6	USADO/OVERHAUL	2013	5,937.60
8	6/10/2017	SCA-163	CAT	R1300G	ONJB00371	0R6J03457/3306B	165 HP	4	NUEVO	2016	4,410.00

**Fuente:** Tomado de Área Planeamiento - *CONTRATISTAS MINEROS Y CIVILES DEL PERÚ 2018*

### 3.1.2. Análisis de los scooptrams.

A medida del desarrollo de las operaciones mineras, los scooptrams cumplen una función muy importante, lo cual es carga y descarga de materiales (mineral, desmonte), estas funciones diarias ocasionan un deterioro en los subsistemas, infraestructura y equipo en general.

Las condiciones en las que operan, las malas maniobras de operación por parte del operador y como también un servicio deficiente en los mantenimientos preventivos y correctivos, hacen que estos equipos no sean vulnerables a una falla, es por ello que no se ha logrado reducir los eventos de fallas.

Para poder desarrollar un mejor análisis, es primordial conocer las causas y los efectos que traen consigo, como también las ineficiencias de la actual gestión.

✓ **Análisis de las fallas.**

El análisis de falla consistió en la recopilación de información de eventos de las fallas que se registró anteriormente en los equipos, con el único fin de utilizarlos posteriormente en los estudios y realizar un análisis estadístico que nos permitirá conocer el comportamiento de las fallas que paulatinamente se presentan en cada uno de los equipos.

✓ **Frecuencia de las fallas.**

Dentro de la empresa existen un total de 23 equipos, dentro de ellos se tiene un total de 8 scooptrams.

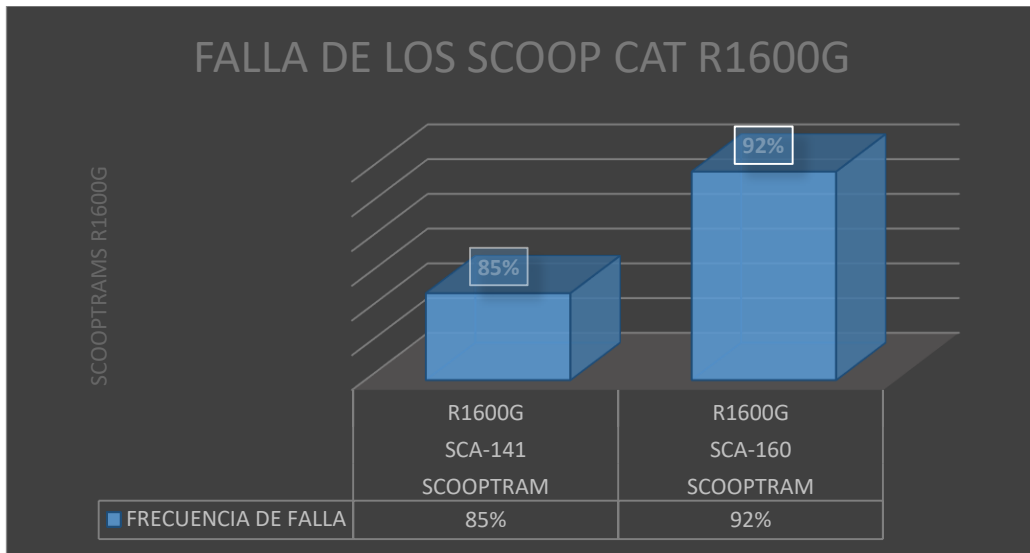
Para esta investigación se utilizó información de los scooptrams R1600G, considerado un equipo de alto valor para las operaciones de producción, pero que a la vez tienen los índices más bajos de disponibilidad y operación. En primera instancia se identificó la cantidad de las fallas, luego se ordenó y clasificó de acuerdo al tipo de falla.

El número total de fallas se muestra en la **Tabla 7**.

**Tabla 8:** *Fallas en porcentaje de los scooptrams.*

EQUIPO	CÓDIGO INTERNO	MODELO	FRECUENCIA DE FALLA
SCOOPTRAM	SCA-141	R1600G	85%
SCOOPTRAM	SCA-160	R1600G	92%

**Fuente:** *Elaboración propia.*



**Figura 16:** Frecuencia de fallas de los scooptramas R1600G en porcentajes.  
Fuente: Elaboración propia.

✓ **Clasificación de fallas para cada equipo.**

Es importante clasificar las fallas de acuerdo a cada subsistema del equipo. Comprenden los siguientes: fallas en subsistema motor, fallas en el subsistema transmisión, fallas en el subsistema hidráulico, fallas en el subsistema eléctrico y fallas en la estructura del equipo.

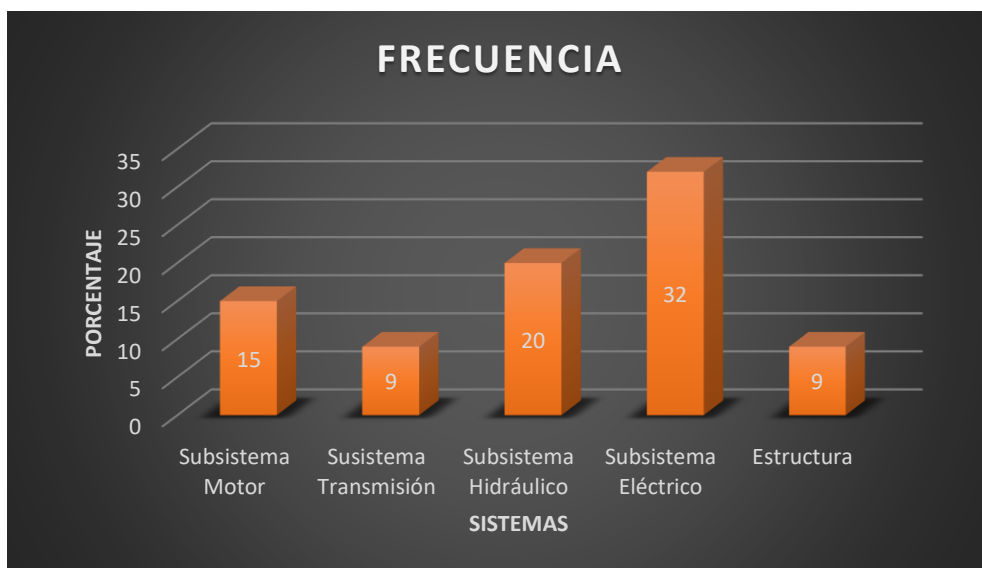
**Fallas del scooptram Caterpillar R1600G, SCA -141.**

Mediante la siguiente tabla se aprecia las fallas de acuerdo al sistema y con qué frecuencia es que se presentan en el equipo.

**Tabla 9:** Fallas del equipo por sistema.

FALLAS POR SUBSISTEMA DEL SCOOPTRAMS R1600G - SCA 141	
FALLA	FRECUENCIA
Subsistema Motor	15
Subsistema Transmisión	9
Subsistema Hidráulico	20
Subsistema Eléctrico	32
Estructura	9
<b>TOTAL</b>	<b>85</b>

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 17:** Frecuencia de las fallas por sistema del scooptrams SCA-141.  
Fuente: Elaboración propia.

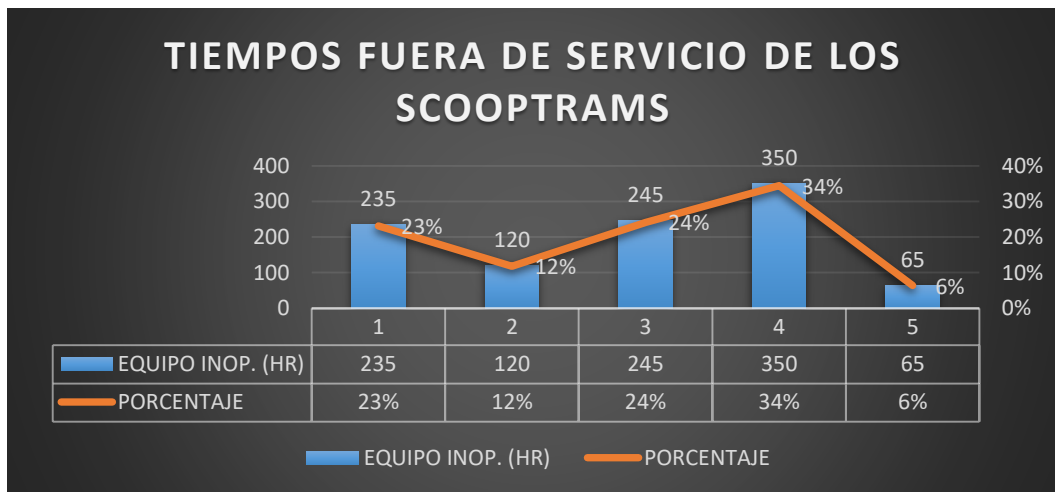
El resultado que se obtiene es que la mayoría de averías que presentó el equipo se dio en el sistema eléctrico con una frecuencia de 32% de acuerdo a las horas totales de falla del equipo.

En la siguiente **Tabla 9**, se muestra, tiempo en horas que el equipo estuvo en condición de inoperativo (EQUIPO INOP.), respecto a cada sistema.

**Tabla 10:** Tiempo de parada en horas y porcentaje de acuerdo al sistema del scoop.

FALLA POR SISTEMA	EQUIPO INOP. (HR)	PORCENTAJE
Subsistema Motor	235	23%
Subsistema Transmisión	120	12%
Subsistema Hidráulico	245	24%
Subsistema Eléctrico	350	34%
Estructura	65	6%
<b>TOTAL</b>	<b>1015</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 18:** Representación de tiempos de parada del scoop en horas y porcentaje.  
*Fuente:* Elaboración propia.

En el cuadro anterior se muestra que el equipo estuvo inoperativo por problemas en el subsistema eléctrico en una escala de mayor tiempo (34%) y en una escala de menor tiempo (6%) por problemas en la estructura, lo cual significa que por problemas de estructura estuvo menos horas en condición de inoperativo.

La falla que tiene mayor índice de tiempo y porcentaje se dio por la presencia de averías en el ECM del motor diésel, lo que ocasionó que el equipo este en condición de inoperativo por varios días.

#### **Fallas del scooptram Caterpillar R1600G SCA-160.**

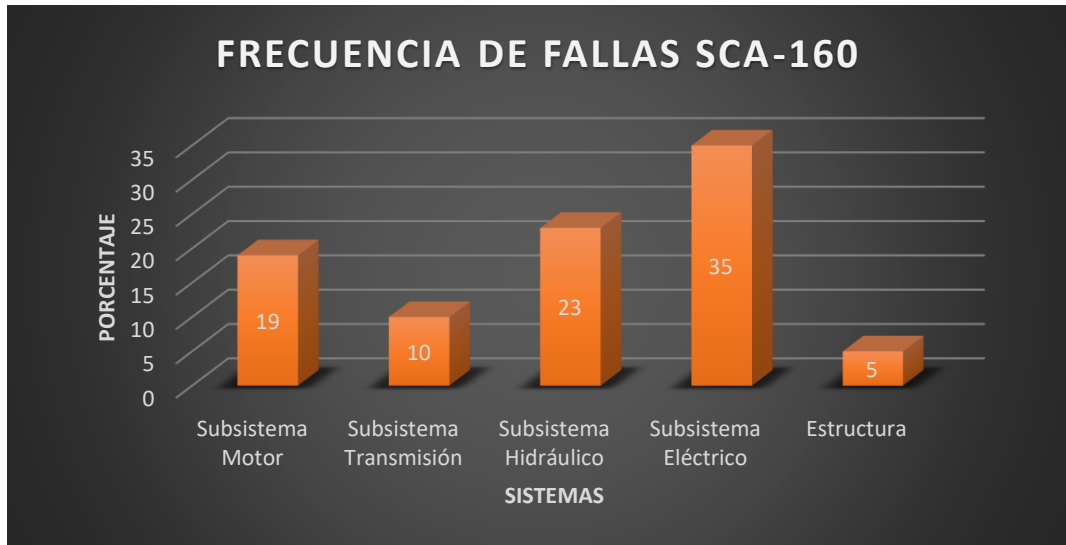
En la siguiente tabla se muestra la frecuencia de las fallas que presentó el equipo SCA-160.

**Tabla 11:** Frecuencia de fallas del SCA-160.

FALLAS POR SUBSISTEMA DEL SCOOPTRAMS R1600G - SCA 160	
FALLA	FRECUENCIA
Subsistema Motor	19
Subsistema Transmisión	10
Subsistema Hidráulico	23
Subsistema Eléctrico	35
Estructura	5
<b>TOTAL</b>	<b>92</b>

**Fuente:** *Elaboración propia.*

En este equipo se presentó una mayor cantidad de fallas en comparación del SCA-141, esto nos quiere decir que tuvo un menor índice de disponibilidad y utilización.



**Figura 19:** Clasificación de fallas según el subsistema del equipo. Fuente: Elaboración propia.

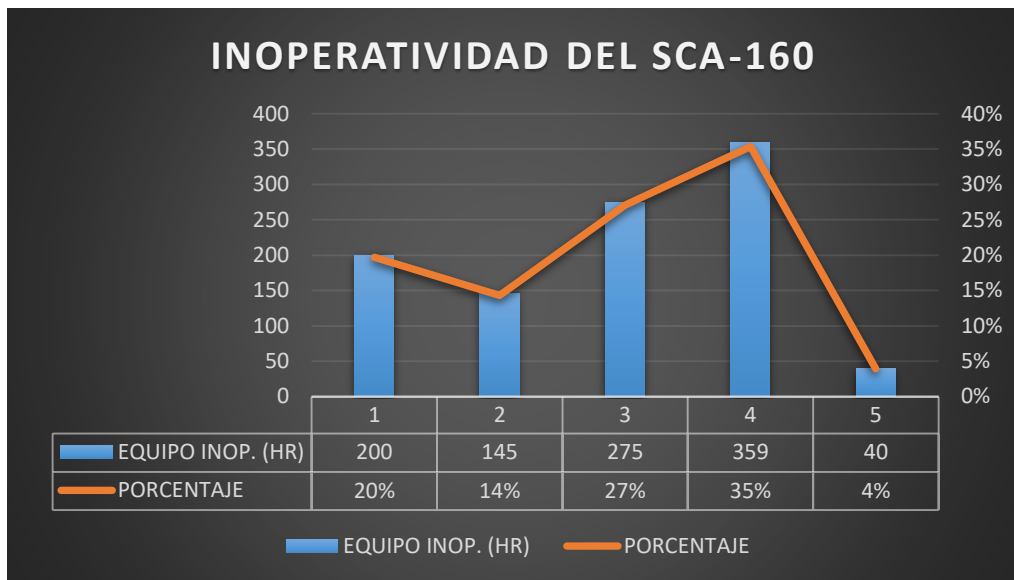
En el SCA-160 también presento un alto índice de presencia de fallas debido a problemas en el subsistema eléctrico, estos problemas se presentaron muy consecutivamente, afectando en la operación.

En la **Tabla 12**, se observa los tiempos de inoperatividad del equipo en horas, y está separado las horas de parada para cada subsistema. Esta comparación se realiza para determinar qué sistema está siendo el más crítico y perjudicando en las operaciones.

**Tabla 12:** Inoperatividad del SCA-160, contabilizado en horas.

FALLA POR SISTEMA	EQUIPO INOP. (HR)	PORCENTAJE
Subsistema Motor	200	20%
Subsistema Transmisión	145	14%
Subsistema Hidráulico	275	27%
Subsistema Eléctrico	359	35%
Estructura	40	4%
<b>TOTAL</b>	<b>1019</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 20:** Representación de los tiempos de inoperatividad del SCA-160. Fuente: elaboración propia.

