



**UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y  
ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

## **T E S I S**

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN  
ANÁLISIS FMECA PARA LA FLOTA DE SCOOPTRAMS  
R1600G DE LA COMPAÑÍA MINERA CASAPALCA**

**PRESENTADA POR**

**BACHILLER LUIS ALONSO BONILLA ZEBALLOS**

**ASESOR**

**MGR. YURY VASQUEZ CHARCAPE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

**MOQUEGUA – PERÚ**

**2023**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
PAGINA DE JURADO .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
CONTENIDO .....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE APÉNDICES.....	x
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	xiv

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.	Descripción de la realidad del problema.....	1
1.2.	Definición del problema.....	1
1.2.1.	Problema general.....	1
1.2.2.	Problemas específicos. ....	1
1.3.	Objetivos de la investigación .....	2
1.3.1.	Objetivo general. ....	2
1.3.2.	Objetivos específicos. ....	2
1.4.	Justificación.....	2

1.5.	Alcances y limitaciones.....	3
1.6.	Variables .....	3
1.6.1.	Operacionalización de variables. ....	3
1.7.	Hipótesis de la investigación.....	4
1.7.1.	Hipótesis general.....	4
1.7.2.	Hipótesis derivadas. ....	4

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1.	Antecedentes de la investigación .....	5
2.2.	Bases teóricas .....	8
2.2.1.	Definición de mantenimiento.....	8
2.2.2.	Tipos de mantenimiento.....	9
2.2.3.	Indicadores claves de desempeño (KPI). ....	10
2.2.4.	Análisis de Modo, Efecto de Fallas y Criticidad (FMECA).....	12
2.2.5.	Scooptrams.....	17

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO**

3.1.	Tipo de la investigación .....	21
3.2.	Diseño de la investigación .....	21
3.3.	Población y muestra .....	22
3.3.1.	Población.....	22
3.3.2.	Muestra.....	22
3.4.	Descripción de instrumentos para recolección de datos .....	24

## **CAPÍTULO IV**

## **PRESENTACION DE RESULTADOS**

4.1.	Presentación de resultados .....	26
4.1.1.	Lista master de equipos que hay en la unidad minera.....	26
4.1.2.	Reporte de incidencias en los equipos de minería. ....	26
4.1.3.	Análisis total por riesgo (CTR).....	31
4.1.4.	Análisis de indicadores de confiabilidad y disponibilidad de los equipos más críticos.....	31
4.1.5.	Identificar modo de fallas.....	35
4.1.6.	Stock de repuestos.....	38
4.2.	Contrastación de hipótesis .....	40
4.3.	Discusión de resultados.....	40

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1.	Conclusiones .....	42
5.2.	Recomendaciones.....	43
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
	APÉNDICES.....	48
	MATRIZ DE CONSISTENCIA .....	111
	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	112

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 Operacionalización de las variables .....	3
Tabla 2 Especificaciones Técnicas del Scooptrams R1600G .....	20
Tabla 3 Factores de frecuencia de fallas .....	22
Tabla 4 Factores de consecuencias-IO .....	23
Tabla 5 Factores de consecuencias-FO .....	23
Tabla 6 Factores de consecuencias-CM .....	23
Tabla 7 Factores de consecuencias-SHA .....	24
Tabla 8 Reporte de fallas en unidades de mina .....	27
Tabla 9 Indicadores de mantenimiento para la flota Scoop R-1600G .....	33
Tabla 10 Indicadores de disponibilidad y confiabilidad .....	34
Tabla 11 Identificador de fallas .....	36
Tabla 12 Variables para el desarrollo de la implementación .....	37
Tabla 13 Stock de repuesto a mantener en almacén .....	38

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1 Mantenimiento Minero: reducción de costos en maquinaria.....	9
Figura 2 Proceso de Gestión del Mantenimiento aplicando el análisis de modos de falla y sus efectos y criticidad, AMFE.....	13
Figura 3 Proceso de análisis de fallas .....	14
Figura 4 Ciclo de Vida .....	16
Figura 5 Modelo básico de criticidad.....	17
Figura 6 Scooptrams en operación .....	18
Figura 7 Dimensiones de un Scooptrams.....	19
Figura 8 Matriz de criticidad.....	24
Figura 9 Reporte de incidencias de unidades en mina .....	30
Figura 10 Número de unidades con reportes de fallas .....	31
Figura 11 Gráfico de MTTR para Scoop R1600G.....	33
Figura 12 Comparación de indicadores de disponibilidad y confiabilidad para Scoop R1600G.....	35

## ÍNDICE DE APÉNDICES

	<b>Pág.</b>
Apéndice A Tablas.....	48
Tabla A1 Lista master de equipos.....	49
Tabla A2 Análisis de criticidad.....	50
Tabla A3 Análisis total por riesgo (CTR).....	51
Tabla A4 Análisis de modo de falla.....	54
Tabla A5 Plan de acciones correctivas para el análisis de modos de falla .....	82
Tabla A6 Resumen de vida útil de unidades de Scooptrams .....	88
Tabla A7 Resumen de componentes críticos .....	89
Apéndice B. Figuras.....	91
Figura B1 Distribución según año de fabricación.....	92
Figura B2 Planificación y programación de mantenimiento.....	93
Figura B3 Lista de inspección general SCOOP 1600 .....	94
Figura B4 Procedimiento diario para SCOOP 1600 .....	95
Figura B5 Lista de inspección mecánica SCOOP 1600.....	96
Figura B6 Lista de inspección eléctrica SCOOP 1600 .....	100
Figura B7 Lista de inspección de lubricación SCOOP 1600 .....	101
Figura B8 Lista de inspección de la cabina del operador .....	102
Figura B9 Mantenimiento 50 horas SCOOP 1600.....	103
Figura B10 Mantenimiento 250 horas SCOOP 1600.....	105
Figura B11 Mantenimiento 500 horas SCOOP 1600.....	106
Figura B12 Mantenimiento 1000 horas SCOOP 1600.....	108
Apéndice C Fotografías.....	109
Fotografía C1. Frente de trabajo del Scooptrams R1600G .....	110

Fotografía C2. Lubricación del Scooptrams R1600G.....	110
---	-----



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo general: mejorar la gestión de mantenimiento mediante el diseño de un nuevo plan de mantenimiento basado en la metodología de análisis FMECA para la flota de Scooptrams R1600G, en la Compañía minera Casapalca 2020. La población corresponde a los 72 equipos a cargo del contrato para este servicio de equipos entre los cuales tenemos: 19 Jumbos, 11 Dámper, 35 Scooptrams y 7 equipos auxiliares. Finalmente, como resultados se logró demostrar que la situación actual del área de mantenimiento de la unidad minera cuenta con muchas fallas, donde el principal problema era que los operarios no tenían bien definidos sus funciones y por lo tanto el programa de mantenimiento no se lograban a cumplir al 100%. De 481 incidencias fueron por fallas mecánicas y 53 por fallas eléctricas siendo un total de 534 incidencias en un mes de todas las unidades en minería. Donde las unidades Scoop representan el 42% con 224 incidencias, y luego les sigue los Jumbos con un 35% con 186 incidencias. Los Scoops representan el mayor porcentaje de incidencias, con 35 unidades intervenidas, a diferencia de los Jumbos con 19 unidades intervenidas. Con estas cifras podemos ver que los Scooptrams son el modelo que tienen mayor número de unidades que fallan.