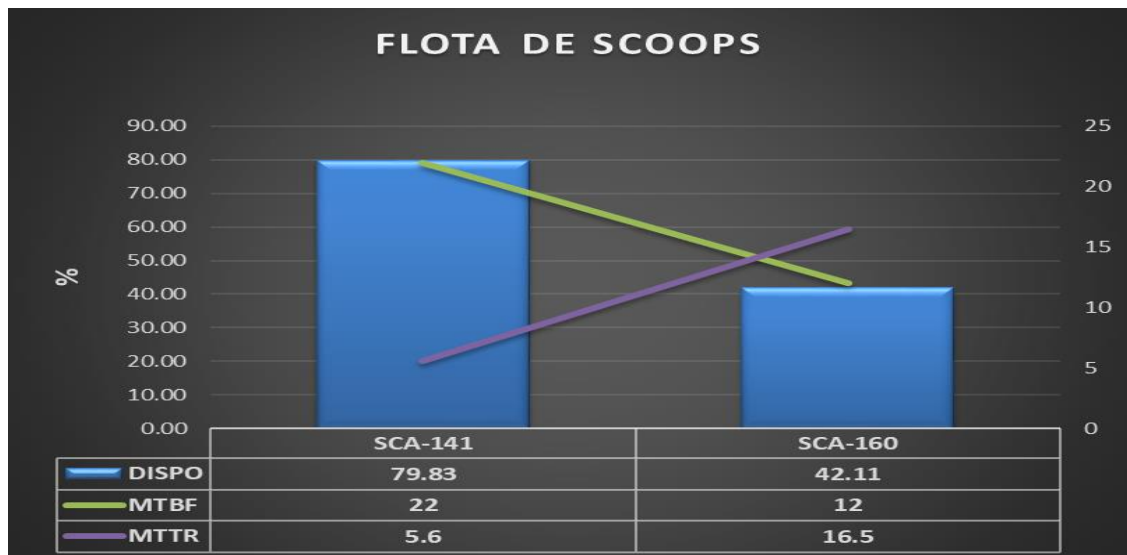
En la tabla anterior se demuestra que el equipo estuvo más horas en condición de inoperativo, se hace mención que el scooptram viene operando en menor tiempo en la unidad, pero es el equipo que más averías presentó, siendo el más crítico el subsistema eléctrico y subsistema hidráulico. Es por ello que consideramos a estos dos equipos para realizar el programa piloto en la implantación de la metodología RCM para los scooptrams.

### 3.1.3. Indicadores de mantenimiento de los scooptrams R1600G.

La siguiente figura de datos y resultados estadísticos de acuerdo a los indicadores, se observa por barras y líneas, las barras de color azul es la disponibilidad en porcentaje para cada equipo.

Los indicadores como el MTBF (tiempo medio entre fallas), y MTTR (tiempo medio para la reparación), esta diferenciado a través de líneas, la línea verde es el MTBF, y la línea morada es el MTTR, son datos para poder calcular la disponibilidad de los scooptrams.





**Figura 21:** *Indicadores de mantenimiento (disponibilidad y utilización)* Fuente: Tomado de Area Planeamiento - *CONTRATISTAS MINEROS Y CIVILES DEL PERÚ 2018.*

**Cálculo de la disponibilidad.**

Cálculo de disponibilidad para el scooptrams SCA-141.

$$D (\%) = \left( \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \right) \times 100$$

Remplazando valores.

$$D (\%) = \left( \frac{22}{22 + 5.56} \right) \times 100$$

$$D(\%) = 79.83$$

Cálculo de disponibilidad para el scooptrams SCA-160.

$$D (\%) = \left( \frac{12}{12 + 16.5} \right) \times 100$$

$$D(\%) = 42.11$$

Mediante la aplicación de la tabla lógica, como también mediante la aplicación de la fórmula se obtienen los resultados exactos de la disponibilidad de los scooptrams. Para el SCA-141 una disponibilidad del 79.83%, y para SCA-141 una disponibilidad 42.11%, siendo índices muy bajos para lograr los objetivos de la empresa. Es por ello que se debe tener más prioridad y trabajar en estos equipos para levantar la disponibilidad, por tal motivo se tomó la decisión de empezar la implantación del nuevo sistema de gestión de mantenimiento con metodología RCM, a los scooptrams R1600G.

### **Cálculo de confiabilidad:**

Confiabilidad del SCA-141

$$R_{(t)} = e^{(-\frac{t}{MTBF})}$$

Reemplazando valores:

$$= e^{(-\frac{24}{22})} * 100$$

$$= 0.34*100$$

$$R_{(t)} = 34\%$$

Confiabilidad del SCA-160

$$R_{(t)} = e^{(-\frac{t}{MTBF})}$$

Reemplazando valores:

$$= e^{(-\frac{24}{12})} * 100$$

$$= 0.14*100$$

$$R_{(t)} = 14\%$$

### **Cálculo de la mantenibilidad:**

Mantenibilidad del SCA-141

$$M_{(t)} = 1 - e^{\left(-\frac{t}{MTTR}\right)}$$

$$= 1 - e^{\left(-\frac{24}{5.6}\right)}$$

$$= 0.98 * 100$$

$$M_{(t)} = 98\%$$

Mantenibilidad del SCA-160

$$M_{(t)} = 1 - e^{\left(-\frac{t}{MTTR}\right)}$$

$$= 1 - e^{\left(-\frac{24}{16.5}\right)}$$

$$= 0.77 * 100$$

$$M_{(t)} = 77\%$$

Se pudo calcular a través de la fórmula de la confiabilidad y mantenibilidad, y obtener datos reales, siendo una confiabilidad muy baja para el scooptram SCA-160 con un 14%, eso quiere decir que si el equipo sale a las operaciones puede fallar en cualquier momento, al igual la mantenibilidad del equipo estaba en un índice muy bajo con un 77%.

Para el SCA-141 se logró obtener datos de la confiabilidad con un 34% mientras que la mantenibilidad estaba en un índice de 98%. Se resume que los equipos tenían índices muy bajos de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad, es por eso que se dio prioridad trabajar y empezar a implantar la metodología RCM en los scooptram R1600G.

### **3.1.4. Diseño de cartillas FMEA para scooptrams.**

Después de tener una información detallada y organizada, se realizará la evaluación a los componentes de todos los scooptrams y para ello se utilizará las cartillas del FMEA (evaluación de modos y efectos de falla).

En las tablas se detalla los modos de falla y los efectos que traerán consigo si se manifestasen en el equipo, y también se describe las posibles causas que originan los modos de falla.


Con el cálculo del Número de Prioridad de Riesgo, se determinará que elemento es el más crítico, para dar prioridad y realizar trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo.

Posterior al análisis de todos los modos de falla y su efecto que las origina, se realiza las cartillas del FMEA, para las posibles soluciones de cada modo de falla.

#### **➤ Cartilla FMEA para subsistema hidráulico.**

Se realizó las cartillas FMEA, considerando los principales componentes que forman el subsistema hidráulico.

**Tabla 13:** FMEA para scooptrams, subsistema hidráulico.


	ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA									
	Equipo: Scooptram		Modelo: R1600G		Elaborado por:			Fecha:		Pag.:
	Subsistema: Hidráulico		Código: SCA-141		Evaluador: Jorge Avila Rodríguez			Fecha:		
COMPONENTE/ FUNCIÓN	CÓDIGO DE FALLA	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	N°	CAUSA DE FALLA	ESTADO ACTUAL				
						NS	NO	ND	NPR	ESTADO
<b>Bomba hidráulica</b> Transforma la energía mecánica en energía hidráulica, impulsando un caudal el fluido hacia los elementos hidráulicos (actuadores).	FH-01	Ruido raro.	Daños en la bomba hidráulica.	1	Presencia de elementos contaminantes en el aceite.					
				2	Mala instalación					
	FH-02	Desgaste	Pérdida de presión.	1	Aceite no cumple con las especificaciones.					
				2	Partículas contaminantes en el aceite.					
	FH-03	Cavitación	Desgaste prematuro en las paredes internas de la bomba, alta temperatura, perdida de presión y ruido excesivo.	1	Distancia extensa entre el tanque y la bomba.					
				2	Excesivas RPM de la bomba					
				3	Obstrucción del filtro de entrada de la bomba.					
	FH-04	Defecto	Descontrol de la bomba con flujo excesivo de caudal.	1	Desgaste de la válvula de alivio(no regula)					
	FH-05	Recalentamiento	Pérdida de caudal.	1	Fugas en el interior de la bomba.					
	FH-06	Aireación	Elevadas temperaturas de la bomba, desgaste prematuro de los componentes.	1	Respiradero de tanque saturado					
				2	Fugas de aceite en la succión de la bomba.					
				3	Sellos defectuosos					
				4	Presencia de agua en el aceite.					

**Fuente:** Elaboración propia.

➤ **FMEA para corrección de fallas subsistema hidráulico.**

Una vez desarrollado los FMEA para detectar los modos y efectos de la falla, se desarrolla un FMEA para corregir las fallas **Tabla 14**, donde detalla las posibles soluciones para cada avería, siempre se debe dar prioridad a las fallas mas críticas.

**Tabla 14:** Tabla modos y efectos de falla, posibles soluciones del subsistema Hidráulico.

	ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA									
	Equipo: Scooptrams		Modelo: R1600G		Elaborado por:		Fecha:		Pag.:	
	Subsistema: Hidráulico		Código: SCA-141		Evaluador: Jorge Avila Rodríguez		Fecha:			
COMPONENTE/ FUNCION	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	CAUSA DE FALLA	ACCIONES CORRECTIVAS	RESPONSABLE	ESTADO ACTUAL				
						NS	NO	ND	NPR	ESTADO
<b>Bomba hidráulica</b> se encarga de transformar la energía mecánica en energía hidráulica mediante un fluido.	Ruido anormal	Daño a la bomba hidráulica	Desgaste abrasivo entre engranajes	Sustitución de la bomba hidráulica (CARTRIDGE)						
	Cavitación	Elevadas temperaturas de la bomba, desgaste prematuro de los componentes.	Excesivas RPM de la bomba	Reparación de la bomba hidráulica.						
			Obstrucción del filtro de entrada de la bomba.	Reemplazar filtro de succión de la bomba.						
	Defecto	Descontrol de la bomba con flujo excesivo de caudal.	Desgaste de la válvula de alivio (no regula).	Cambiar válvula d alivio						
	Recalentamiento	Pérdida de caudal.	Fugas en el interior de la bomba.	Cambio de sellos de la bomba.						
	Aireación	Elevadas temperaturas de la bomba, desgaste prematuro de los componentes.	Respiradero de tanque saturado	Cambio del respirador de tanque hidráulico						

Fuente: *Elaboración propia.*


➤ **Diseño de cartilla FMEA para subsistema motor diésel.**

Después de tener una data de motores diésel del scooptrams se procede a diseñar las cartillas del FMEA, para determinar los modos y efectos de falla **Tabla 15**, y así evaluar las fallas más críticas y de tal manera poder crear las estrategias de solución.

A continuación, se muestra las cartillas de los FMEA para analizar los modos y efectos de falla, y seguido a ello se muestran las cartillas **Tabla 16**, de las posibles soluciones de los modos de falla encontrados en el motor diésel.




**Tabla 15:** FMEA análisis de modo y efecto de falla, para subsistema motor scooptrams R1600G.

	ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA									
	Equipo: Scooptrams		Modelo: R1600G		Elaborado por:			Fecha:		Pag.:
	Subsistema: Motor		Código: SCA-141		Evaluador: Jorge Avila Rodríguez			Fecha:		
COMPONENTE/ FUNCION	CÓDIGO DE FALLA	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	N°	CAUSA DE FALLA	ESTADO ACTUAL				
						NS	NO	ND	NPR	ESTADO
<b>Block de motor</b> Alojar el tren alternativo, como cigüeñal, eje de levas, bielas y pistones.	FM-01	Deformación	Desalineación de los elementos móviles	1	Choque térmico					
				2	Impacto externo					
				3	Sobrecalentamiento					
	FM-02	Fisuras	Filtración de líquido refrigerante al aceite	1	Choque térmico					
				2	Impacto externo					
<b>Pistón</b> Recibir directamente la presión producida por la combustión de los gases y transmitir fuerza a la biela para su desplazamiento.	FM-3	Desgaste	Consumo anormal del aceite por la lubricación	1	Pistón rayado					
				2	Aceite de lubricación incorrecto					
				3	Pernos del pistón desgastados					
	FM-04	Fractura	El motor no cumple con la potencia requerida Presencia de fracturas en el pistón	1	Mala instalación del pistón					
				2	Luz entre el pistón/cilindro, inadecuado					
	FM-05	Agarrotamiento	Grietas en el agujero para el pasador	1	Interferencia en el desplazamiento del pistón por materias extrañas.					
				2	Cepillado inadecuado por defecto de fabricación.					
			Sobrecalentamiento de la corona	1	Pulverización del combustible inadecuada.					
				2	Cetano escaso en el Combustible.					
				3	Exceso de combustible por parte de la bomba de inyección.					
			Sobrecalentamiento de la falda	1	Falta de lubricación					
	2	Falta de refrigeración								

Fuente: *Elaboración propia.*

**Tabla 16:** Análisis de modos y efectos de falla, y posibles soluciones subsistema motor, Scooptrams R1600G.

	ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA									
	Sistema: Scooptrams		Modelo: R1600G		Elaborado por:			Fecha:		Pag.:
	Subsistema: Motor		Código: SCA-141		Evaluador: Jorge Avila Rodríguez			Fecha:		
COMPONENTE/ FUNCION	MODO DE FALLA	N°	CAUSA DE FALLA	ACCIONES CORRECTIVAS	RESPONSABLE	ESTADO				
						S	O	D	NPR	NUEVO ESTADO
<b>Block de motor</b> Alojar el tren alternativo, como cigüeñal, eje de levas, bielas y pistones.	Deformación	1	Recalentamiento.	Inspección del motor, verificar funcionamiento del sistema de refrigeración..						
<b>Pistón</b> Recibir directamente la presión producida por la combustión de los gases y transmitir fuerza a la biela para su desplazamiento.	Desgaste	1	Aceite de mala calidad, no se cumple la frecuencia de cambio de aceite.	Utilizar aceite que cumpla con las especificaciones del fabricante, cumplir con la frecuencia de cambio de aceite.						
	Fractura	2	Mala instalación del pistón	Realizar pruebas de compresión si no está entre los estándares, reparar.						
<b>Anillos del Pistón</b> impedir que los gases producto de la combustión pasen o tengan contacto con el aceite de lubricación en el cárter del motor.	Desgaste	1	Anillos de pistón pegados	Realizar pruebas, de ultrasonido, reparar						
	Fractura	2	Dañado durante la instalación del pistón en camisa	Rectificar camisa de los cilindros, cambiar juego de anillos.						

**Fuente:** *Elaboración propia.*

➤ **Diseño de cartilla FMEA para subsistema Eléctrico.**

Se realizó las cartillas FMEA, considerando los principales componentes que conforman el subsistema eléctrico, en la **Tabla 17** se muestra los FMEA para analizar los modos y efectos de falla y en la **Tabla 18** se muestra el FMEA con las posibles soluciones.

**Tabla 17:** Análisis de modos y efectos de falla, subsistema eléctrico scooptram R1600G.



ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA										
<b>Sistema:</b> Scooptrams		<b>Modelo:</b> R1600G		<b>Elaborado por:</b>			<b>Fecha:</b>		<b>Pag.:</b>	
<b>Subsistema:</b> Eléctrico		<b>Código:</b> SCA-141		<b>Auditor:</b> Jorge Avila Rodríguez			<b>Fecha:</b>		<b>De:</b>	
COMPONENTE/ FUNCION	CÓDIGO DE FALLA	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	N°	CAUSA DE FALLA	ESTADO ACTUAL				
						NS	NO	ND	NPR	ESTADO
<b>Batería</b> Acumula energía eléctrica que proporciona el alternador y envía energía eléctrica para demás componentes.	EF-01	Recalentamiento	Malformación de la batería	1	Bajo nivel de electrolito.					
				2	Almacena demasiada energía.					
	EF-02	Fuga del electrolito	Perdida de Electrolito, recalentamiento.	1	Sello de la batería deteriorado					
				2	Tapones de las celdas defectuosos					
EF-03	No almacena energía	Desgaste de las placas internas.	1	Bajo nivel de electrolito.						
			2	Termino de vida útil.						
EF-04	Se descarga con facilidad	El motor no arranca.	1	Desgaste de las placas internas de plomo, bajo nivel de electrolito, Culmino de vida útil.						
<b>Motor de arranque</b> su función es de convertir la energía eléctrica en energía mecánica para poner en funcionamiento al motor diésel.	EF-05	No llega energía	Equipo no arranca	1	Cables seccionados.					
				2	Batería en mal estado.					
	EF-06	Le llega energía pero el motor no gira	No funciona el motor de arranque	1	Desgaste en los campos del estator y rotor					
				2	Los carbones no cumplen su función.					
	EF-07	Llega energía pero el bendis no se activa	El bendis no se activa, motor de arranque no hace girar la volante del motor	1	Mal funcionamiento de la bobina.					
				2	Desgaste en la bobina					
				3	Horquilla que empuja el bendis, rota.					
<b>Alternador</b> dispositivo que genera energía eléctrica para mantener cargada la batería.	EF-09	Alternador no carga.	No envía energía a la batería, batería no mantiene la carga.	1	Rotura de fajas.					
				2	Devanado interno presenta desgaste.					
	EF-10	No regula la cantidad de voltaje	Descontrol de carga de la batería ocasionando recalentamiento.	1	Regulador de voltaje averiado					
2				Circuito sulfatado.						
EF-11	No rectifica la corriente	Corto circuito en el sistema	1	Diodos rectificadores, averiados.						