*Palabras clave:* Scooptrams, FMECA, plan de mantenimiento, incidencia.

## **ABSTRACT**

The general objective of this research work was to improve maintenance management through the design of a new maintenance plan based on the FMECA analysis methodology for the fleet of Scooptrams R1600G, in the Casapalca 2020 mining company. The population corresponds to the 72 equipment in charge of the contract for this equipment service among which we have: 19 Jumbos, 11 Dampers, 35 Scooptrams and 7 auxiliary equipment. Finally, the results showed that the current situation in the maintenance area of the mining unit has many failures, where the main problem was that the operators did not have their functions well defined and therefore the maintenance program could not be fulfilled 100%. Of 481 incidents were due to mechanical failures and 53 were due to electrical failures, for a total of 534 incidents in one month for all mining units. Scoop units represent 42% with 224 incidents, followed by Jumbos with 35% with 186 incidents. Scoops represent the highest percentage of incidents, with 35 units intervened, as opposed to Jumbos with 19 units intervened. With these figures we can see that Scooptrams are the model with the highest number of failed units.

*Keywords:* Scooptrams, FMECA, maintenance plan, incidence.

## INTRODUCCIÓN

El área de mantenimiento Trackless de Gestión Minera Integral es la encargada de garantizar la operatividad de la flota de bajo perfil en la unidad minera Casapalca, cuya principal responsabilidad es mantener en buen estado todos los equipos que intervienen en el proceso minero, el área se basa en el tipo de equipo y su importancia en el proceso minero. Las denominadas instalaciones de bajo perfil son las encargadas de transportar los minerales hacia y desde Beta luego del proceso de voladura, para lo cual utilizan Scoop capaces de cargar volquetas hasta la planta de procesamiento de minerales.

La flota de los equipos de bajo perfil para la actividad extractiva está compuesta principalmente por Scooptrams, Dumper y Jumbos, los cuales son adaptados según la necesidad y las condiciones del terreno, para poder determinar en cual equipo se debe trabajar y mejorar sus indicadores, se aplica la metodología de análisis de criticidad basado en el riesgo, de acuerdo al impacto total en la empresa, tomando como referencia el método de Parra y Crespo (2012), donde evalúa la frecuencia de falla por las consecuencias como son las magnitudes de impacto que tienen en la operación, factor de flexibilidad operacional, costos de mantenimiento y el factor de magnitud de afectación en la seguridad. La evaluación correspondiente indica que la flota con mayor criticidad es la de los Scooptrams modelo R1600G, siendo el modelo de equipo donde se realizara el análisis de los mecanismos de fallas, partiendo de la formación de un equipo especialista de todas las áreas involucradas y con conocimiento del funcionamiento del equipo y determinar un nuevo plan de mantenimiento basado en el análisis FMECA.

La flota de equipos Scooptrams, en su mayoría tienen una antigüedad mayor a los trece años, motivo por el cual el costo de su mantenimiento y la frecuencia varia con el pasar de los años, una de las propuestas de mejoras para los equipos fue la incorporación de un plan de lubricación con el fin de incrementar la disponibilidad de los Scooptrams, el tipo de mantenimiento propuesto es basado en el monitoreo de condiciones, a partir del análisis de aceite para determinar los contaminantes presentes y sus posibles consecuencias en los equipos.

Teniendo en cuenta las condiciones de operación y el tiempo de trabajo de los equipos, existen definidos las fallas frecuentes y sus consecuencias en el proceso, llegando a corregirlas inmediatamente, la investigación propuesta busca trabajar en base a la información establecida de las fallas frecuentes para realizar el análisis de los mecanismos falla, estableciendo los modos de falla, las causas de las fallas y las consecuencias; una vez definido por sistemas y subsistemas se realizaría la jerarquización mediante el método FMECA, donde se determinara el sistema y subsistemas más crítico mediante el cálculo del NPR.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Descripción de la realidad del problema**

En Perú, el trece por ciento de la inversión privada nacional en 2019 y más del 60 por ciento del valor total de las exportaciones peruanas, según datos del Banco Central de Reserva del Perú (BCRP). A nivel mundial, el país es también uno de los principales productores de base. clasificación de metales.

Dependiendo del tipo de mina, existen minas a cielo abierto, subterráneas, y combinadas (abiertas y subterráneas). Las unidades subterráneas se caracterizan por el uso de equipos de bajo perfil, la unidad minera Casapalca cuenta con una flota de 72 equipos, de los cuales clasificados por modelos corresponden a 19 Jumbos, 11 Dumper, 35 Scooptrams y 7 equipos auxiliares, los cuales trabajan en las actividades extractivas.

Una de las características principales de las unidades son los años de trabajo, el cual incrementa los costos que se generan de mantenimiento y operación se eleven por paradas imprevistas y la falta de una actualización del plan de mantenimiento según las horas acumuladas de trabajo en los equipos utilizados.

Entre las flotas más críticas tenemos la que corresponde al de mayor cantidad de equipos, que son los Scooptrams, cuyo promedio de antigüedad corresponde a 13 años con equipos del 2007 al 2020, habiendo ya realizado overhaul en la mayoría de los equipos, lo cual llega a representar la probabilidad de que aumenten las fallas con la edad de los activos hasta que llegue el punto de tomar la decisión de reemplazar el equipo.

## **1.2. Definición del problema**

### **1.2.1. Problema general.**

¿El diseño de un plan de mantenimiento basado en la metodología de análisis FMECA de la flota de Scooptrams R1600G, en la Compañía minera Casapalca tendrá un efecto en la gestión de mantenimiento de la compañía minera Casapalca?

### **1.2.2. Problemas específicos.**

¿El análisis de criticidad por sistemas y sub sistemas tendrá un efecto en la determinación de detenciones por mantenimiento?

¿El análisis de los modos de falla, los efectos de fallas y la criticidad (FMECA) en los equipos Scooptrams R1600G, tendrá un efecto en el diseño del plan de mantenimiento?

¿El diseño de un plan de mantenimiento para los equipos Scooptrams R1600G en base a los resultados del análisis FMECA tendrá algún efecto para la gestión de mantenimiento de la compañía minera Casapalca?

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1. Objetivo general.**

Mejorar la gestión de mantenimiento mediante el diseño de un nuevo plan de mantenimiento basado en la metodología de análisis FMECA para la flota de Scooptrams R1600G, en la Compañía minera Casapalca 2020.

#### **1.3.2. Objetivos específicos.**

Realizar el análisis de criticidad de los sistemas y sub sistemas que presentan más detenciones por mantenimiento.

Realizar el análisis el FMECA por sistemas y subsistemas de los equipos Scooptrams R1600G.

Diseñar el nuevo plan de mantenimiento optimo basado en los resultados del análisis FMECA.

### **1.4. Justificación**

El desarrollo del trabajo de investigación permite el análisis de información real sobre la flota de equipos de bajo perfil de Scooptram, analizando los modos de falla y la criticidad, con el fin de generar una mejora para el área mantenimiento de la flota, teniendo en cuenta los años de vejez sirve de base para alargar la vida útil. de equipos recién adquiridos del mismo tipo.

## 1.5. Alcances y limitaciones

El alcance de la investigación está dirigido para todos los colaboradores de mantenimiento y operaciones mina que son los que interviene directamente con los equipos de bajo perfil, también tiene un alcance con las demás áreas al estar relacionadas y los resultados influenciarán indirectamente en la producción, indicadores de mantenimiento y seguridad.

El trabajo se desarrolló como parte de las actividades propias del puesto de trabajo, teniendo acceso directo a los equipos y la información para ser procesada estadísticamente sin existir limitaciones.

## 1.6. Variables

- Variable independiente: Plan de mantenimiento
- Variable dependiente: Flota de equipos Scooptrams R1600G

### 1.6.1. Operacionalización de variables.

**Tabla 1**

*Operacionalización de las variables*

Variable	Dimensión	Indicador	Índice	Instrumento
<b>Variable independiente:</b> Plan de Mantenimiento.	Gestión de mantenimiento (KPI)	MTTR	horas	Análisis de criticidad
		MTBF	horas	FMECA
		Disponibilidad	Porcentaje (%)	<b>(Apéndice E)</b>
<b>Variable dependiente:</b> Scooptrams R1600G	Características de la flota	Número de equipos	Cantidad	Ficha
		Horas de trabajo	Horómetro	registro de datos
		Jerarquización	Criticidad	<b>(Apéndice A)</b>
		Fallas	Numero de OT	
Histórico de fallas	Taza de falla	Porcentaje (%)		



## **1.7. Hipótesis de la investigación**

### **1.7.1. Hipótesis general.**

El diseño de un programa de mantenimiento basado en el análisis FMECA mejora la gestión de mantenimiento para la flota de equipos Scooptrams R1600G, en la Compañía minera Casapalca.

### **1.7.2. Hipótesis derivadas.**

El análisis de criticidad permite priorizar los sistemas y subsistemas de la flota de unidades Scooptrams R1600G con mayores incidencias de fallas, impacta de forma positiva en el diseño de un nuevo plan de mantenimiento.

Para poder realizar un buen diseño del plan de mantenimiento se requiere realizar un análisis de los modos y efectos de falla, para poder encontrar la causa raíz.

Para lograr una mejora en la gestión del área de mantenimiento se tienen que revisar los resultados del análisis de riesgo FMECA para los equipos Scooptrams R1600G.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

Según Guerra (2017), en su tesis “Modos de falla y análisis de impacto de los cargadores de Minera Atacocha”, el objetivo fue realizar un análisis de modos de falla y efectos (FMEA) en la operación de los cargadores para mejorar las jornadas de trabajo. de la empresa, la conclusión final es que la falla del cargador se identifica en el análisis R-1600G, R-1600H y R-1300G. Se encontró que las fallas y codicias más graves ocurrieron en motor y en el sistema hidráulico, donde se realizó el análisis de modo y efectos de falla. Además, el RPN de cada sistema se puede calcular identificando fallas y aplicando el modo de falla y el análisis de efectos a los sistemas hidráulicos.

Según Cabeza y Padilla (2010), en su estudio titulado “Diseño de un plan para la mejora de la confiabilidad de las unidades con mayor criticidad en la empresa INSER LTDA a través de la metodología FMECA Y RCA”, con el objetivo de establecer acciones para la mejora de la confiabilidad de los activos críticos a través de las metodologías FMECA y RCA con el fin de optimizar los programas de mantenimientos e incrementar las disponibilidades de los mismos;

siendo una investigación descriptiva; donde finalmente se concluye que luego culminar los diagnósticos de los equipos mediante las herramientas estadísticas como el diagrama de Pareto y las distribuciones de frecuencia se obtiene que desde la perspectiva estratégica y operativa las unidades con mayor índice de criticidad son: las compresoras, máquinas de soldar, plantas eléctricas, debido a que estos equipos son los que demandan mayor inversión de mantenimiento y en los números de fallos. Las acciones derivadas de los FEMECA aplicados a máquinas de soldar, Compresores y Plantas eléctricas contribuyeron a mejorar el RPN (índice prioritario de riesgo) en un 81.1 % para las máquinas de Soldar, en un 80.1% para los compresores y en un 80.6% para las Plantas eléctricas.

Según Gómez (2013), en su estudio titulado “Análisis de fallas en maquinaria minera”, con el objetivo de realizar un análisis de fallas en los equipos y componentes mecánicos más importantes de las correas transportadoras escogidas de Minera Los Pelambres, siendo una investigación descriptiva-aplicativa; donde finalmente se concluye que como resultado de las metodologías de análisis de fallas planteadas, se seleccionaron los componentes mecánicos y equipos más importantes de correas transportadoras escogidas; se describieron e identificaron los modos de fallas en los componentes y equipos determinando los efectos, causas y procedimiento de detecciones y finalmente se propuso esquemas de aislación temprana y detecciones para los modos de fallas establecidos.

Según Moreno (2020), su estudio “Criticality, Effects and Failure Mode Analysis (FMECA) Offshore Wind Turbines” tuvo como objetivo describir en detalle el aerogenerador marino para luego implementar la siguiente norma UNE 60812 la relevancia con el fin de determinar los modos y causas

de falla para el sistema y sus diversos subsistemas, se realiza un estudio descriptivo a nivel de aplicación; finalmente, se concluye que los resultados luego de analizar el método FMECA muestran errores con criticidad alta, media y baja. Existen tres fallas más recurrentes según el nivel de criticidad, entre las fallas más comunes tenemos fallas entre las piezas de transición, fallas eléctricas o de aislamiento con el fin de implementar acciones preventivas con el fin de eliminar las paradas imprevistas.

Según Orozco (2016), en su estudio titulado “Análisis de riesgo de componentes mineros en desmovilización empleando el análisis FMECA y MCDA”, con el objetivo de analizar los riesgos funcionales de los equipos mineros que tienen como objetivo cierre final en la unidad minera Holy y de la empresa minera OFIR usando los métodos de análisis FMECA y MCDA, siendo una investigación descriptiva; Donde se logra concluir que del 100% de incidencias, 71% son de los depósitos de desmonte, el 60% modos de falla de los de depósito de relaves y el 29% de ambos tiene una criticidad 3, requiriendo mayor importancia (Orozco, 2016).