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 18:** Análisis de modos y efectos de falla y posibles soluciones subsistema eléctrico Scooptrams R1600G.

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLA										
Tema: Scooptrams		Modelo: R1600G		Elaborado por:		Fecha:		Pag.:		
Subsistema: Eléctrico		Código: SCA-141		Auditor:		Fecha:		De:		
COMPONENTE/ FUNCION	MODO DE FALLA	N°	CAUSA DE FALLA	ACCIONES CORRECTIVAS	RESPONSABLE	ESTADO				
						NS	NO	ND	NPR	NUEVO ESTADO
<b>Batería</b> Acumula energía eléctrica que proporciona el alternador y envía energía eléctrica para demás componentes.	Recalentamiento	1	Bajo nivel de electrolito.	Agregar electrolito						
		2	Almacena demasiada energía.	Inspeccionar regulador de voltaje						
	Fuga del electrolito	1	Sello de la batería deteriorado	Cambiar sellos						
		2	Tapones de las celdas defectuosos	Ajustar, cambiar tapones.						
	No almacena energía	1	Bajo nivel de electrolito.	Rellenar electrolito						
		2	Termino de vida útil.	Cambiar batería						
Se descarga con facilidad	1	Desgaste de las placas internas de plomo, bajo nivel de electrolito, Culmino de vida útil.	Cambiar batería							
<b>Motor de arranque</b> su función es de convertir la energía eléctrica en energía mecánica para poner en funcionamiento al motor diésel.	No llega energía	1	Cables seccionados.	Cambiar cableado.						
		2	Batería en mal estado.	Cambiar batería						
	Le llega energía pero el motor no gira.	1	Desgaste en los campos del estator y rotor	Cambiar y reparar motor de arranque						
		2	Los carbones no cumplen su función.	Cambiar componentes.						
	Llega energía pero el bendis no se activa	1	Mal funcionamiento de la bobina.	Cambiar bobina de arranque						
		2	Desgaste en la bobina	Cambiar bobina de arranque						
		3	Horquilla que empuja el bendis, rota.	Cambiar Horquilla.						
	Sonido extraño	1	Mala calidad del engranaje.	Cambiar un engrane nuevo de buena calidad						
2		Se queda pegado el bendis después de dar arranque	Cambiar bendis.							
<b>Alternador</b> dispositivo que genera energía eléctrica para mantener cargada la batería.	Alternador no carga.	1	Rotura de fajas.	Cambiar fajas.						
		2	Devanado interno presenta desgaste.	Cambiar alternador y reparar.						
	No regula la cantidad de voltaje	1	Regulador de voltaje averiado	Cambiar regulador de voltaje.						
		2	Circuito sulfatado.	limpiar o cambiar circuito.						

**Fuente:** *Elaboración propia.*

### **3.2. Implantación de la metodología RCM para identificar las averías en los equipos haciendo cumplir procesos del nuevo sistema de gestión de mantenimiento.**

#### **3.2.1. Creación del Equipo de trabajo.**

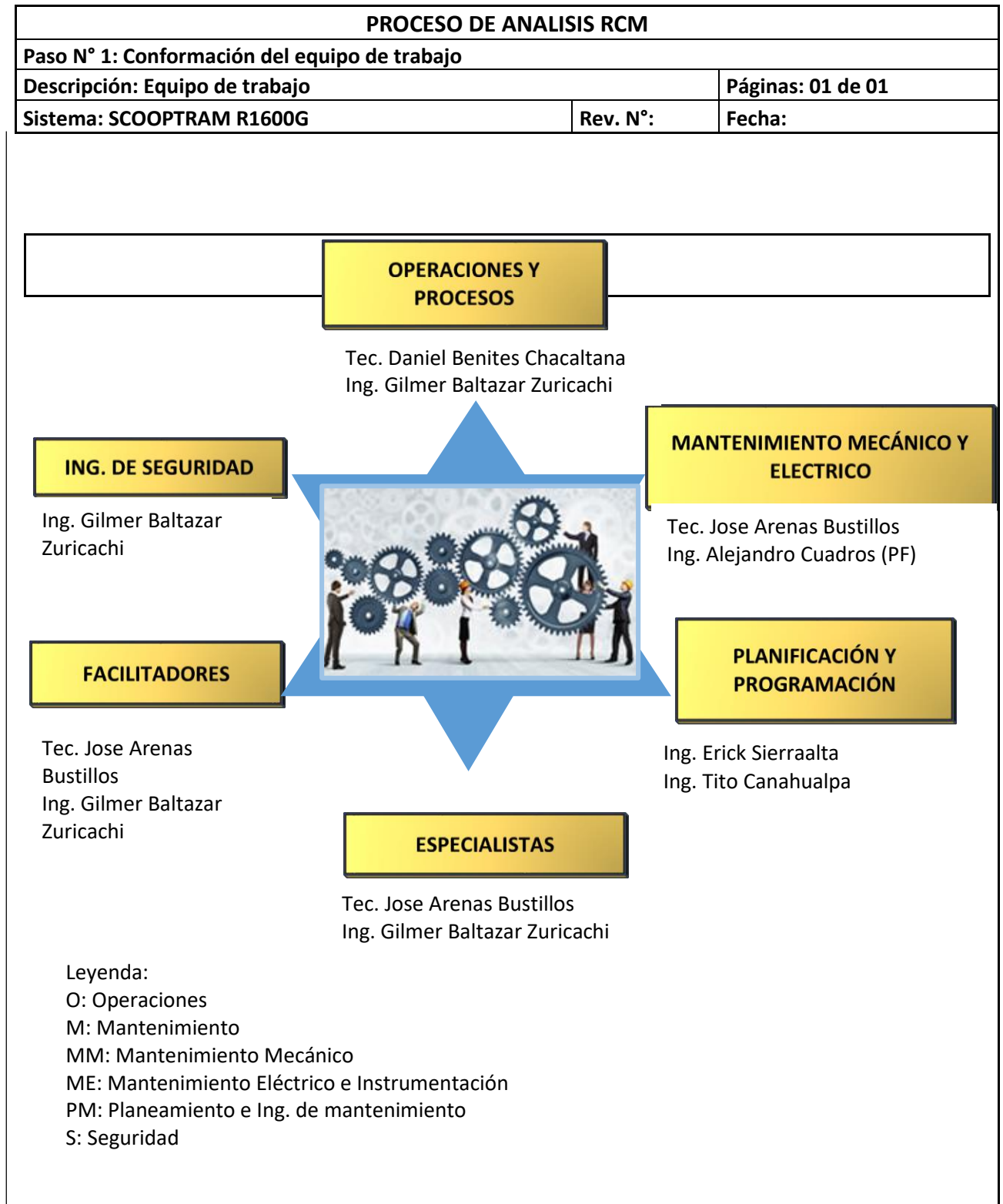
Durante del mes de octubre del año 2018, se presentó la propuesta del nuevo sistema de gestión de mantenimiento con la metodología RCM, el área de gerencia y residencia de la empresa contratistas mineros y civiles del Perú, aprobaron la propuesta en diciembre del año antes mencionado y la implantación se realizó en enero del presente año.

De inmediato se llamó a reunión al personal de todas las áreas involucradas al proceso de las operaciones mineras, de tal manera se logró conformar un equipo de trabajo para el desarrollo del nuevo sistema con metodología RCM.

Las áreas involucradas en el proceso fueron, jefatura del área de mantenimiento, supervisión de mantenimiento, jefatura de logística, ing. de planeamiento, personal técnico mecánico, personal técnico electricista y personal del área de seguridad.

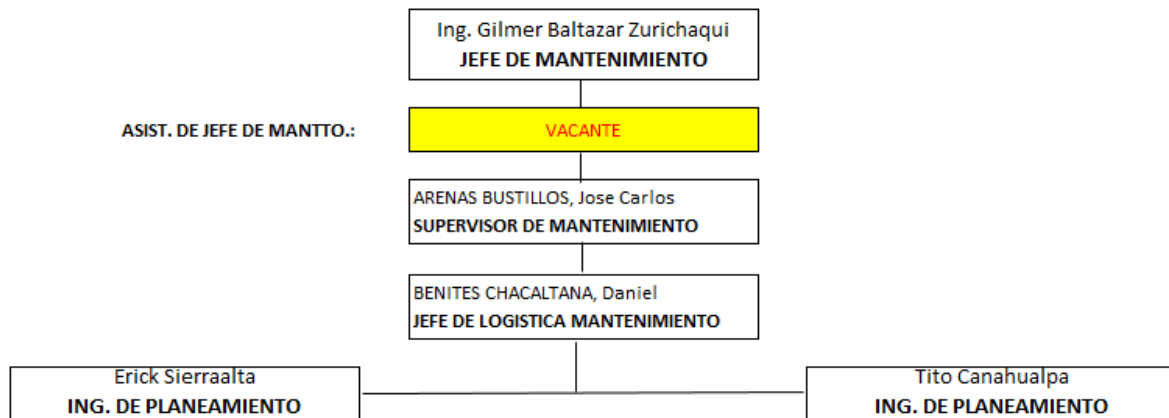
En la siguiente **Tabla 19** se detalla la formación del equipo de trabajo, seguido a ella se aprecia el organigrama actual del personal de toda el área de mantenimiento de la empresa CONMICIV.

**Tabla 19:** *Formación del equipo de trabajo.*



**Fuente:** *Elaboración propia del autor.*

Creación del organigrama del área de mantenimiento.



MECANICOS DE TRACKLESS			
CATEGORIA	GUARDIA A	GUARDIA C	GUARDIA B
M1 SCOOP	ORELLANA GONZALES, Roberto Carlos	TERAN GAMEZ, Larry Martin	ENRIQUE INGA, Gelacio Valerio
M1 SCOOP	CONDORI MEZA, efrain	VACANTE	INGA ALMODACID, Abraham
M2 SCOOP	DE LA CRUZ VALDERA, Vilmer	CENTENO TRINIDAD, Jose Amado M2	PILLACA QUISPE, Luis Alberto
M3 SCOOP	TACURI CACERES, Elvan (M3)	INGA MEZA, Antonio M2	MALLMA INGA, Marco Antonio
M1 JUMBO	RASHUAMAN HERRERA, Paul	YUCA TAIPE, Josep	HENRY MENDOZA POMASUNCU
M2 JUMBO	RODRIGUEZ ROJAS, Neptali Ausberto	TOLENTINO SAMAR, Jhon Edward M2	VACANTE
M2 JUMBO	CABALLERO MANRIQUE, Cesar Jhonatan M3	CARRASCO PEREZ, JYMI M2	QUISPE QUEZADA, Emerson Royer M2
M3 JUMBO	LOAYZA CABRERA CESAR (M3)	BALDEON LEON, Carlos Alberto (M3)	HARO ESPINOLA, Yois Charli M2
M3 JUMBO	PLASENCIA CASTAÑEDA Luis Fernando M3		
M1 (SOSTENIMIENTO)	FERNANDEZ OBLITAS, Wilson	CUSI TICLLACURI, Eduardo	IVAN RENGIFO QUIROZ
M2 (SOSTENIMIENTO)	LAZARTE MORENO, Christian Juan	VACANTE	BERROCAL CORDERO, Percy
ELECTRICISTA DE EQUIPOS (SCOOPS, JUMBOS Y SOSTENIMIENTO)			
E1 MANTTO	LEON VICTORIO, Julver	RIVERA CASAS MESIAS	BLAS CHAUPIN, Walter
E2 MANTTO	LAURENTE LLUYAC, Raul	ZAMORA NAVARRO, Jesus	CIRO ALEGRE HUAMAN (E1)
E1 SOSTENIMIENTO	SALAZAR LEON, Etson (E3)	HUAMANI VILCA HECTOR	VACANTE
SOLDADOR / BARRENADOR			
SB1	MENDOZA SIMON, Eduar Javier	QUISPE COLQUE, Rolando	MENDOZA SIMON, Eddy Nelson
MECANICOS DE NEUMATICOS			
M2	VACANTE	PAUCAR CUADROS, Jose	VACANTE
ALMACEN MANTENIMIENTO			
LOGISTICA	CONTRERAS GALINDO, David	BERRU VELIZ, Carlos Andres	MUNARRIZ SALVATIERRA, FREDY

Figura 22: organigrama del personal de mantenimiento CONMICIV. Fuente: Elaboración propia.



Es necesario poder generar la sinergia entre las diversas áreas, en tal sentido se creó un equipo de trabajo con un representante de cada área, el cual será el responsable de encaminar los diversos trabajos y así lograr los objetivos según lo proyectado en el nuevo sistema de gestión de mantenimiento. Para lograr dichos objetivos se creó una tabla con los requisitos que cada encargado debe conocer.

**Tabla 20:** *Creación y división de las áreas de trabajo.*

Área de trabajo	Líder de Proceso	Objetivos	Sistemas /Componentes
Encargado de Taller		Precisión de Servicio > 95%. Cumplimiento de los trabajos al 100% Cumplir con el MTBF	MAQUINA Mantenimiento Preventivo PM1, PM2, PM3, PM4.
Taller componentes		Cumplimiento al 90 % de los reclamos a fabrica Garantías. Cumplimiento el muestro de SOS, filtografía, tapones imantados cada 250 Hr. Verificación al 100% de los equipos entrantes a proyecto.	Componentes mayores reparables, motor, transmisión, mandos finales.
Taller de soldadura		Extender la vida útil de los subsistemas	Mantener y alargar la vida útil de labios de cuchara.
Atencion de Correctivos en Campo		Eliminar fuga hidráulica, atención a todas las llamadas por correctivos tiempo de respuesta < 01 hora MTTR < 6 Hrs. Apoyo a las inspecciones en Campo. Apoyo en la realización de PM en campo	Máquina y sistemas completos.
Operaciones Mina		Asegurar la correcta operación de los equipos dentro de los parametro recomendados	Velociad, estado de vias, capacitaciones
Area logistica		Asegurar la reposición, compra STOCK de componentes necesarios para soportar los equipos y mantener un bajo tiempo de reparación por tener los repuestos en almacén.	Lubricantes Repuestos Filtros Aceites Insumos Otros

**Fuente:** *Tomado de Area Planeamiento -CONTRATISTAS MINEROS Y CIVILES DEL PERÚ 2018.*

### **3.2.2. Contexto operacional.**

#### **✓ Descripción del proceso.**

Los scooptrams son equipos de bajo perfil, que se utilizan en minería subterránea, tal es el caso de los equipos de CONMICIV, estos equipos cumplen la función de carga y descarga de materiales que pueden ser minerales, desmonte, etc.

Los scooptrams como del scooptram R1600G código interno SCA-141, cumplen con las operaciones requeridas por la empresa, está destinado a realizar trabajos de limpieza de frentes, acarreo de mineral y carguío de volquetes.

#### **✓ Limpieza de frentes.**

Tarea que se ejecuta un tiempo después de haber realizado una voladura en una determinada área denominado frente de operaciones, el scooptram es el equipo diseñado para ejecutar estas faenas diarias de operación donde tiene que trasladar el material producto del disparo desde el frente hacia un punto de acopio que se denomina cámara de mineral y/o desmonte.

#### **✓ Acarreo de materiales.**

Como bien sabemos el acarreo de minerales, se denomina al traslado de un punto a otro, estas tareas son ejecutadas por los scooptram dentro de la unidad minera, y para ejecutarlas con eficiencia se requiere que el equipo este operativo y pueda cumplir sus trabajos con total seguridad.