Según Laureano (2017), en su trabajo de investigación titulado “Programa de Mantenimiento Preventivo para una Mejor Disponibilidad SCOOPTRAMS R1600G en TECNOMIN DATA S.A.C.”, al diseñar un plan de mantenimiento preventivo para aumentar el nivel de disponibilidad de los equipos Scooptrams R1600G concluyó que luego de realizarlo, el riesgo funcional de análisis de componentes mineros, que finalmente fueron cerrados utilizando métodos analíticos - FMECA y MCDA; Se concluyó que la disponibilidad mecánica de los Scooptrams R1600G superó el 85,10% al aplicar el programa de

mantenimiento preventivo. El objetivo mínimo antes de aplicar el programa de mantenimiento preventivo incrementó la disponibilidad máxima promedio de las máquinas en un 6,5% en comparación con el promedio mínimo después de su aplicación. También se concluyó que revisando los equipos y siguiendo un plan detallado, la disponibilidad mecánica del cargador R1600G podría aumentar en un 25%.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Definición de mantenimiento.**

El mantenimiento se considera el consolidado de actividades encaminadas a mantener las condiciones iniciales de una pieza o componente; estas actividades incluyen una combinación apropiada de actividades administrativas y técnicas. El mantenimiento es esencial para producir los bienes y servicios que requieren los bienes.

Según Mora (2009), el principal objetivo del mantenedor es reducir o evitar las consecuencias de las fallas de los componentes, logrando prevenir trabajos inesperados. Dentro de las actividades están incluidos el cambio de piezas, cambios de lubricantes y aceites, etc.; tal y como se muestra en la Figura 1.

**Figura 1**

*Mantenimiento Minero: reducción de costos en maquinaria*



*Nota:* CAMIPER (2020)

### **2.2.2. Tipos de mantenimiento.**

Los equipos y maquinarias son fundamentales en el sector industrial y minero. No solo puede producir a un ritmo constante y continuo, sino que también puede entregar sus productos a sus clientes a tiempo. También es una forma de brindar garantía sobre la seguridad de los operadores y empleados y prevenir accidentes que puedan poner en peligro la salud y la integridad. (TERMOWATT, 2019)

Los tipos de mantenimiento que se tienen son correctivos, preventivos, predictivos y en casos especiales se realizar Overhaul.

#### **2.2.2.1. *Mantenimiento preventivo.***

El mantenimiento preventivo incluye intervenciones sistemáticas en el equipo, incluso cuando el equipo o la maquinaria no muestran signos de falla o desgaste.

Los defectos en equipos y materiales se tienen en cuenta y el mantenimiento se planifica a tiempo, por lo que no se requiere reparaciones

importantes. Este tipo de mantenimiento necesita una buena programación y planificación (TERMOWATT, 2019).

#### **2.2.2.2. *Mantenimiento correctivo.***

La tarea o propósito de este tipo de mantenimiento es prevenir las fallas de los equipos que ocurren con el tiempo debido al desgaste. También se define como un conjunto de tareas encaminadas a corregir errores que se presentan en diversos tipos de equipos y que son reportados por los operadores al departamento de mantenimiento. Puede ser planificado o no planificado. (RENOVETEC, 2020)

#### **2.2.2.3. *Mantenimiento predictivo.***

Tiene como finalidad conocer y reportar constantemente el estado y funcionamiento de los equipos, máquinas y equipos, conocer los valores de algunas variables que reflejan este proceso y estado. El mantenimiento predictivo requiere la identificación de variables físicas (vibración, temperatura, consumo de energía, etc.) cuyos cambios indican problemas potenciales con el equipo o la maquinaria. (Tecnologías Innovadoras, 2020) (RENOVETEC, 2020).

#### **2.2.3. *Indicadores claves de desempeño (KPI).***

A continuación, se detallan los principales indicadores de mantenimiento.

##### **2.2.3.1. *MTTR (Mean Time to Repair).***

Es el tiempo promedio que se demora un equipo para ser reparado, es uno de los indicadores más usados por los gestores de mantenimiento. Representa el tiempo promedio requerido para solucionar y reparar un activo dañado, brindando al equipo o maquinaria las condiciones de operación adecuadas para su correcta operación o funcionamiento. (VALUEKEEP, 2018)

El MTTR se calcula de la siguiente manera de acuerdo a la fórmula presentada:

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo Total de Mantenimiento}}{\text{Número de reparaciones}} \dots \dots \dots \text{[Ecuación 1]}$$

### 2.2.3.2. *MTBF (Mean Time Between Failures).*

Se conceptualiza como el tiempo promedio entre fallas de un activo, es decir, el tiempo promedio que el equipo está funcionando normalmente entre fallas o averías. Esta es una métrica muy importante por la cual necesita administrar sus índices de disponibilidad de activos. MTBF representa un indicador de desempeño muy importante para los activos críticos, pero estas medidas no brindan mantenimiento programado, como reacondicionamiento, inspecciones o reemplazo de piezas (VALUEKEEP, 2018).

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total disponible} - \text{Tiempo de inactividad}}{\text{Número de paradas}} \dots \dots \dots \text{[Ecuación 2]}$$

### 2.2.3.3. *Disponibilidad.*

Dado que la disponibilidad es la métrica más importante en el mantenimiento, es más probable que esta métrica sea manipulada. Su cálculo es muy sencillo y se expresa como: Es el cociente del número de horas que un equipo puede producir entre el número total de horas del período (García, 2009)

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas Totales} - \text{Horas parada por mantenimiento}}{\text{Horas Totales}} \dots \dots \text{[Ecuación 3]}$$

### 2.2.3.4. *Mantenibilidad.*

La probabilidad de que el activo sea restaurado o utilizado nuevamente dentro de un período de tiempo después de una falla o interrupción de la operación. La capacidad de servicio es la propiedad interna componente que determina su capacidad para recuperarse para su uso cuando las tareas



de mantenimiento necesarias se realizan en condiciones específicas utilizando los medios apropiados y los procedimientos establecidos (Lafraia, 2001).

Métodos para estimar la mantenibilidad: Método gráfico-analítico, método estadístico y el costo.

$$M(t) = \frac{1}{e^{a \cdot (TPPRg - \mu)}} \dots \dots \dots [Ecuación 4]$$

Donde:

M(t): Tiempo promedio de reparación  $t_i=0$

e: constante Neperiana (e= 2,718...)

a: inversa de la pendiente.

$\mu$ : Número de reparaciones ejecutadas a un equipo

TPPRg: tiempo promedio para reparar geométrico.

**2.2.3.5. Confiabilidad.**

Es la confianza en que un componente de un sistema o equipo realizará su función principal dentro de un período de tiempo preestablecido en condiciones estándar de operación. Otra definición es la capacidad de un dispositivo o activo para realizar adecuadamente su función dentro de un marco de tiempo establecido (Lafraia, 2001).

La confiabilidad es garantizar de que un equipo no falle.

$$CONF = \frac{Hrs. Período - \Sigma Hrs. Mtto Correctivo}{Hrs. Período} \dots \dots \dots [Ecuación 5]$$

**2.2.4. Análisis de Modo, Efecto de Fallas y Criticidad (FMECA).**

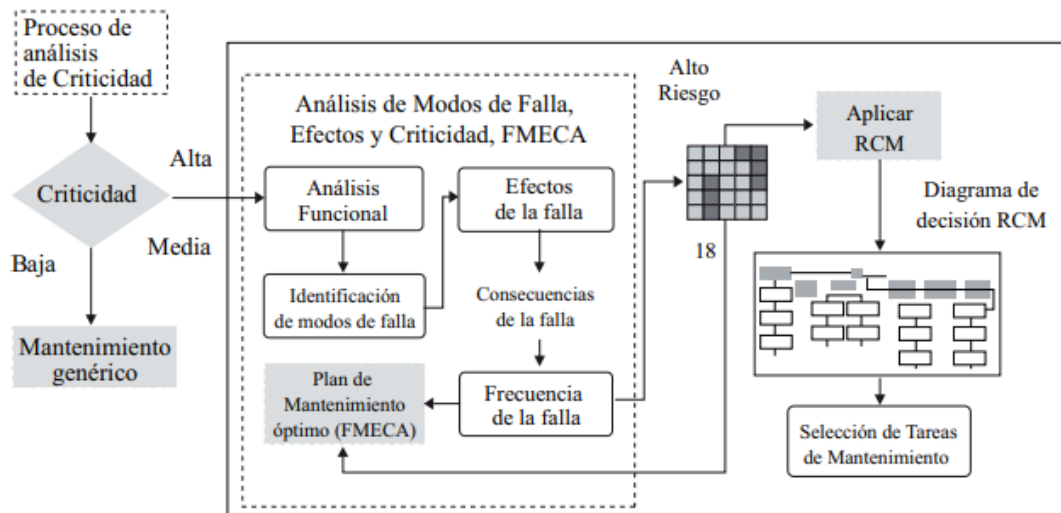
FMECA es un análisis de modo de falla e impacto, que incluye la clasificación de gravedad y el análisis de causa raíz del modo de falla. Posicionado en una industria

basada en el riesgo, este enfoque busca eliminar dos fuentes de falla: dos requisitos de la gestión de activos moderna según PAS 55 o ISO 55000 (Stamatis, 1995).

Como se muestra en la Figura 2, el FMECA es un método que sirve para poder identificar las formas en la que un equipo puede fallar (Leedeo Engineering, 2020).

**Figura 2**

*Proceso de Gestión del Mantenimiento aplicando el análisis de modos de falla y sus efectos y criticidad, AMFE*

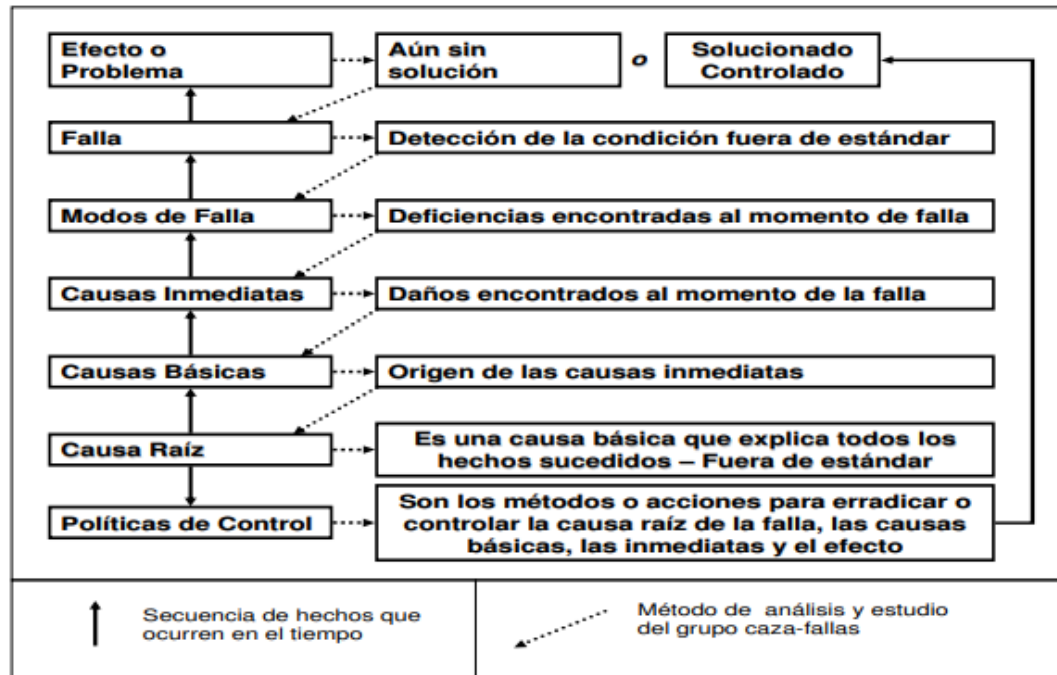


*Nota:* Aguilar, Torres y Magaña (2010)

FMEA realiza una variedad de análisis que cumplen con los requisitos de FMEA (Modo de falla y análisis de impacto) para identificar la causa raíz del modo de falla, la gravedad (riesgo) y las tareas específicas para eliminar o mitigar el riesgo. Todo en un entorno de priorización basado en riesgos, como se ve en la Figura 3.

**Figura 3**

*Proceso de análisis de fallas*



*Nota:* Mora (2005)

#### **2.2.4.1. Mecanismos de falla.**

Un mecanismo de falla es una causa única o múltiple de un modo de falla (método desconocido, fatiga, formato ilegible, desgaste, oxidación) o cualquier otra razón que provoque un modo de error.

#### **2.2.4.2. Modos de falla.**

Es un método o evento por el cual un activo pierde su capacidad para realizar su función. En otro sentido, es la forma en que falla un activo. Las acciones preventivas o mitigadoras abordan diferentes modos de falla. (Stamatis, 1995)

#### **2.2.4.3. Causas de falla.**

Condiciones de diseño, fabricación, instalación, uso y mantenimiento que conducen a la falla.

Causa: Este es un error generado en el modo de falla. Estas son fuentes de variación asociadas con variables de entrada relacionadas con el diseño (propiedades de la pieza).

- Tipo de material.
- Parámetros de trabajos.
- Calibración.

Componente de Modos de Falla a nivel de Componente, pueden ser Entradas de Diseño, tales como:

- Lugar donde se encuentra instalado el equipo
- Fatiga, desgaste
- Rendimiento, Corrosión
- Condiciones de trabajo
- Definir las inspecciones de los equipos para prevenir o detectar fallas a tiempo.
- Cálculos

Primer plan de acción - Apaciguar o eliminar causas de falla.

Segundo plan de acción - Identificar o detectar falla anticipadamente.