✓ **Carguío de volquetes.**

Operación de carguío de volquetes, es una de las funciones que realiza un scooptrams dentro de la unidad minera, el carguío de volquetes se realiza desde una cámara de mineral y/o desmonte que es el área diseñada para ejecutar estas faenas de operación.



**Figura 23:** *Carguío de volquete a través de un scooptrams. Fuente: Tomada de las operaciones mineras- unidad minera CMH.*

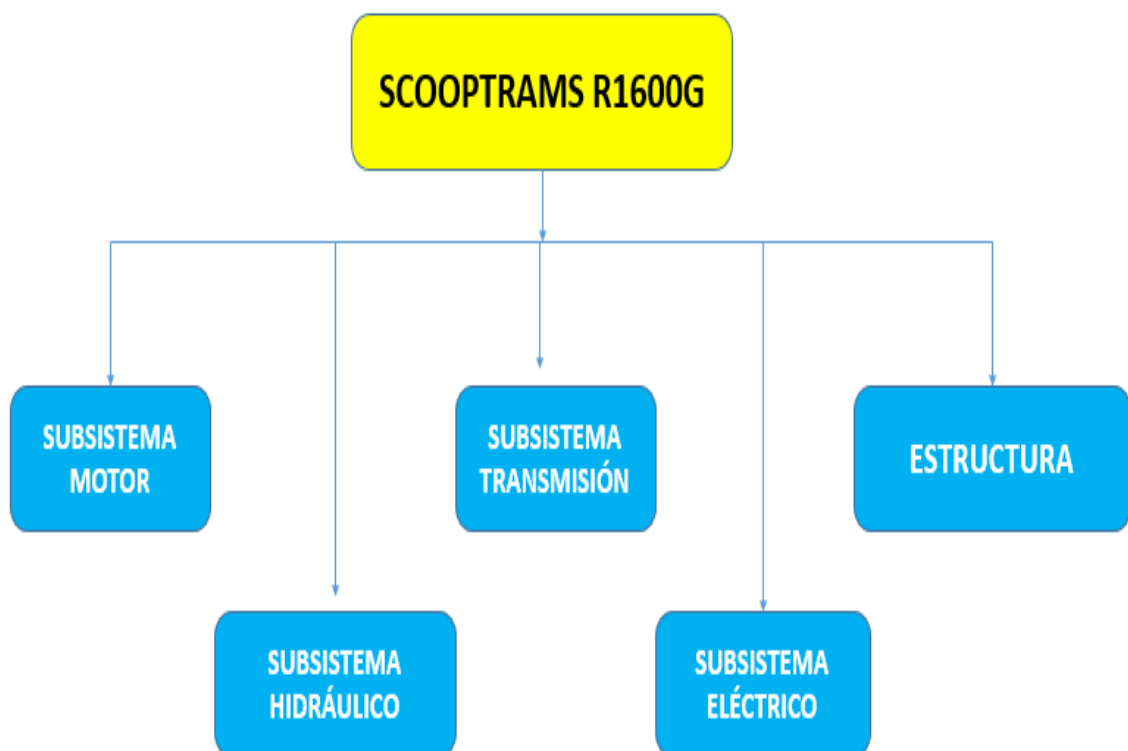
**3.2.3. Objetivo del sistema (scooptrams).**

El objetivo de los scooptrams es realizar la limpieza de frentes, carga y descarga de mineral en el interior de las operaciones, cumpliendo con los estándares y productividad que se requiere.

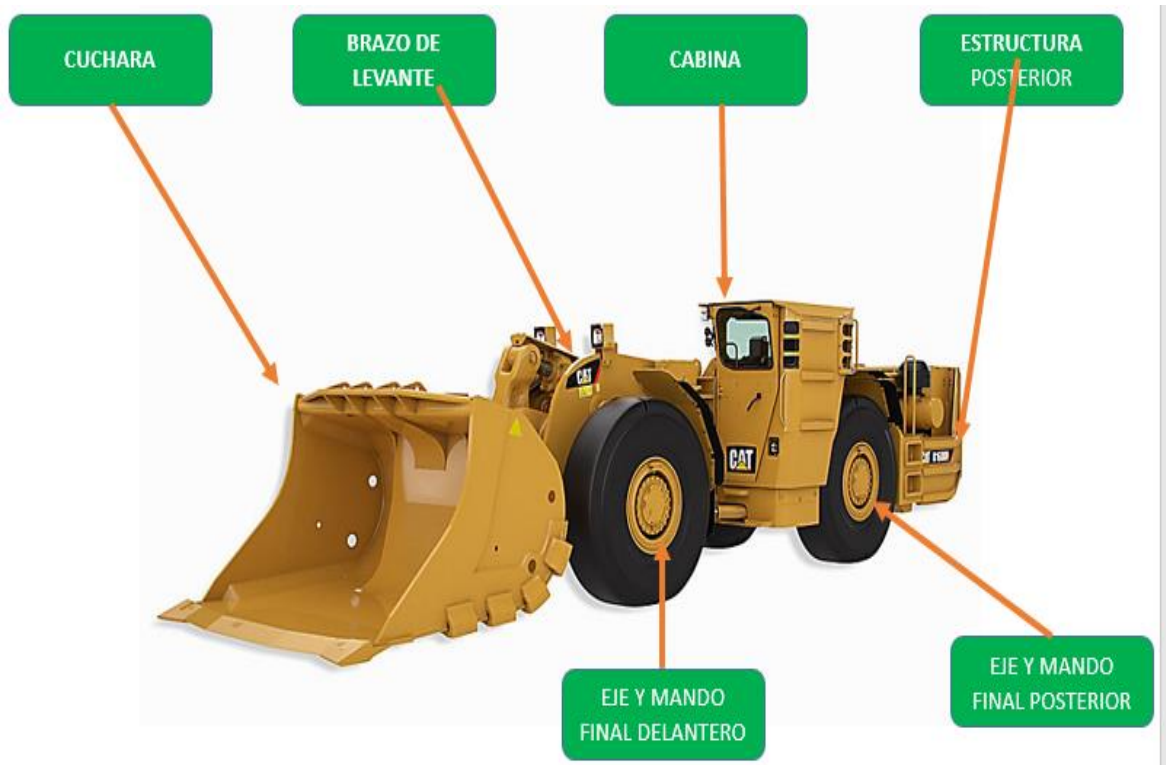
### 3.2.4. Clasificación de los subsistemas:

El scooptrams R1600G, es una máquina que tiene el diseño semejante a la de una cargadora frontal con la diferencia que el scooptrams es un equipo de bajo perfil y se puede trasladar con total normalidad hacia adelante y hacia atrás, el scooptram está compuesto por diferentes subsistemas:

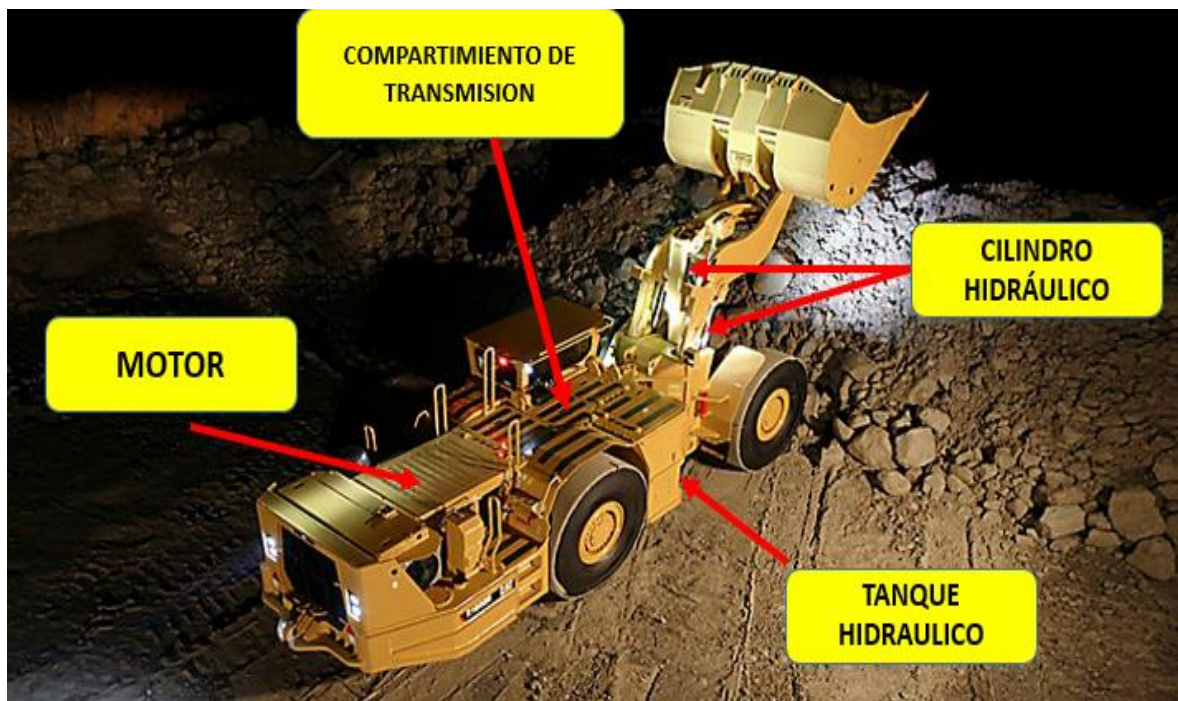
- ✓ subsistema motor,
- ✓ subsistema hidráulico,
- ✓ subsistema transmisión,
- ✓ subsistema eléctrico,
- ✓ Estructura (cuchara, chasis, componentes de articulación).



**Figura 24:** clasificación de los subsistemas del scooptrams R1600G.



**Figura 25:** Partes del scooptrams R1600G.



**Figura 26:** Identificación de se subsistemas y partes del scooptrams R1600G

### 3.2.5. Componentes del sistema.

Se realizó una lista de componentes que están relacionados con los subsistemas del Scooptram R1600G, se muestra en la siguiente **Tabla 21**.

**Tabla 21:** *Componentes de los subsistemas.*

<b>PROCESO DE ANALISIS RCM</b>		
<b>Paso N° 2: Contexto Operacional</b>		
<b>Descripción: Jerarquización de los Equipos y Componentes del subsistema</b>		<b>Páginas: 01 al 03</b>
<b>Sistema: Scooptrams R1600G</b>	<b>N°: 01</b>	<b>Fecha:</b>
<b>SUBSISTEMA Y COMPONENTES</b>		<b>CANTIDAD</b>
<b>Subsistema Motor Diésel</b>		
Block de motor		1
Culata del motor		1
Carter del motor		1
Múltiple de Admisión		1
Múltiple de escape		1
Turbocompresor		1
Cigüeñal		1
Eje de levas		1
Inyectores Unitarios		6
ECM del motor		1
Arrancador		1
Alternador		1
Fajas del motor		2
Distribución del motor		1
Biela		6
Pistones		6
Juego de Anillos		6
bomba de aceite de motor		1
bomba de agua		1
Radiador		1
<b>Subsistema Hidráulico</b>		
Bomba Hidráulica		3
Tanque Hidráulico		1
Válvula de Alivio		6
Válvula de control		2
Cilindro de Dirección		2
Cilindro de levante		2
Cilindro de volteo		1
Jostick de levante y volteo		1
Jostick de dirección		1
<b>Subsistema Transmisión</b>		

Servo transmisión	1
Control de mando de Transmisión	1
paquete de embrague marcha adelante	1
paquete de embrague marcha reversa	1
paquete de embrague velocidad 1	1
paquete de embrague velocidad 2	1
paquete de embrague velocidad 3	1
paquete de embrague velocidad 4	1
bomba de aceite de transmisión	1
Convertidor de par	1
Ejes de propulsión	3
Crucetas	5
Chumacera	2
Diferencial delantero	1
Diferencial posterior	1
Mando final P-1	1
Mando final P_2	1
Mando final P-3	1
Mando final P-4	1
<b>Subsistema Eléctrico</b>	
Batería	2
Arnés	3
Display	2
Sensor	23
Master swicth	1
Faros delanteros	4
Faros posteriores	5
Alarma de retroceso	1
Circulina	1
Bobina	12
Interruptor de encendido de luces	2
Interruptor de encendido de circulina	1
<b>Estructura</b>	
Cuchara	1
Brazo de levante	2
Bocinas	22
Colet	20
Pines	16
Articulación central	1
Chasis delantero	1
Chasis posterior	1
Cabina	1
Guardafangos	4
Neumáticos	4

**Fuente:** *Elaboración propia.*

### 3.2.6. Jerarquización de subsistemas y componentes.

#### ✓ Elaboración de una tabla de criterios.

Después de las reuniones con todo el grupo de trabajo se determinó y consideró criterios de criticidad para los scooptrams, subsistemas y componentes, así como se muestra en la siguiente **Tabla 22**.

**Tabla 22:** *Criterios para la implantación del RCM.*

PROCESO DE ANÁLISIS RCM			
Paso N° 2: Contexto Operacional			
Descripción: Tabla de Criterios para Jerarquización de Sistemas			Páginas: 01 de 01
Sistema: Scooptrams R1600G		Rev. N°:	Fecha:
<b>Frecuencia de Falla:</b>		<b>Costo de Manto:</b>	
* Mayor a 5 falla / año	4	* Mayor o igual a US\$ 20,000	2
* Promedio 3-5 fallas / año	3	* Inferior a US\$ 20,000	1
* Buena 2-3 fallas / año	2		
* Excelente 1 falla / año	1		
* Presenta falla después de 1 año	0		
<b>Impacto operacional:</b>		<b>Impacto a la seguridad y medio Ambiente:</b>	
* Parada total.	10	* Afecta la seguridad humana externa como interna	8
* Parada del subsistemas y tiene repercusión en otros sistemas.	8		
* Parada del sistema sin afectar a otros subsistemas.	6	* Afecta el ambiente produciendo daños reversibles Provoca daños menores personal propio (accidentes e incidentes)	6
* Impacta en niveles de producción o calidad.	4	* Afecta las instalaciones causando daños severos	4
* Repercute en costos operacionales asociados a disponibilidad.	3	* Afecta las instalaciones causando daños menores	3
* No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción.	1	* Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o al ambiente	2
<b>Flexibilidad operacional:</b>			
* No existe opción de producción y no hay repuestos en la unidad.	4		1
* Hay opción de repuesto compartido.	2		0
* Repuesto disponible.	1		

**Fuente:** *Elaboración propia*



✓ **Jerarquización de subsistemas.**

En la siguiente tabla mostramos la jerarquización de los subsistemas y componentes de los scooptrams. Teniendo al subsistema eléctrico como el más crítico, por lo tanto, se considera como el subsistema de más riesgo. Se muestra en la siguiente **Tabla 23**.

**Tabla 23:** *Jerarquización de subsistemas.*

PROCESO DE ANÁLISIS RCM								
Paso N° 2: Contexto Operacional								
Descripción: Jerarquización de los Equipos y Componentes de criticidad							Páginas: 01	
Sistema: Scooptrams R1600G			Rev. N°:				Fecha:	
SUBSISTEMAS	PRECUENCIA	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	COSTO DE MANTENIENT	IMPACTO A LA SEGURIDAD Y MEDIO	CONSECUENCIAS	TOTAL	JERARQUIZACIÓN
Motor diésel	3	6	1	2	8	15	45	No Crítico
Transmisión	2	8	4	2	8	30	60	Semi Crítico
subsistema Hidráulico	2	3	2	2	8	20	40	No Crítico
Subsistema Eléctrico	4	10	4	1	8	50	200	Crítico
Estructura	1	4	2	1	4	20	20	No Crítico

Entonces:

FRECUENCIA	4					1
	3			1		
	2	1	2			
	1		1			
		10	20	30	40	50
CONSECUENCIAS						
Subsistemas No Críticos (NC)						3
Subsistemas Semi Críticos (SC)						1
Subsistemas Críticos (C)						1
<b>TOTAL</b>						<b>5</b>

**Fuente:** *Elaboración propia.*

✓ **Jerarquización de componentes.**

En la siguiente **Tabla 24** se demuestra los subsistemas y componentes del scooptrams R1600G. Sumando a ello se muestra la matriz de evaluación de criticidad para cada subsistema y componente en la **Tabla 25**.