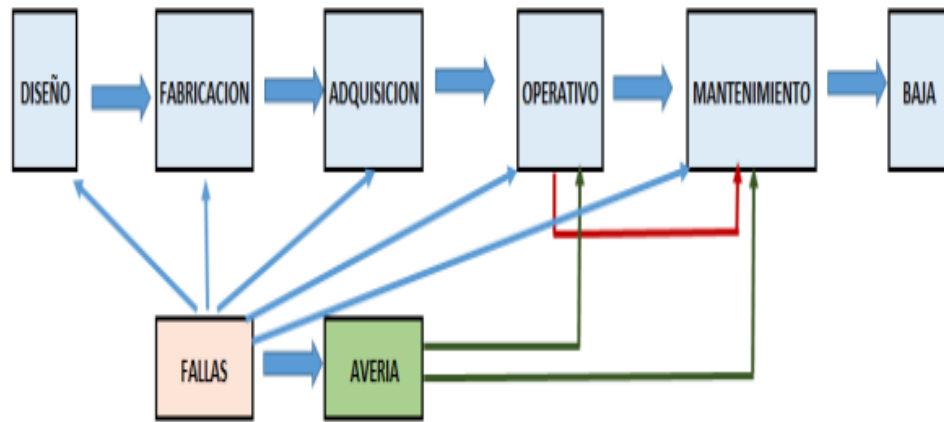
Tercer plan de acción – Disminuir impacto operacional

Factores de las causas de las fallas:

- Equipos mal dimensionados.
- Material defectuoso de fábrica.
- Mal montaje de equipos.
- Mala operación de equipos.
- Condiciones de trabajo.

**Figura 4**

*Ciclo de Vida*



*Nota:* Moubray (1997)

#### **2.2.4.4. Evaluación de la criticidad.**

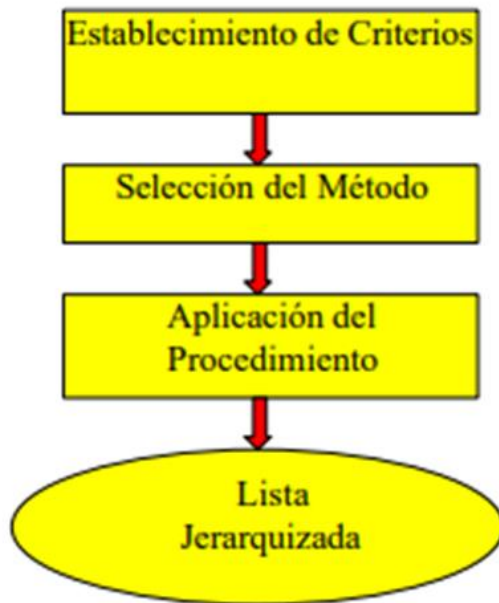
El enfoque de criticidad es un método que nos permite priorizar sistemas, instalaciones y equipos según la importancia que tienen dentro del proceso para poder tomar una buena decisión (Huerta, 2015).

El método de evaluación de la criticidad es una metodología basada en el Concepto de Riesgos, que permite establecer la determinación de la jerarquía entre:

- Instalación
- Sistema
- Equipo
- Componentes de un equipo

**Figura 5**

*Modelo básico de criticidad*



*Nota:* Huerta (2015)

Como se muestra en la Figura 5, el nivel de criticidad está relacionado con el impacto que tiene el equipo en las metas de la organización. Con el fin de poder cumplir con los programas de mantenimiento se asignan recursos (económicos, humanos y técnicos).

#### **2.2.5. Scooptrams.**

Son equipos de bajos perfil diseñados para realizar trabajos sobre todo en minas subterráneas, túneles o en zonas confinadas. Estos equipos están diseñados para levantar y transportar cargas pesadas en distancias cortas. Sus diseños compactos con construcciones sólidas, rendimientos ágiles y mantenimientos simplificados aseguran excelentes productividades en las operaciones, bajos costos de operación y larga duración. Estrictamente diseñado para operarlo cómodo y productivamente fabricado para durar.

Un scooptrams es un vehículo trackless de bajo perfil, para traslado de minerales en minas de subsuelo, tal como se muestra en las Figuras 6 y 7.

**2.2.5.1. Tipos de scooptram.**

- Diesel. (Sistema de potencia)
- Eléctrico. (Sistema de potencia, Sistema hidrostático).
- Batería.

**Figura 6**

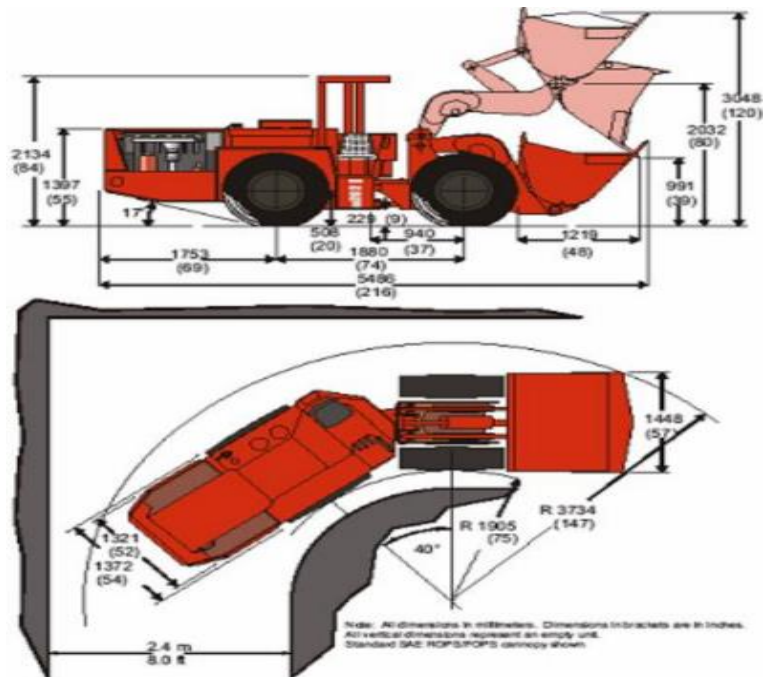
*Scooptrams en operación*



*Nota: Gorriti (2005)*

**Figura 7**

*Dimensiones de un Scooptrams*



*Nota:* Gorriti (2005)

Las principales secciones mayores del Scooptrams son las cucharas, bastidor frontal, articulación central, sistema de transmisión, cabina de operador, sistema de motor, sistema de diferenciales, sistema de mandos, sistemas electromecánicos.

El scooptrams puede efectuar la descarga de manera frontal y lateral, según sean las condiciones del trabajo.

#### **2.2.5.2. Principio de funcionamiento de un Scooptrams.**

Los Scooptrams son esencialmente necesarios en labores bajo el suelo o corteza terrestre, debido a las secciones reducidas de las labores. Debido a las posiciones de los asientos de los operarios, puede viajar en marcha adelante, así también como en una marcha reversa.

El motor diésel es el componente que proporciona potencia para los Scooptrams de alta velocidad. Las relaciones de transmisión se seleccionan



mediante un mecanismo de cambio manual que activa la válvula de control del embrague de la transmisión.

Los vehículos están equipados con cubos mecánicos de ,8 m3 (R1600) y 3,2 m3 (R3600) de igual capacidad para el transporte de materiales en distancias cortas de difícil maniobra para los camiones volquetes, dispone de un sistema hidráulico de cuatro etapas, tres delante y una. detrás (tren de avance y uno detrás)

**Tabla 2**

*Especificaciones Técnicas del Scooptrams R1600G*

<b>Modelo</b>	<b>R1600-G</b>
Fabricante	Caterpillar
Modelo	3175C EUI ATAAC
Cilindrada	10.3 l
Capacidad de pala	4.8 m <sup>3</sup>

*Nota:* Gorriti (2005)

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO**

#### **3.1. Tipo de la investigación**

La presente investigación es de tipo aplicada porque busca dar solución a la problemática que genera la falta de un adecuado plan de mantenimiento, en tal sentido se inicia a partir del conocimiento pre existente en cuanto a eventos de falla y data histórica registrada de los equipos por el área de mantenimiento; y en base a ello se diseña un nuevo plan de mantenimiento basado en análisis FMECA (Hernandes, 2014)

#### **3.2. Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación es experimental, debido a que se manipula las variables, bajo un enfoque científico se demuestra que al manipular la variable independiente se da un cambio en la variable dependiente (Hernandes, 2014). Asimismo, es una investigación longitudinal por que se basa en los indicadores de mantenimiento registrados, utilizando registros de datos que ocurrieron en el pasado al presente y uso de información ya existente.

### 3.3. Población y muestra

#### 3.3.1. Población.

La población corresponde a los 72 equipos a cargo del contrato para este servicio de equipos entre los cuales tenemos: 19 Jumbos, 11 Dámper, 35 Scooptrams y 7 equipos auxiliares.

#### 3.3.2. Muestra.

La selección de la muestra se realizó de forma no probabilísticas, aplicando el análisis total por riesgo (CTR) a la población (Parra & Crespo, 2012), seleccionando la flota con alta criticidad. Por tanto, la muestra está dada por la flota de los 9 Scooptrams modelo R1600G.

$$CTR = FF * ((IO * FO) + CM + SHA) \dots \dots \dots [Ecuación 6]$$

A continuación, se presenta la tabla 3 donde se da puntuación según la frecuencia con la que falla.

**Tabla 3**

*Factores de frecuencia de fallas*

<b>Factor de frecuencia de fallas (FF)</b>		
5	Pésimo	Mayor a 5 faltas
4	Moderado	4 a 5 fallas al mes
3	Óptimo	2 a 3 fallas al mes
2	Muy óptimo	1 falla al mes
1	Excelente	Ninguna falla al mes

*Nota:* Parra y Crespo (2012)

En la tabla 4 se muestra la puntuación según el impacto que tiene en la producción.

**Tabla 4**

*Factores de consecuencias-IO*

<b>Impacto operacional (IO)</b>	
10	Menor al 20 %
7	Entre 21 % al 40 %
5	Entre el 41 % al 60 %
3	Entre el 61 % al 80 %
1	Entre el 81 % al 100%

*Nota:* Parra y Crespo (2012)

En la tabla 5 se muestra la disponibilidad de los repuestos.

**Tabla 5**

*Factores de consecuencias-FO*

<b>Impacto por flexibilidad operacional (FO)</b>	
3	No hay disponibilidad de repuestos
2	Demora de los repuestos
1	Disponibilidad de los repuestos

*Nota:* Parra y Crespo (2012)

En la tabla 6 se muestra el costo de mantenimiento según el impacto de la falla.

**Tabla 6**

*Factores de consecuencias-CM*

<b>Impacto en costes de mantenimiento (CM)</b>	
5	Costos superiores a 10 000 soles
3	Costos entre 2 500 a 10 000 soles
1	Costos hasta 2 500 soles

*Nota:* Parra y Crespo (2012)

En la tabla se da puntuación según el impacto que tiene en temas de seguridad.

**Tabla 7**

*Factores de consecuencias-SHA*

<b>Impacto en SSOMA (SHA)</b>	
5	Riesgo alto no recuperable en salud y de gran impacto ambiental
4	Riesgo medio de ocurrencia recuperable en 72 horas
3	Riesgo bajo de ocurrencia recuperable en 48 horas
2	Riesgo mínimo de ocurrencia recuperable en 24 horas
1	No existe ningún riesgo o pérdida a la salud, equipos, proceso y medio ambiente

*Nota:* Parra y Crespo (2012)

En la figura 8 se muestra la matriz de criticidad para poder determinar si las fallas son críticas, criticidad media y no críticas.

**Figura 8**

*Matriz de criticidad*

5	50	100	150	200
4	40	80	120	160
3	30	60	90	120
2	20	40	60	80
1	10	20	30	40
	10	20	30	40

NC	0-40
MC	41-100
C	101-200

*Nota:* Parra y Crespo (2012)

### **3.4. Descripción de instrumentos para recolección de datos**

Se utilizan dos herramientas de investigación: la observación directa y el análisis de la literatura. En primer lugar, se utilizaron fotografías (ver Apéndice C) y herramientas de registro, entre ellas:

- Jerarquización de los modos de falla (ver Apéndice E. Figura E1)

- Formato FMECA (ver Apéndice E. Figura E2)
- Matriz de criticidad para la evaluación del NPR del FMECA (ver Apéndice E. Figura E3)

Para el análisis documental se aplicará en la investigación y las fuentes principales de la obtención de datos son:

- Reportes de mantenimiento
- Lista master de equipos (ver Apéndice A, Tabla A1)
- Indicadores de mantenimiento 2019-2020
- Plan de mantenimiento actual.
- Histórico de fallas

## **CAPÍTULO IV**

### **PRESENTACION DE RESULTADOS**

#### **4.1. Presentación de resultados**

##### **4.1.1. Lista master de equipos que hay en la unidad minera.**

Como primer punto de partido, se usó la información proporcionada por el jefe de mantenimiento, lo cual nos permitió realizar un listado de los equipos que trabajan en la mina, siendo un total de 72 maquinas. En base a esta lista se aplicará el análisis de criticidad (ver apéndice).

##### **4.1.2. Reporte de incidencias en los equipos de minería.**

En la tabla 8 se muestra los reportes de incidencias de meses anteriores de todas las unidades en minería, se reportan tanto fallas mecánicas y fallas eléctricas. Esta información fue entregada el jefe de mantenimiento de la unidad minera.

Se tienen reportes de 538.5 incidencias por fallas mecánicas y tan solo 31 por fallas eléctricas, siendo un total de 568.5 incidencias en unidades móviles.