Como resultado se obtiene que el subsistema más crítico es el eléctrico, teniendo el más elevado índice de fallas y probabilidades de falla, después de la evaluación a través de un matiz de criticidad donde para determinar su estado, se tiene que multiplicar frecuencia por consecuencias. Se dice que, si el resultado de la multiplicación es menor de 50 se considera como NO CRITICO, si esta entre 50 y100 se considera como un SEMI CRITICO y si pasa de los 100 se considera un estado CRITICO para cada componente de los subsistemas.

**Tabla 24:** Jerarquización de componentes.

PROCESO DE ANÁLISIS RCM								
Paso N° 2: Contexto Operacional								
Descripción: Jerarquización de los Equipos y Componentes del sistema								Páginas: 01 al 02
Sistema: Scooptrams R1600G				N°: 01				Fecha:
EQUIPOS / COMPONENTES	PRECUENCIA	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	COSTO DE MANTENIMIENTO	IMPACTO A LA SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	CONSECUENCIAS	TOTAL	JERARQUIZACIÓN
<b>Subsistema motor</b>								
Block del motor	1	10	2	1	1	15	15	No crítico
Culata del motor	1	10	2	2	3	15	15	No crítico
Tapa de balancines	1	10	2	1	1	15	15	No crítico
Carter del motor	1	10	4	1	6	15	15	No crítico
Inyectores unitarios	1	10	1	2	3	35	35	No crítico
Circuito de combustible	2	6	1	1	3	20	40	No crítico
ECM del motor	1	10	4	2	2	35	35	No crítico
Múltiple de admisión, turbocompresor	2	6	4	1	4	35	70	Semi crítico
Múltiple de escape	2	6	4	1	6	20	40	No crítico
<b>Subsistema transmisión</b>								
Circuito eléctrico (arnés)	1	8	4	1	3	20	20	No crítico
Convertidor de par	1	10	4	2	6	20	20	No crítico
Servo transmisión	1	10	4	2	8	20	20	No crítico
Ejes de propulsión	3	8	1	1	8	30	90	Semi crítico
Crucetas	4	10	1	1	8	35	140	Crítico
Diferencial delantero	1	10	4	2	8	35	35	No crítico
Diferencial posterior	1	10	4	2	8	30	30	No crítico
Enfriamiento de aceite de Transmisión	1	6	4	1	6	20	20	No crítico
Mando final P-1	2	8	2	1	8	30	60	Semi crítico

Mando final P-2	2	8	2	1	8	30	60	Semi crítico
Mando final P-3	1	8	2	1	8	25	25	No crítico
Mando final P-4	1	8	2	1	8	25	25	No crítico
<b>Subsistemas hidráulico</b>								
Bomba hidráulica	1	8	1	2	8	30	30	No crítico
Cilindro Hidráulico de volteo	2	10	1	1	4	35	70	Semi crítico
Cilindro Hidráulico de levante.	2	10	1	1	4	35	70	Semi crítico
Cilindro hidráulico de dirección	2	10	1	1	4	30	60	Semi crítico
Válvula de alivio Principal	3	6	1	1	4	30	90	Semi crítico
Block de control Hidráulico	1	8	4	2	2	30	30	No crítico
Tanque Hidráulico	2	8	2	1	6	25	50	Semi crítico
Mangueras Hidráulicas	4	6	1	1	8	40	160	Crítico
<b>Subsistemas Eléctrico</b>								
Baterías	4	10	2	1	8	35	140	Crítico
Arnés principal	4	10	4	2	8	30	120	Crítico
Sensores	4	8	2	1	8	30	120	Crítico
Bobinas de accionamiento	4	10	2	1	8	30	120	Crítico
Faros delanteros	4	6	1	1	0	30	120	Crítico
Faros posteriores	4	6	1	1	0	30	120	Crítico
Alarma de retroceso	4	10	1	1	8	24	96	Semi crítico
Circulina	4	10	1	1	8	24	96	Semi crítico
Cableado	4	10	1	1	4	35	140	Crítico
<b>Estructura</b>								
Cuchara	2	8	4	2	3	20	40	No crítico
Brazo de levante	1	8	4	1	8	20	20	No crítico
Pines y Bocinas	2	8	4	1	8	35	70	Semi crítico
Articulación central	2	8	4	1	8	45	90	Semi crítico
Cabina	1	3	4	1	8	20	20	No crítico
Estructura posterior	1	8	4	1	8	20	20	No crítico
Chasis	1	8	4	1	8	25	25	No crítico
Guardafangos	3	6	4	1	8	30	90	Semi crítico
Neumáticos	4	10	1	2	8	35	140	Crítico

Fuente: *Elaboración propia.*

**Tabla 25:** *Matriz de jerarquización de componentes.*

PROCESO DE ANÁLISIS RCM																																							
Paso N° 2: Contexto Operacional																																							
Descripción: Matriz de Criticidad de equipos del sistema				Páginas: 01																																			
Sistema: Scooptrams R1600G		Rev. N°:		Fecha:																																			
<b>Resumen:</b>																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>SUBSISTEMA</th> <th>NC</th> <th>SC</th> <th colspan="2">C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Motor</td> <td>8</td> <td>1</td> <td colspan="2">0</td> </tr> <tr> <td>Trasmisión</td> <td>8</td> <td>3</td> <td colspan="2">1</td> </tr> <tr> <td>Hidráulico</td> <td>2</td> <td>5</td> <td colspan="2">1</td> </tr> <tr> <td>Eléctrico</td> <td>0</td> <td>2</td> <td colspan="2">7</td> </tr> <tr> <td>Estructura</td> <td>5</td> <td>3</td> <td colspan="2">1</td> </tr> </tbody> </table>					SUBSISTEMA	NC	SC	C		Motor	8	1	0		Trasmisión	8	3	1		Hidráulico	2	5	1		Eléctrico	0	2	7		Estructura	5	3	1						
SUBSISTEMA	NC	SC	C																																				
Motor	8	1	0																																				
Trasmisión	8	3	1																																				
Hidráulico	2	5	1																																				
Eléctrico	0	2	7																																				
Estructura	5	3	1																																				
<b>Entonces:</b>																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">FRECUENCIA</th> <th colspan="5">CONSECUENCIAS</th> </tr> <tr> <th>10</th> <th>20</th> <th>30</th> <th>40</th> <th>50</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4</td> <td></td> <td>5</td> <td>1</td> <td></td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>8</td> <td>5</td> <td>3</td> <td>2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td></td> <td>2</td> <td></td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>					FRECUENCIA	CONSECUENCIAS					10	20	30	40	50	4		5	1		7	3				1		2	8	5	3	2		1		2		1	1
FRECUENCIA	CONSECUENCIAS																																						
	10	20	30	40	50																																		
4		5	1		7																																		
3				1																																			
2	8	5	3	2																																			
1		2		1	1																																		
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Subsistemas No Críticos (NC)</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td>Subsistemas Semi Críticos (SC)</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>Subsistemas Críticos (C)</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td><b>TOTAL</b></td> <td><b>47</b></td> </tr> </tbody> </table>					Subsistemas No Críticos (NC)	23	Subsistemas Semi Críticos (SC)	14	Subsistemas Críticos (C)	10	<b>TOTAL</b>	<b>47</b>																											
Subsistemas No Críticos (NC)	23																																						
Subsistemas Semi Críticos (SC)	14																																						
Subsistemas Críticos (C)	10																																						
<b>TOTAL</b>	<b>47</b>																																						

**Fuente.** *Elaboración propia.*

### 3.2.7. Evaluación y selección de tareas.

Una vez que se identifica todos los modos de falla y los efectos que traen consigo, se procede a seleccionar las tareas de mantenimiento.

También se realizó un estudio en el área de operación, esta es el área donde operan los equipos, por lo que se estableció una frecuencia de mantenimiento cada 125 horas de trabajo, esta determinación se hizo porque los resultados de la evaluación del área de operación dieron como resultado condiciones extremas, elevada temperatura del ambiente de trabajo, exceso de polvo y

falta de oxígeno. Mediante esta frecuencia se realizarán actividades de mantenimiento preventivo y correctivo.

### **3.2.8. Frecuencia del mantenimiento.**

Conjuntamente con el equipo de trabajo se determinó la frecuencia de mantenimiento preventivo, mediante la frecuencia se logrará estimar el usos de los recursos en relación directa al uso del equipo.

En la **tabla 26** de la frecuencia de mantenimiento se puede apreciar lo importante que es tener una programación de mantenimiento de acuerdo a una frecuencia porque gracias a ella se puede verificar que tipo de mantenimiento se va a realizar, y que tipo de acciones tomar en la ejecución y a que horas se va a ejecutar los mantenimientos preventivos, para realizar esta tabla, se realizó en base al estudio de operación de los equipos y en relación al manual de mantenimiento.

La frecuencia de mantenimiento es muy importante porque nos ayuda a prestar garantías y que el equipo este en estado confiable.

**Tabla 26:** Frecuencia de mantenimiento preventivo.

DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES Y INSUMOS	Cantidad	Unidad	Frecuencia	Duración	3 horas	6 horas	6 horas	12 horas	12 horas
				Lavado del Equipo	Si	Si	Si	Si	Si
					125	250	500	1000	2000
Grasa	5	Kg	125		X	X	X	X	X
Aceite de motor 15w-40	9.5	Gal	125		X	X	X	X	X
Kit de Mantenimiento (trapo industrial)	1	Kg	125		X	X	X	X	X
Filtro de aceite de motor	1	Unidad	125		X	X	X	X	X
Aceite de transmisión	12.4	Gal	1000				X	X	X
Filtro De Aire Primario	1	Unidad	60		X	X	X	X	X
Filtro de Aire Secundario	1	Unidad	125		X	X	X	X	X
Aceite hidráulico	33	Gal	1000					X	X
Aceite Diferencial y mandos finales Delantero	18.5	Gal	1000					X	X
Aceite Diferencial y mandos finales Posterior	18.5	Gal	1000					X	X
Empaquetadura de tapa de drenaje de aceite de transmisión	1	Unid	1000					X	X
Filtro de aceite hidráulico	4	Unidad	1000					X	X
Filtro primario de combustible	1	unidad	125		X	X	X	X	X
Filtro secundario de combustible	1	Unidad	125		X	X	X	X	X
Filtro de aceite Diferencial Delantero	1	Unidad	1000					X	X
Filtro de aceite Diferencial Posterior	1	Unidad	1000					X	X
Tapa de filtro separador de agua	1	Unidad	2000						X
Refrigerante	53	Litros	2000						X
Empaquetadura de PTX	2	Unidad	500				X	X	X

**Fuente:** *Elaboración propia.*

### 3.2.9. Cálculo de la disponibilidad después de implantar el nuevo sistema con metodología RCM.

Después de la implementación de la metodología RCM para aumentar la disponibilidad en los scooptram R1600G, después de haber seleccionado las tareas adecuadas para ejercer los mantenimientos preventivos y correctivos, se obtuvo como resultado de una mejora de disponibilidad del SCA-141 de estar en un 79.81%, se logró aumentar a un 89.84% de disponibilidad, se logró mantener el tiempo medio entre fallas (MTBF) y disminuir el tiempo medio para reparar (MTTR), logrando de tal manera su utilización del equipo.

Para el SCA-160, se logró recuperar un valor considerable de la disponibilidad que estuvo en un 42.26% a un 84.56%, por lo tanto, se logró que el equipo sea muy confiable dentro de las operaciones, mejorando su utilización, aumentando el tiempo medio entre fallas y reduciendo el tiempo medio para reparar.

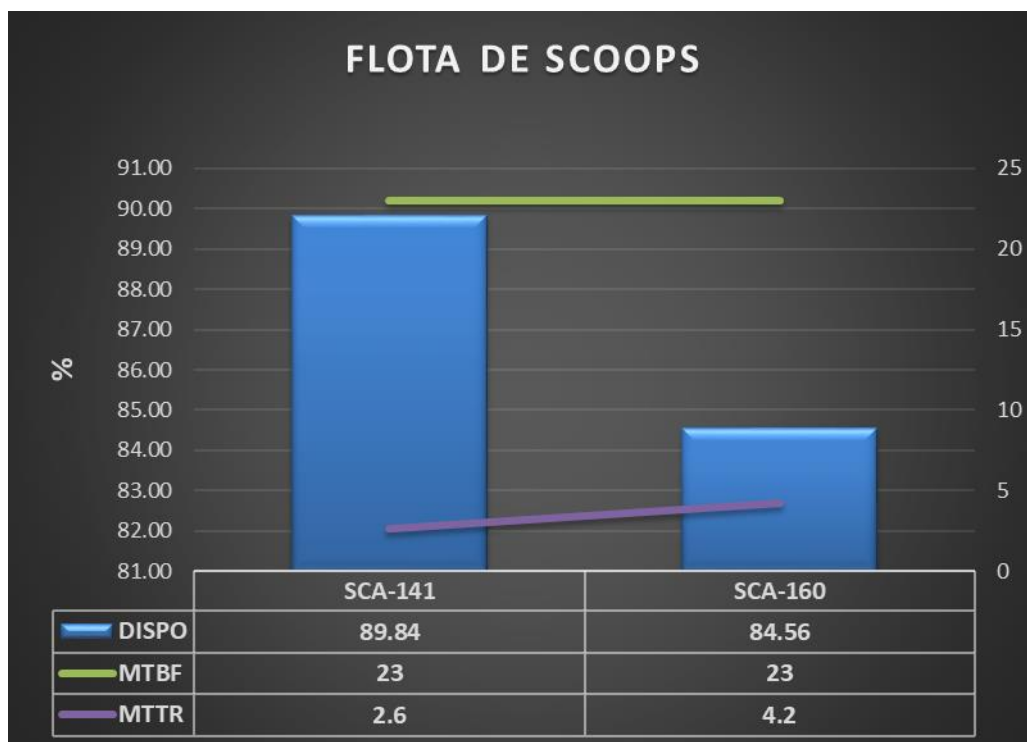


Figura 27: Disponibilidad después de la implantación del RCM. Fuente: Elaboración propia.



### **Cálculo de confiabilidad:**

Confiabilidad del SCA-141

$$R_{(t)} = e^{\left(-\frac{t}{MTBF}\right)} * 100$$

Reemplazando valores:

$$= e^{\left(-\frac{24}{230}\right)} * 100$$

$$= 0.90 * 100$$

$$R_{(t)} = 90\%$$

Confiabilidad del SCA-160

$$R_{(t)} = e^{\left(-\frac{t}{MTBF}\right)} * 100$$

Reemplazando valores:

$$= e^{\left(-\frac{24}{120}\right)} * 100$$

$$= 0.82 * 100$$

$$R_{(t)} = 82\%$$

### **Cálculo de la mantenibilidad:**

Mantenibilidad del SCA-141

$$M_{(t)} = 1 - e^{\left(-\frac{t}{MTTR}\right)} * 100$$

$$= 1 - e^{\left(-\frac{24}{2.6}\right)} * 100$$

$$= 0.99 * 100$$

$$M_{(t)} = 99\%$$

## Mantenibilidad del SCA-160

$$M_{(t)} = 1 - e^{\left(\frac{-t}{MTTR}\right)} * 100$$

$$= 1 - e^{\left(\frac{-24}{4.2}\right)} * 100$$

$$= 0.99 * 100$$

$$M_{(t)} = 99\%$$

Después de la implantación de la metodología RCM se logro obtener nuevos valores de los indicadores disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad, siendo muy favorables para poder lograr los objetivos de operación de los scooptrams.

**Tabla 27:** Comparación de ántes y después de los indicadores de mantenimiento.

<b>INDICADORES DE MANTENIMIENTO DE LOS SCOOPTRAMS</b>				
ANTES DE LA IMPLEMENTACION DE RCM			DESPUÉS DE LA IMPLANTACIÓN DE RCM	
<b>SCOOPTRAM R1600G SCA -141</b>				
ÍTEM	INDICADOR	VALOR %	INDICADOR	VALOR%
1	DISPONIBILIDAD	79.83	DISPONIBILIDAD	89.84
2	CONFIABILIDAD	34	CONFIABILIDAD	90
3	MANTENIBILIDAD	98	MANTENIBILIDAD	99
4	MTBF	22	MTBF	23
5	MTTR	5.6	MTTR	2.6
<b>SCOOPTRAM R1600G SCA-160</b>				
ÍTEM	INDICADOR	VALOR %	INDICADOR	VALOR%
1	DISPONIBILIDAD	42.11	DISPONIBILIDAD	84.56
2	CONFIABILIDAD	14	CONFIABILIDAD	82
3	MANTENIBILIDAD	77	MANTENIBILIDAD	99
4	MTBF	12	MTBF	23
5	MTTR	16.5	MTTR	4.2

**Fuente:** *Elaboración propia.*

### **3.3. Capacitación del personal mediante el programa denominado escuela CONMICIV. Se realizó la capacitación del personal para así, contar con mano de obra calificada, bien capacitada, para que cuando se presente algún problema complejo se dé la solución inmediata.**

#### **3.3.1 Elaboración de un plan de entrenamiento de Personal**

El plan de desarrollo y entrenamiento de personal está enfocada a cuidar la reputación corporativa, gracias a las relaciones positivas con sus grupos de interés (clientes, proveedores y sociedad en conjunto), así mismo enfocando al personal a reducir el impacto con el medio ambiente. Los programas de entrenamiento y capacitación están enfocados a garantizar un viaje dentro de una cultura de seguridad en el trabajo.

El plan de capacitación está basado en roles y planes de aprendizaje personalizados que ayudaran a los técnicos a concentrarse en llenar las brechas de competencias necesarias para realizar una función laboral específica.

El propósito de la capacitación de los técnicos en el programa denominado escuela CONMICIV, consiste en definir los conocimientos, las habilidades y conductas que impulsan el desempeño de nuestro personal técnico dentro del área de Mantenimiento Mina.

#### **✓ Competencias.**

La competencia es un conjunto de conocimientos, habilidades y conductas que afectan a la mayor parte de trabajo, se desarrollan con el desempeño del trabajo y que pueden mejorarse mediante capacitación y desarrollo.

Los niveles de dominio de las competencias aportarán, para que el personal técnico pueda ascender dentro de la organización, mejorando su estabilidad económica, y para la empresa traerá como beneficio de contar con la mano de obra de un técnico calificado y capacitado para la solución inmediata cuando se presenten averías en los diferentes sistemas de los equipos.

El técnico después de ser capacitado se sentirá más comprometido con la organización y por ende se volverá en una persona que practicará la fidelidad para la empresa, la cual se verá reflejado en una línea de carrera y mejorará el desempeño del mismo.

### **3.3.2 Plan de entrenamiento de personal técnico.**

En la **Tabla 28**, se puede ver los temas de la capacitación que se proyectó en el programa de capacitación denominado la escuelita CONMICIV, también en una de las columnas se aprecia el nombre de cada expositor que será el encargado de exponer el tema a tratar, el expositor cuenta con la experiencia y con los conocimientos del tema, por lo cual para la fecha de exposición tendrá que tener el material adecuado y estar bien preparado para poder llegar a sus oyentes, y con ello poder enriquecer los conocimientos de los demás técnicos.

Las capacitaciones se desarrollaron de acuerdo a la fecha programada para cada guardia, tal y como se observa en la tabla.

Cumpliendo el total de las capacitaciones programadas, se obtuvo excelentes resultados como se viene notando en cada personal de la empresa, porque gracias a ello se está reduciendo el MTTR (tiempo medio para reparar), ya que los técnicos están adquiriendo nuevos conocimientos y nuevas técnicas para poder desarrollar rápidamente las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo.

Contar con mano de obra calificada, la empresa se proyecta a aumentar la disponibilidad, confiabilidad y utilización de los equipos, y como resultado se obtendrá mejoras en la producción.

Se proyectó a 216 horas de capacitación que deberían cumplirse en horarios distintos y que el personal se pueda adecuar y participar de dichas clases, sin perjudicar la operación. Estas capacitaciones se desarrollaron por 2 horas diariamente. Se cumplió con todas las horas de capacitación siendo un total de 72 horas de capacitación para personal de cada guardia.

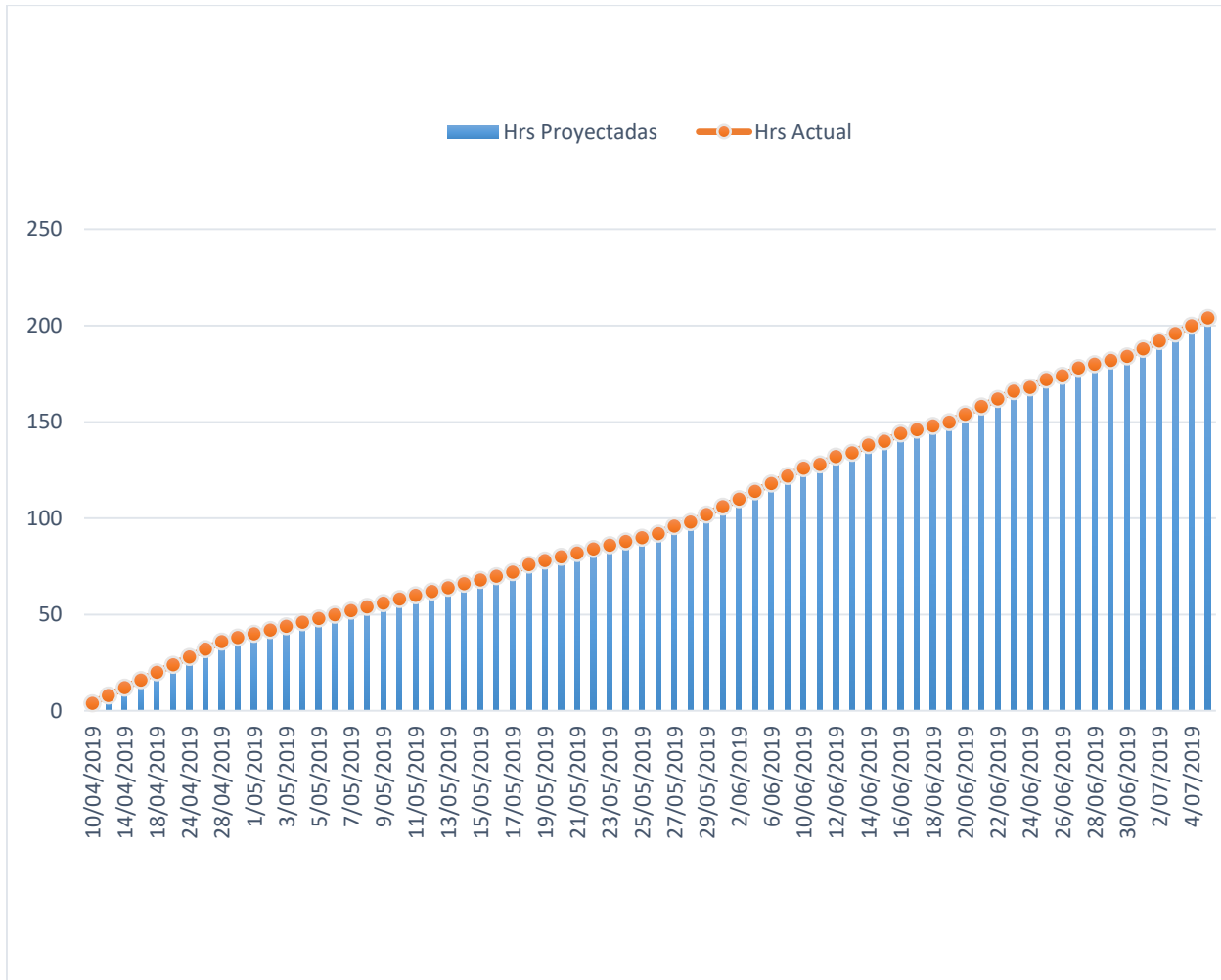
**Tabla 28:** Temas de capacitación, expositores y fechas de sustentación.

ESCUELITA CONTRATISTAS MINEROS Y CIVILES DEL PERU				GUARDIA		
				Técnico líder A	Técnico líder B	Técnico líder C
Ítem	Descripción del Curso	Técnico	Estado	Guardia A	Guardia B	Guardia C
1	Protocolos de seguridad en el trabajo	Daniel/Fredy/Carlos	Desarrollado	10/04/2019	10/04/2019	22/04/2019
2	Uso de herramientas de precisión	Julver/Mesías/Walter	Desarrollado	12/04/2019	12/04/2019	24/04/2019
3	Medición y pruebas en sensores electrónicos	Julver/Mesías/Walter	Desarrollado	14/04/2019	14/04/2019	26/04/2019
4	Tarea -Inspección, desarmado, evaluación y armado de un arrancador y alternador	Julver/Mesías/Walter	Desarrollado	16/04/2019	16/04/2019	28/04/2019
5	Tarea a realizar inspección diaria de equipos	Roberto/Martin/Gelacio	Desarrollado	18/04/2019	18/04/2019	30/04/2019
6	Tarea-Evaluar presión y realizar la carga de gas nitrógeno a los acumuladores	José/Paul/Henry	Desarrollado	22/04/2019	1/05/2019	2/05/2019
7	Tarea Realizar el diagnóstico del sistema hidráulico (Presión general y pilotaje ), scooptrams R1600G	Roberto/Martin/Gelacio	Desarrollado	24/04/2019	3/05/2019	4/05/2019
8	Tarea Realizar el diagnóstico del sistema hidráulico (Presión general y pilotaje )- Perforadora HLX5	José/Paul/Henry	Desarrollado	26/04/2019	5/05/2019	6/05/2019
9	Tarea Realizar el ajuste de la holgura de la válvulas de un motor electrónico	Julver/Mesías/Walter	Desarrollado	28/04/2019	7/05/2019	8/05/2019
10	Tarea Regulación de presiones del sistema de levante y volteo- Scoop R1600G	Roberto/Martin/Gelacio	Desarrollado	10/05/2019	9/05/2019	21/05/2019
11	Tarea Prueba y ajuste de presiones e sistema de implemento y dirección de scooptrams R1300G	Roberto/Martin/Gelacio	Desarrollado	12/05/2019	11/05/2019	23/05/2019
12	Tarea Interpretar y analizar reporte generado por el ET (SID- MID - FMI - Eventos)	Julver/Mesías/Walter	Desarrollado	14/05/2019	13/05/2019	25/05/2019
13	ET- Procedimiento de corte de cilindros	Roberto/Martin/Gelacio	Desarrollado	16/05/2019	15/05/2019	27/05/2019
14	Tarea Diagnosticar sistema de combustible de un motor diésel (Caudal y Presión) -Motor 3176	José/Gelacio/Roberto	Desarrollado	18/05/2019	17/05/2019	29/05/2019
15	Tarea Ajuste de altura de inyector y válvulas motor 3176	José/Gelacio/Roberto	Desarrollado	20/05/2019	18/05/2019	31/05/2019
16	SIS-Identificar los números de parte - Códigos y Eventos	Julver/Mesías/Walter	Desarrollado	22/05/2019	19/05/2019	2/06/2019
17	Procedimiento_ Proceso de Mantenimiento	Daniel/José/Fredy	Desarrollado	24/05/2019	31/05/2019	4/06/2019
18	KPIs Técnicos (MTBF y MTTR)	Daniel/José/Fredy	Desarrollado	26/05/2019	2/06/2019	6/06/2019
19	KPIs Técnicos ( Disponibilidad Física y Mecánica - Confiabilidad)	Daniel/José/Fredy	Desarrollado	27/05/2019	4/06/2019	8/06/2019

20	Interpretación de planos hidráulicos R1600G	José/Gelacio/Roberto	Desarrollado	28/05/2019	6/06/2019	20/06/2019
21	Interpretación de plano eléctrico scooptram R1600G	Julver/Mesías/Walter	Desarrollado	29/05/2019	8/06/2019	21/06/2019
22	Inspección de labios de Cuchara de los scooptrams	Edwar/Rolando/Nelson	Desarrollado	10/06/2019	10/06/2019	22/06/2019
23	Inspección e interpretación de planos oleohidráulicos	Daniel/José/Fredy	Desarrollado	11/06/2019	12/06/2019	23/06/2019
24	Identificar el tipo de modo de falla en uniones soldadas mediante los principios del AFA	Daniel/José/Fredy	Desarrollado	12/06/2019	14/06/2019	24/06/2019
25	Identificar el tipo de modo de falla en rodamientos mediante los principios del AFA	Daniel/José/Fredy	Desarrollado	13/06/2019	16/06/2019	25/06/2019
26	Identificar el tipo de modo de falla en pernos y tornillos mediante los principios del AFA	Daniel/José/Fredy	Desarrollado	14/06/2019	1/07/2019	26/06/2019
27	Identificar el tipo de modo de falla en engranajes mediante los principios del AFA	Daniel/José/Fredy	Desarrollado	15/06/2019	2/07/2019	27/06/2019
28	Identificar el tipo de modo de falla en ejes mediante los principios del AFA	Daniel/José/Fredy	Desarrollado	16/06/2019	3/07/2019	28/06/2019
29	Evaluar, reparar y programar sistema de lubricación Automática	Julver/Mesías/Walter	Desarrollado	17/06/2019	4/07/2019	29/06/2019
30	Formato- Informe de reporte de trabajos rutinarios	Roberto/Martin/Gelacio	Desarrollado	18/06/2019	5/07/2019	30/06/2019
31	Formato- Informe de cambio de componentes	Daniel/José/Fredy	Desarrollado	19/06/2019	6/07/2019	1/07/2019
32	Gestión de neumáticos	José Paucar	Desarrollado	20/06/2019	7/07/2019	2/07/2019
33	ET-Realizar la medición de presión neumática de refuerzo del turbocompresor + SIS	José Arenas	Desarrollado	21/06/2019	8/07/2019	3/07/2019
34	ET- Informe de estado de producto y generación de Catalogar	José Arenas	Desarrollado	23/06/2019	10/07/2019	4/07/2019
35	Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA)	Daniel Benites	Desarrollado	25/06/2019	12/07/2019	5/07/2019
36	Análisis de Causa Raíz (ACR)	Daniel Benites	Desarrollado	27/06/2019	14/07/2019	6/07/2019

**Fuente:** *Elaboración propia.*

Las horas proyectadas para la ejecución de la capacitación se cumplió en su totalidad es así como se muestra en la figura siguiente como parte de comprobación. Esto quiere decir que todas las capacitaciones se desarrollaron al 100% y como resultado se logró enriquecer los conocimientos de los técnicos de la empresa.



**Figura 28:** Desarrollo de horas de capacitación en la ecuelita CONMICIV.

### 3.1. IMPLEMENTACIÓN DE UN ALMACÉN ESTRATÉGICO:

Se empezó a organizar el stock de repuestos, bien administrados, para que cuando se requiera utilizar algún componente, esté de forma inmediata y así reducir tiempos de parada. A continuación, se describirá el paso a paso de la implementación propuesta.

#### 3.1.1 Identificación de repuestos e insumos para las actividades de mantenimiento

Es importante poder determinar e identificar los repuestos e insumos necesarios para la ejecución de actividades de mantenimiento preventivo.

✓ **Tabla de componentes para un mantenimiento preventivo de 250 horas (PM1).**

En la siguiente tabla se aprecia la cantidad de componentes que se necesita para ejecutar un mantenimiento preventivo de 250 horas, para ello también se debe sumar la cantidad de insumos (aceites) de acuerdo a la capacidad de llenado de cada equipo.

En un mantenimiento preventivo de 250 horas se enfoca netamente a lo que es realizar un mantenimiento preventivo al motor diésel, claro que también consiste en la inspección general del equipo, lubrican de todos los puntos de engrase en general, realizar ajustes y medición de parámetros de operación de la maquina.

A continuación se muestra el Kit de componentes para un PM-1, mantenimiento de 125 horas y 250 horas que tienen relación con la frecuencia.

**Tabla 29:** *Filtros, insumos para ejecución de mantenimiento preventivo de 250 horas.*

MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE 250 HORAS				
ÍTEM	CANTIDAD	No. DE PARTE	NOMBRE	SISTEMA
1	1	1R-0716	CONJUNTO DE FILTRO DE ACEITE DE MOTOR	MOTOR DIESEL
2	1	133-5673	ELEMENTO DE FILTRO	MOTOR DIESEL
3	1	1R-0749	CONJUNTO DE FILTRO DE COMBUSTIBLE	MOTOR DIESEL
4	1	141-0284	KIT DE FILTRO DE COMBUSTIBLE SEPARADOR DE AGUA	MOTOR DIESEL

**Fuente:** *Elaboración propia.*



✓ **Tabla de componentes para un mantenimiento preventivo de 500 horas (PM2)**

En un mantenimiento preventivo de 500 horas para los scooptrams, se necesitan diferentes componentes en lo cual se encuentra detallado en la siguiente tabla.

**Tabla 30:** *Filtros, insumos para ejecución de mantenimiento preventivo 500 horas.*

MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE 500 HORAS				
ÍTEM	CANTIDAD	No. DE PARTE	NOMBRE	SISTEMA
1	4	1R-0719	FILTRO DE ACEITE HIDRÁULICO	HIDRÁULICO
2	1	1R-0716	CONJUNTO DE FILTRO DE ACEITE DE MOTOR	MOTOR DIESEL
3	1	133-5673	ELEMENTO DE FILTRO	MOTOR DIESEL
4	1	1R-0749	CONJUNTO DE FILTRO DE COMBUSTIBLE	MOTOR DIESEL
5	1	141-0284	KIT DE FILTRO DE COMBUSTIBLE SEPARADOR DE AGUA	MOTOR DIESEL
6	1	1R-0722	FILTRO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	TRANSMISIÓN

**Fuente:** *Elaboración propia.*

Para realizar este mantenimiento de 500 horas es muy importante contar con el stock requerido para el mismo, lo cual esta detallado en la tabla anterior, incluso se aprecia el numero de parte de cada componente, para que nos facilite en el requerimiento y administración para cada mantenimiento programado.

Un mantenimiento de 500 horas para los scoop, se trabaja en el cambio de filtros y aceites para el subsistema del motor diésel, filtro y aceite para el subsistema de transmisión y para el subsistema hidráulico solamente se cambia el filtro de aceite. Se suma los insumos de acuerdo a la capacidad del motor diésel y aceite para la transmisión.

✓ **Tabla de componentes para un mantenimiento preventivo de 1000 horas (PM3)**

Para un mantenimiento preventivo de 1000 horas, se requiere de varios de los componentes que se detalla en la siguiente tabla.

**Tabla 31:** *Filtros, insumos para ejecución de mantenimiento preventivo 1000 horas.*

MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE 1000 HORAS				
ÍTEM	CANTIDAD	No. DE PARTE	NOMBRE	SISTEMA
1	4	1R-0719	FILTRO DE ACEITE HIDRÁULICO	HIDRÁULICO
2	2	2S-8439	SELLO DE TAPA DE FILTRO HIDRÁULICO	HIDRÁULICO
3	1	1R-0716	CONJUNTO DE FILTRO DE ACEITE DE MOTOR	MOTOR DIESEL
4	1	133-5673	ELEMENTO DE FILTRO	MOTOR DIESEL
5	1	1R-0749	CONJUNTO DE FILTRO DE COMBUSTIBLE	MOTOR DIESEL
6	1	141-0284	KIT DE FILTRO DE COMBUSTIBLE SEPARADOR DE AGUA	MOTOR DIESEL
7	2	9Y-1758	EMPAQUETADURA DEL PTX	MOTOR DIESEL
8	1	9X-2205	TAPA DEL FILTRO SEPARADOR DE AGUA	MOTOR DIESEL
9	1	1R-0722	FILTRO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	TRANSMISIÓN
10	2	1G-8878	FILTRO DE ACEITE DE DIFERENCIAL	TRANSMISIÓN
11	1	7L-3111	EMPAQUETADURA DE TAPA DE DRENAJE DE ACEITE	TRANSMISIÓN
12	2	1G-8878	FILTRO DE ACEITE DE DIFERENCIALES	TRANSMISIÓN

**Fuente:** *Elaboración propia.*

Como se muestra en la tabla de componentes para un mantenimiento de 1000 horas para los scoop, se observa la cantidad, número de parte, nombre detallado y sistema del que se debe de cambiar, en este caso es un mantenimiento preventivo general del equipo, ya que se realiza el cambio de todos los filtros, empaques, y lubricantes del subsistema de motor, transmisión, subsistema hidráulico, mandos finales y diferenciales.

✓ **Tabla de elementos de un mantenimiento preventivo de 2000 horas (PM4).**

En la siguiente tabla se detalla la cantidad de elementos que se requiere para un mantenimiento preventivo de 2000 horas para un scooptrams R1600G.

**Tabla 32:** *Filtros, insumos para ejecución de mantenimiento preventivo 2000 horas.*

MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE 2000 HORAS				
ÍTEM	CANTIDAD	No. DE PARTE	NOMBRE	SISTEMA
1	1	5P-5678	ORING SEAL	GENERAL
2	1	3J-1907	ORING SEAL	GENERAL
3	1	7F-8268	ORING SEAL	GENERAL
4	1	8H-7521	ORING SEAL	GENERAL
5	1	3H-1461	ORING SEAL	GENERAL
6	1	6D-9157	ORING SEAL	GENERAL
7	1	5M-2057	ORING SEAL	GENERAL
8	1	3D-2824	ORING SEAL	GENERAL
9	4	1R-0719	FILTRO DE ACEITE HIDRÁULICO	HIDRÁULICO
10	1	1R-0716	CONJUNTO DE FILTRO DE ACEITE DE MOTOR	MOTOR DIESEL
11	1	133-5673	ELEMENTO DE FILTRO	MOTOR DIESEL
12	1	1R-0749	CONJUNTO DE FILTRO DE COMBUSTIBLE	MOTOR DIESEL
13	1	141-0284	KIT DE FILTRO DE COMBUSTIBLE SEPARADOR DE AGUA	MOTOR DIESEL
14	2	9Y-1758	EMPAQUETADURA DEL PTX	MOTOR DIESEL
15	1	9X-2205	TAPA DEL FILTRO SEPARADOR DE AGUA	MOTOR DIESEL
16	1	1R-0722	FILTRO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	TRANSMISIÓN
17	1	1R-0722	FILTRO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	TRANSMISIÓN
18	2	1G-8878	FILTRO DE ACEITE DE DIFERENCIAL	TRANSMISIÓN
19	1	7L-3111	EMPAQUETADURA DE TAPA DE DRENAJE DE ACEITE	TRANSMISIÓN
20	2	1G-8878	FILTRO DE ACEITE DE DIFERENCIALES	TRANSMISIÓN
21	6	7M-8485	ORING SEAL DE TAPON DE DIFERENCIALES Y MANDOS FINALES	TRANSMISIÓN

**Fuente:** *Elaboración propia.*

### 3.1.2 Capacidad de llenado e identificación de lubricantes.

Mediante las recomendaciones del fabricante, se identifica la cantidad y tipo de fluido (Aceite que debe usar cada sistema en los equipos).

Es de vital importancia el conocimiento de las capacidades de llenado, porque mediante este dato se puede llevar un mejor control de insumos utilizados para cada mantenimiento, y como también se evita percances que se puede tener en la administración y sustitución de los lubricantes destinados para cada mantenimiento de cada equipo.

**Tabla 33:** *Capacidad de llenado de aceite de los diferentes sistemas del Scoop.*

Capacidades de llenado			
Compartimiento o sistema	Litros	Galones EE.UU.	Galones Imperiales
Cárter del motor	36.1	9.5	7.9
Transmisión	47	12.4	10.3
Tanque Hidráulico	125	33	27.5
Sistema de enfriamiento	53	14	11.7
Diferencial y mandos finales delanteros	70	18.5	15.4
Diferencial y mandos finales traseros	70	18.5	15.4
Diferencial y mandos finales delanteros (con enfriador de aceite del eje)	80	21.1	17.6
Diferencial y mandos finales traseros (con enfriador del aceite del eje).	80	21.1	17.6
Tanque de combustible	400	105.7	88
Tanque secundario de combustible (si tiene)	330	87.2	72.6

**Fuente:** *Tomado de Área Planeamiento -CONTRATISTAS MINEROS Y CIVILES DEL PERÚ 2018.*

Con la buena administración de los componentes e insumos para cada mantenimiento se logra obtener un dato real acerca de los costos para cada mantenimiento que puede ser preventivo y correctivo.

Se logró diseñar cuadros para la administración de componentes para el mantenimiento preventivo, también se obtuvo la información detallada de la capacidad de llenado de todos los tanques del scooptrams, con la finalidad de tener una data en cantidad de insumos a utilizar para cada mantenimiento.

**Análisis económico de la implementación de la metodología RCM para los Scooptram R1600G.**

**Tabla 34:** *Balance económico antes de la implementación de la metodología RCM.*

BALANCE ECONÓMICO DE ACUERDO AL VALOR POR HORA DE OPERACIÓN					
EQUIPO	HORAS TRABAJADAS	HORAS INOPERATIVO/MES	COSTO DE HORA \$	PERDIDA POR INOPERATIVIDAD	VALOR DE HORAS TRABAJADAS
SCA- 141	8192.6	80	90	\$7,200.00	\$737,334.00
SCA-160	5937.6	92	90	\$8,280.00	\$534,384.00
			<b>TOTAL</b>	\$15,480.00	\$1,271,718.00

**Fuente:** *Elaboración propia.*

En la tabla anterior se muestra la cantidad de horas de trabajo del equipo valorizado en 90 dólares por hora, también se muestra las horas que el equipo estuvo inoperativo durante el mes antes de la implementación de la metodología RCM generando pérdidas de \$15 480.

**Tabla 35:** *Balance económico después de la implementación de la metodología RCM.*

BALANCE ECONÓMICO DESPUES DE REDUCIR LA PRESENCIA DE FALLAS EN UN 75%					
EQUIPO	HORAS TRABAJADAS	HORAS INOPERATIVO/MES	COSTO DE HORA \$	PERDIDA POR INOPERATIVIDAD	VALOR DE HORAS TRABAJADAS
SCA- 141	8192.6	20	90	\$1,800.00	\$737,334.00
SCA-160	5937.6	22.5	90	\$2,025.00	\$534,384.00
			<b>TOTAL</b>	\$3,825.00	\$1,271,718.00

**Fuente:** *Elaboración propia.*

Después de la implementación de la metodología RCM se logró reducir las horas de inoperatividad del scooptrams en un 75%, logrando así reducir los costos por inoperatividad del equipo de estar en \$15, 480.00 a un total de \$3, 825.00, si multiplicamos la diferencia por 12 meses obtendremos la cantidad de costos que se puede lograr reducir con la implementación de la metodología RCM, durante un año se estima que sería un total de \$139,860.00 de costos reducidos por inoperatividad de los scooptram.

#### IV. DISCUSIÓN

- ✓ La recopilación de información se considera como primer paso para realizar la implantación de un nuevo sistema de gestión de mantenimiento, sirve como una base para empezar a crear un historial de cada equipo. Para realizar un eficaz historial, es necesario tener una data de la cantidad de equipos, especificando criterios como marca, potencia, capacidad, año de fabricación y demás datos.
- ✓ Realizar un análisis de criticidad de equipos mediante las tablas de FMEA, sirve como punto de partida para determinar qué subsistema o componente es el más crítico, el cual se tiene que dar prioridad, de tal manera encontrar la solución a cada efecto de los modos de fallos, conseguir que el sistema quede en condición de operativo y empezar a levantar el índice de disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad.
- ✓ La implantación de la metodología RCM, es una de las mejores alternativas en cuanto a implantación de nuevos sistemas de gestión se trata, ya que como punto de partida tiene la creación del grupo de trabajo, luego selecciona el contexto operacional, los subsistemas del equipo, de tal manera, busca las mejores soluciones, conjuntamente con el equipo de trabajo ya que son ellos los encargados de que se vaya desarrollando al pie de la letra, y como objetivo es lograr que los equipos lleguen a su óptimo funcionamiento, cumpliendo los estándares de operación, seguridad y medio ambiente.
- ✓ La capacitación constante, con temas relevantes que tengan relación con la mantención de los equipos, es de vital importancia para lograr una mano de obra calificada dentro de la organización, al obtener un personal bien capacitado, ayuda a dar una mejor solución a las fallas que se puedan presentar en los activos, aplicando nuevos métodos, conocimientos y técnicas las cuales se logra percibir mediante el entrenamiento del personal. Muchas de las organizaciones lo toman como una inversión innecesaria, pero lo que busca la metodología del RCM es revertir este mal concepto, y esto se está logrando paulatinamente gracias a la capacitación.

- ✓ Mediante la implementación de un área de logística, la que se encargará de administrar los repuestos, llevando un control de cantidad de elementos para cada mantenimiento y teniendo información de la cantidad de insumos, se logra una ventaja muy significativa en cuanto a los tiempos que se demora, cuando no se cuenta con un área determinada dentro de la organización.

## V. CONCLUSIONES

En la elaboración de esta tesis se ha tenido en cuenta la metodología (RCM), considerado como un procedimiento que identifica las funciones del sistema u equipo, la forma en la que estas funciones pueden dejar de cumplirse y que establece una prioridad en las actividades de mantenimiento preventivo, basadas siempre en consideraciones que tienen que ver con las consecuencias, la ocurrencia de los fallos que traen consigo. Por tal motivo concluyo lo siguiente:

- ✓ La recolección de datos eficiente fue fundamental para asegurar la calidad de datos obtenidos, se logró obtener datos reales acerca de la cantidad de fallas, frecuencia y horas que el equipo estuvo inoperativo. Se concluye que después de determinar la cantidad de fallas de los scooptram, R1600G, SCA-141 y SCA-160. Se logró encontrar las fallas con un nivel de ocurrencia muy frecuente en los subsistemas eléctrico, motor e hidráulico para lo cual se tuvo que realizar el FMEA (análisis de modos y efectos de falla). Después de realizar el análisis de modos y efectos de falla para cada subsistema del scooptram, se pudo encontrar el NPR (número de prioridad del riesgo) muy altos indicando que tales subsistemas están en estado crítico. También se determinó los indicadores de mantenimiento como disponibilidad actual SCA-141 con un 79.83% y para el SCA-160 un 42.11%, confiabilidad SCA-141 con un 34% y para el SCA-160 con un 14%, mantenibilidad SCA-141 con un 98% y para el SCA-160 con 77%, siendo muy bajo los indicadores de mantenimiento.
  
- ✓ La implantación del RCM, ayudó a formar un verdadero equipo de trabajo, volviéndose rutinario, donde las reuniones fueron dinámicas, logrando así el compromiso de todo el personal involucrado en el área, como también la ayuda mutua entre compañeros para determinar una falla que se presentó en los equipos. La metodología RCM asignó responsabilidad a todo el personal involucrado en el área de mantenimiento, desde la jefatura, supervisores, logísticos, técnicos y operadores, obteniendo como resultado la efectividad en las actividades diarias. Se logró aumentar la disponibilidad en los scooptram SCA-141, a un índice de 89.84% y para el SCA-160 con una disponibilidad de 84.56%, confiabilidad para el SCA-141 con un 90%, y



para el SCA-160 con 82%, mantenibilidad para el SCA-141 con un 99% y para el SCA-160 un 99%. Para fines del presente año, mediante la implantación de la metodología RCM a los scooptram, se propone un incremento de disponibilidad a un 92% lo que significa grandes ganancias para la empresa.

- ✓ Con la capacitación del personal técnico con el programa denominado ESCUELITA CONMICIV, se logró desarrollar y capacitar a todo el personal con temas relevantes en cuanto al procedimiento y nuevas estrategias para realizar los mantenimientos preventivo y correctivo. A la fecha se logró desarrollar 36 temas, las cuales se le alcanzo al personal de las tres guardias cumpliéndose con 2 horas programadas diariamente y un total de 216 horas de capacitación que se vinieron realizando en diferentes fechas a partir de abril del presente año. Con el personal capacitado se logró reducir los tiempos que se demora para reparar.
  
- ✓ Con la creación de cartillas para la administración y a la vez contando con un stock de componentes para cada mantenimiento preventivo y correctivo, como también tener la data exacta de la cantidad de insumos para cada mantenimiento preventivo, se logró minimizar los tiempos de parada de los scooptram, logrando así una mayor utilización de los mismos.

## VI. RECOMENDACIONES

- ✓ La recopilación de información como punto de partida para la creación de nuevos planes de mantenimiento es muy importante, se recomienda partir siempre de ahí, ya que se logra obtener la data actual de los equipos, estado, condición, de tal manera buscar nuevos métodos y técnicas para encontrar las soluciones a la problemática en los sistemas.
- ✓ La implantación acerca de la metodología RCM, teniendo como herramienta FMEA para encontrar el estado y condición de los equipos, es muy importante ya que ayuda al RCM a contar con una base de datos para eventos a futuros, así obtener un historial de cada equipo.
- ✓ La capacitación constante con temas familiarizados a los equipos es de vital importancia, para la implantación de la metodología RCM, como resultado se obtendrá técnicos altamente preparados para cualquier evento que ocurra con los equipos.
- ✓ La realización del análisis de modos y efectos de falla es muy importante, ya que ayudan a garantizar un trabajo rápido y una mejor intervención de los equipos.
- ✓ La metodología RCM facilita en formar un equipo de trabajo que este pendiente de la administración de todos los insumos y componentes para cada mantenimiento de los equipos.
- ✓ Se recomienda a las organizaciones que tengan activos en función, crear un área estratégica para la administración de insumos y elementos para cada mantenimiento y subsistema de los equipos.

## REFERENCIAS

- ASTETE, MIGUEL. 2017.** *DISEÑO DE UN PLAN DE GESTION DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE BAJO PERFIL DE LA SERVICE SANDVIK-COMPAÑIA MINERA CASTROVIRREYNA SA.* Huancayo : s.n., 2017.
- CARDENAS, MARCO. 2011.** *Diseño de un plan de mantenimiento basado en RCM, para los equipos y vehiculos de Dinacol SA.* Cartagena : s.n., 2011.
- CORDOVA, CARLOS. 2005.** *IMPLANTACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) A LOS HORNOS CONVERTIDORES PEIRCE SMITH DE LA FUNDICIÓN DE COBRE DE SOUTHERN PERU COPPER CORPORATION.* Lima : s.n., 2005.
- DAMMERT, ALFREDO y MOLINELLI, FIORELLA. 2007.** *Panorama de la Minería en el Perú.* Lima : s.n., 2007. pág. 198.
- ELLMANN, ENRRIQUE. 1958.** *Costo-beneficio de la implantacion de RCM 2, mantenimiento centrado en la confiabilidad.* Buenos Aires : s.n., 1958.
- FINNING CAT. 2010.** *Cargador de minería subterranea R1600G.* Santiago de Chile : s.n., 2010.
- Galvez, Cindy y Mescua, Raul. 2016.** *Propuesta de Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad aplicado a una flota de camiones fuera de carretera en una mina tajo abierto.* 2016. pág. 16.
- GAMEZ, ERIXON. 2017.** *Sistema de gestión de mantenimiento basado en la criticidad y AMEF de equipos de minería subterranea en la empresa minera MARSAS S.A. para aumentar la disponibilidad.* Trujillo : s.n., 2017.
- GARCÍA. 2009.** *Ingeniería de mantenimiento.* Madrid : s.n., 2009. pág. 388.
- GARCIA, DIEGO. 2006.** *Evaluación y planificación de mejoras en la gestión de mantenimiento en el taller de vehículos en mina (MCC), mantenimiento centrado en confiabilidad, minera loma de Niquel.* Caracas : s.n., 2006.
- Garcia, Santiago. 2009.** *Ingeniería del Mantenimiento.* 2009. pág. 21.
- GRANADOS, JHONATAN. 2015.** *Gestion de la disponibilidad de activos para la explotación subterranea mejorada en minería. Tecnomin Data Eirl unidad Cerro Lindo.* Huancayo : s.n., 2015.
- HERRERA, JUAN. 2009.** *Introducción al Mantenimiento Minero.* Madrid : s.n., 2009. pág. 27.
- KNEZEVIC. 1996.** *Mantenimiento.* Madrid : Closas Orcoyen S L, 1996. pág. 211.
- MC DERMONTT, Robin, MIKULAK, Raimond y BEAUREGARD, Michel. 1996.** *The Basic of FMEA.* New York : s.n., 1996. págs. 67-70.

- MOUBRAY, John. 1997.** *Mantenimiento Centrado en la confiabilidad.* [trad.] SUEIRO Y ASOCIADOS ELLMANN. 2da edición. Lutterworth : s.n., 1997. pág. 433. O9-5-19603-2.
- PRANDA, RAUL. 1996.** *Manual Gestion de Mantenimiento a Medida.* Piedra Santa : Piedra Santa S.A, 1996.
- RAMOS, JAVIER. 2013.** *Influencia de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo en la vida útil de la flota de camiones en la empresa DISTRIBUIDORA PMA EIRL.* Trujillo : Universidad Cesar Vallejo, 2013. pág. 45.
- RESEMIN SA. 2014.** *Manual de mantenimiento-Muki FF.* Lima : s.n., 2014.
- RIVERA, JOSÉ. 2015.** *Modelo de toma de decisiones de mantenimiento para evaluar impactos en disponibilidad, mantenibilidad, confiabilidad y costos.* Santiago de Chile : s.n., 2015.
- SALDAÑA, JOSE. 2013.** *DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA LA DISMINUCION DE COSTOS OPERATIVOS DE LA MAQUINARIA PESADA DE LA EMPRESA CHIMU AGROPECUARIA S.A.* TRUJILLO : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO, 2013.
- TECSUP . 2011.** *Importancia de la Auditoría de Gestión del Mantenimiento.* Lima : s.n., 2011.
- VÁZQUES, JONATHAN. 2016.** *Sistema de gestión de mantenimiento basado en el riesgo para aumentar la confiabilidad de la maquinaria pesada de la empresa Representaciones y Servicios Técnicos América SRL Trujillo.* Trujillo : s.n., 2016.

# **ANEXOS**

**Anexo 1:** Instrumento de evaluación, encuesta.

## **INSTRUMENTO 1**

### **Instrumento de evaluación N°1: Encuesta percepción y desempeño de mantenimiento.**

Cargo:

Fecha:

UCV - Escuela de Mecánica eléctrica, facultad de Ingeniería

1; Cualquier persona puede recibir una excelente impresión al visitar sus instalaciones y observar el estado en que se encuentra la maquinaria y la limpieza de su area alrededor?

a) Sí      b) No

2. Cada vez que es necesario, el servicio del personal de mantenimiento es rapido y eficaz, da la solución a los problemas y aseguran que estos no se repitan?

a) Sí              b) No

3. Existe un excelemente dialogo entre todos sus colaboradores que permite analizar las causas raiz de los problemas para evitar su recurrencia?

a) Sí,      b) No

4. Los técnicos de mantenimiento, cuando llegan a efectuar un servicio,están preparados con los conocimientos y las herramientas adecuadas?

Sí              No

5) En la mayoría de los casos en que se requiere una reparación, se cuenta con los repuestos necesarios, lo que permite reducir al mínimo perdidas de instalaciones disponibles?

Sí              No

6) Los técnicos de mantenimiento son respetados por su trato profesional con todos los demás asociados?

Sí              No

7) los equipos cumplen con los estándares de operación, y siempre están disponibles cuando se les requiere?

Si              No

Encuestados:

Personal técnico.

Jefe de mantenimiento.

Operadores de los equipos.

Anexo 2: Cartilla, antes de poner en marcha al equipo.

**INSTRUMENTO 2. Cartilla de inspección del equipo antes de poner en marcha.**



N° DE ORDEN DE TRABAJO:				
	MODELO	N° DE SERIE	CODIGO INTERNO	FECHA
MÁQUINA	R1600G			
MOTOR	3176C			

**1. INSPECCIÓN GENERAL DEL EQUIPO:**

		SI	NO	COMENTARIOS
Soportes del motor	Delanteros (bueno)			
	Posteriores (bueno)			
Conjunto del Ventilador	Vibración (cubo)			
	Juego axial (cubo)			
	Rozamiento (aspas)			
Estado de fajas del motor	Desgastado			
	Agrietado			
	Holgura correcta			
Desgaste de polea del ventilador				
Desgaste de polea del alternador				
Desgaste de polea del cigüeñal				
Fugas en el sistema de refrigeración	Radiador			
	Mangueras			
	Otros accesorios			
Sistema de admisión (Daños)	Mangueras o tuberías			
	Abrazadera faltante			
	Prefiltro/Filtros			
Sistema de Combustible. (Fugas)	Cañerías			
	Inyectores			
	Filtros			
Bomba de cebado (funciona)				
Cárter del motor	Fugas			
	Golpes o abolladuras			
Fugas retén delantero del cigüeñal				
Selector de transmisión (funciona)				
Automáticos de levante y de volteo (funcionan)				
Buen estado de luces del equipo	Iluminación			
	Freno			
	Direccionales			
	Retroceso			
Panel de instrumento (funciona)	Luces de aviso			
	Alarma de aviso			
	Instrumentos			
Claxon (funciona)				
Alarma de retroceso (funciona)				
Panel E.M.S. (funciona)				
ECM (códigos de falla almacenados)				
Arrancador eléctrico (funciona)				
Alternador auxiliar de carga (funciona)				
Freno de parqueo (funciona)				
Fugas en el sistema de transmisión	Mangueras			
	Retenes			
	Otros accesorios			
Fugas del sistema hidráulico	Mangueras y niples			
	Cilindros			
	Otros accesorios			
Fugas en el sistema de dirección	Mangueras y niples			
	Cilindros			
	Otros accesorios			
Crucetas Cardanes y Yugos	Buen estado			
	Excesivo juego			
	Lubricados			
Desgaste de articulación central				
Desgaste de soportes del diferencial				
Pines y bocinas del implemento	Lubricados			
	Excesivo juego			
	Sellos faltantes			
Pines y bocinas del cucharón	Lubricados			
	Excesivo juego			
	Sellos faltantes			

**Anexo 3:** Certificado de validez de contenido del instrumento.

**CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO**

ÍTEM	CRITERIOS A EVALUAR						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse un ítem por favor indique)
	Pertinencia <sup>1</sup>		Relevancia <sup>2</sup>		Claridad <sup>3</sup>		
	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
1	X		X		X		
2							
3							
4							
5							
6							
7							
<b>Aspectos Generales</b>					Sí	No	
El instrumento contiene instrucciones claras y precisas para responder el cuestionario					X		
Los ítems permiten el logro del objetivo de la investigación					X		
El número de ítems es suficiente para recoger la información. En caso de ser negativa su respuesta, sugiera los ítems a añadir					X		
<b>VALIDEZ</b>							
APLICABLE				X	NO APLICABLE		
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES							

<sup>1</sup>**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado de la variable y/o dimensión.

<sup>2</sup>**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar el indicador de la dimensión y la variable.

<sup>3</sup>**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

**DATOS GENERALES DEL EXPERTO**

Apellidos y nombres: *Valderrama Campos, Edwin Ronald*

Profesión: *Ingeniero Mecánico*

Especialidad: *Circuitos Térmicos*

  
 -----  
 CIP: 109677  
**Firma del Experto**



**Anexo 4:** Certificado de validez de contenido del instrumento.

**CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO**

ÍTEM	CRITERIOS A EVALUAR						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse un ítem por favor indique)
	Pertinencia <sup>1</sup>		Relevancia <sup>2</sup>		Claridad <sup>3</sup>		
	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
1	X		X		X		
2							
3							
4							
5							
6							
7							
<b>Aspectos Generales</b>					Sí	No	
El instrumento contiene instrucciones claras y precisas para responder el cuestionario					X		
Los ítems permiten el logro del objetivo de la investigación					X		
El número de ítems es suficiente para recoger la información. En caso de ser negativa su respuesta, sugiera los ítems a añadir					X		
<b>VALIDEZ</b>							
APLICABLE				X	NO APLICABLE		
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES							

<sup>1</sup>**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado de la variable y/o dimensión.

<sup>2</sup>**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar el indicador de la dimensión y la variable.

<sup>3</sup>**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

**DATOS GENERALES DEL EXPERTO**

Apellidos y nombres: *IPARRAGUIRAE LOZANO ARQUIMEDES*

Profesión: *ING. MECANICO*

Especialidad: *DISEÑO DE MAQUINAS*

  
 CIP: 73016  
 Firma del Experto

**Anexo 5:** Certificado de validez de contenido del instrumento.

**CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO**

ÍTEM	CRITERIOS A EVALUAR						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse un ítem por favor indique)
	Pertinencia <sup>1</sup>		Relevancia <sup>2</sup>		Claridad <sup>3</sup>		
	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
1	✓		✓		✓		
2	✓		✓		✓		
3	✓		✓		✓		
4	✓		✓		✓		
5	✓		✓		✓		
6	✓		✓		✓		
7	✓		✓		✓		
<b>Aspectos Generales</b>					Sí	No	
El instrumento contiene instrucciones claras y precisas para responder el cuestionario					✓		
Los ítems permiten el logro del objetivo de la investigación					✓		
El número de ítems es suficiente para recoger la información. En caso de ser negativa su respuesta, sugiera los ítems a añadir					✓		
<b>VALIDEZ</b>							
APLICABLE				✓	NO APLICABLE		
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES							


<sup>1</sup>**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado de la variable y/o dimensión.  
<sup>2</sup>**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar el indicador de la dimensión y la variable.  
<sup>3</sup>**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

**DATOS GENERALES DEL EXPERTO**

Apellidos y nombres: *ARANDA GONZALEZ TORGE*

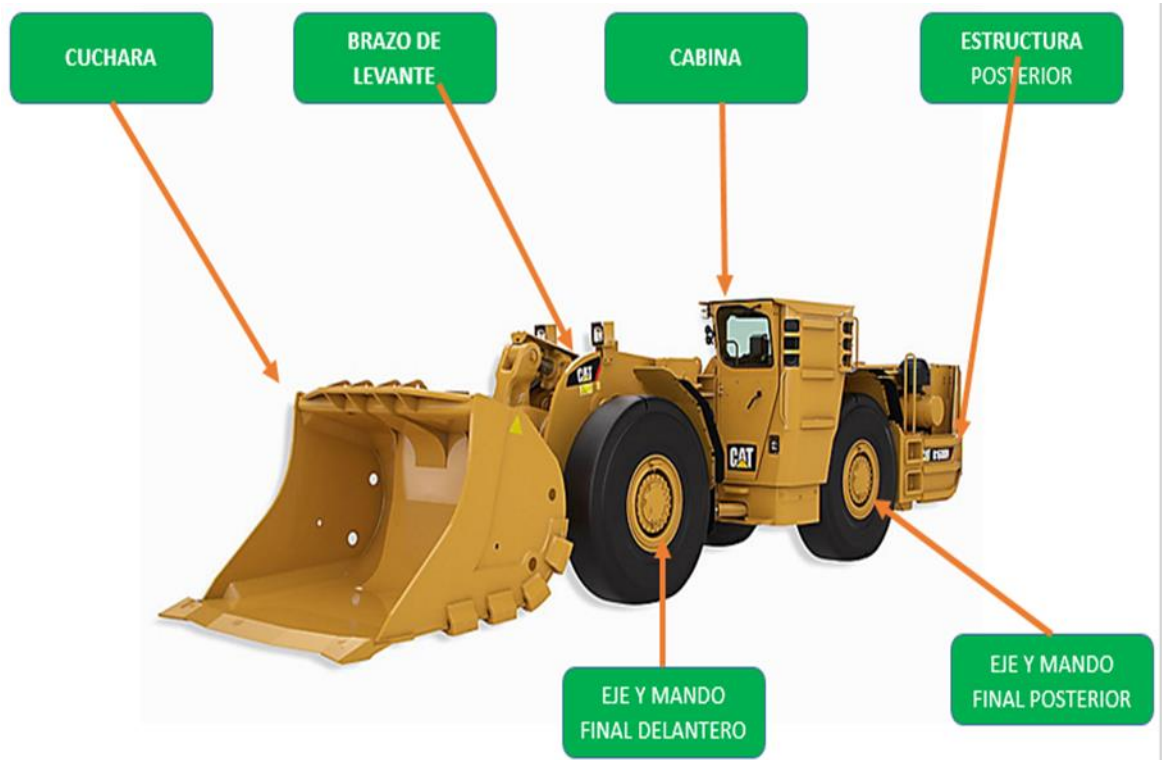
Profesión: *SOCIOTE INVESTITADOR*

Especialidad: *METEOROLOGO*



Firma del Experto  
*CIP 54088*

**Anexo 6:** Subsistemas del scooptram.



**Anexo 7:** Principales componentes del scooptram.



**Anexo 8:** Scooptram SCA-141, operación minera CMH.



**Anexo 9:** Scooptram SCA-160 operación minera CMH.