**Tabla 8***Reporte de fallas en unidades de mina*

CLASE	Valores			Suma de T.P.R
	CODIGO EQUIPO	FALLA MEC.	FALLA ELECT.	
DUMPER		60.5		60.5
	D-02			0
	D-03			0
	D-04	2		2
	D-05			0
	D-06	10		10
	D-08			0
	D-09	10		10
	D-10	12		12
	D-11	10		10
	D-12	6.5		6.5
	D-13	10		10
MANITOU		1		1
	MT-02			0
	MT-03	1		1
RETROEXCAVADORA		15		15
	RETRO	15		15
MINICARGADOR		3.5	5	8.5
	MN-02	3.5	5	8.5
MIXER		21	1	22
	MX-01	10		10
	MX-02	11	1	12
ROBOT		17		17
	RT-01	17		17
SCOOP		193	31	224
	SC-04	2		2



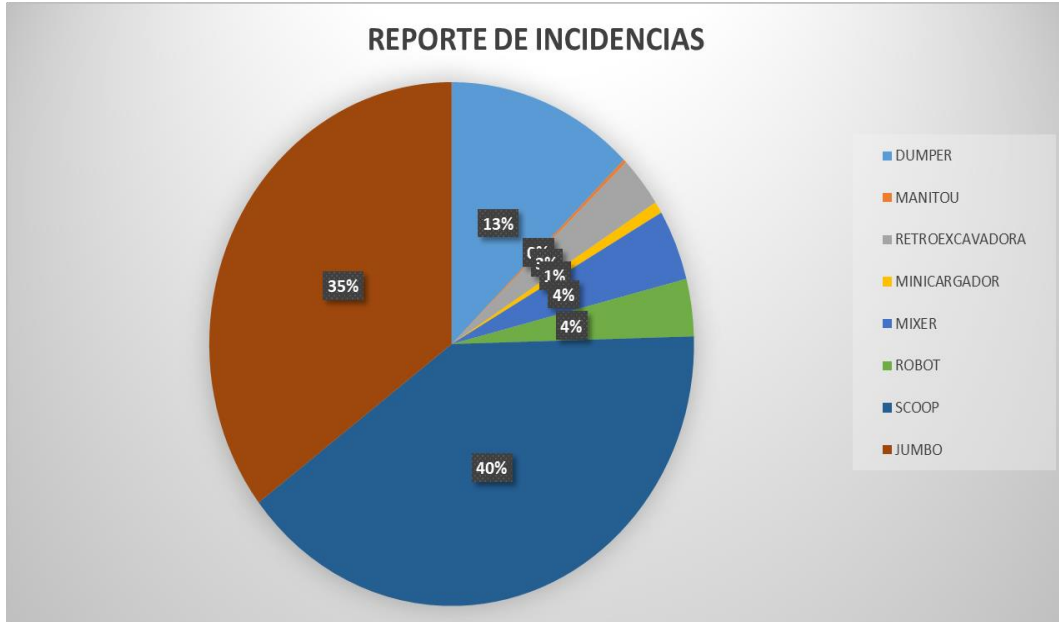
SC-14		1	1
SC-36	12		12
SC-48			0
SC-54	10	1	11
SC-59			0
SC-62	18	2	20
SC-63	2	1	3
SC-64	28		28
SC-65	10	5	15
SC-66	5		5
SC-67	3		3
SC-68		2	2
SC-69			0
SC-70	10		10
SC-71	10		10
SC-72			0
SC-73		2	2
SC-74	10		10
SC-75	7	2	9
SC-76			0
SC-77	8		8
SC-78			0
SC-79	10		10
SC-81	16	4	20
SC-82			0
SC-83	10		10
SC-84		7	7
SC-85	8		8
SC-86			0
SC-87	3	1	4
SC-88	11		11
SC-89		3	3
SC-90			0
SC-91			0
JUMBO	129	16	145
J-03	11		11
J-06	14	3	17

	J-09	18	7	25
	J-15	10		10
	J-16	12		12
	J-17	13	3	16
	J-21	31	1	32
	J-24	20	2	22
Empernador		15		15
	J-14	5		5
	J-20	10		10
SIMBA		26		26
	J-07			0
	J-10	4		4
	J-11	10		10
	J-12			0
	J-13	8		8
	J-18			0
	J-19	4		4
	J-23			0
	J-25			0
<b>Total general</b>		<b>481</b>	<b>53</b>	<b>533</b>

De la tabla 12 podemos concluir que los equipos Jumbo representan el 35% con 186 incidencias en sus unidades y luego continua los Scoop con un 42% con 224 incidencias en sus unidades.

**Figura 9**

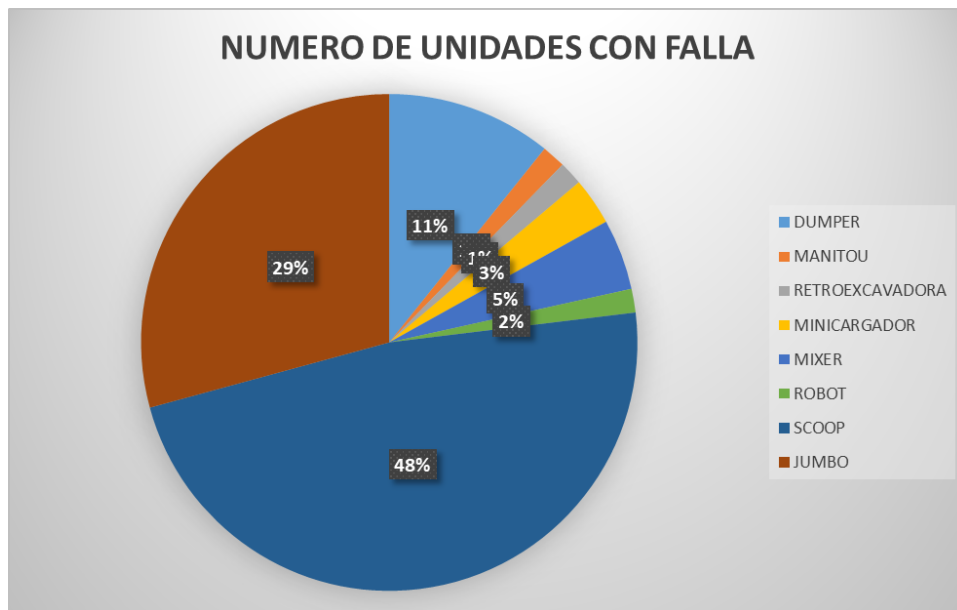
*Reporte de incidencias de unidades en mina*



Luego la misma información se analizó y nos arrojó como resultado que las unidades con más número de intervenciones son de los scoop que representan el 40% con 35 unidades que reportaron falla, mientras que los Jumbo representan el 29 % con 19 unidades intervenidas

**Figura 10**

*Número de unidades con reportes de fallas*



#### **4.1.3. Análisis total por riesgo (CTR).**

Para la determinación de los equipos más críticos de la U.M aplicó el análisis total por riesgo (CTR).

Después de analizar la criticidad a toda la flota de la unidad minera, obtenemos como resultado de que las unidades del tipo Scooptrams modelo R1600G son las que tienen mayor índice de fallas. Debido a que su impacto operacional es alto.

#### **4.1.4. Análisis de indicadores de confiabilidad y disponibilidad de los equipos más críticos.**

Luego de haber determinado la flota que presenta mayor criticidad en la unidad minera, se realizó el análisis respectivo a los indicadores de confiabilidad en el segundo periodo del 2022 en la empresa Casapalca con el historial de la base de datos de las incidencias, la que brinda la información correspondiente relacionada

con los tiempos de reparación y la frecuencia de las fallas; así como también de las horas de trabajos acumuladas.

En la tabla 9 se puede visualizar el tiempo promedio de las fallas y reparación que tiene la flota Scoop-R1600G, así como también se muestra el número de paradas y las horas trabajadas que tienen las unidades.

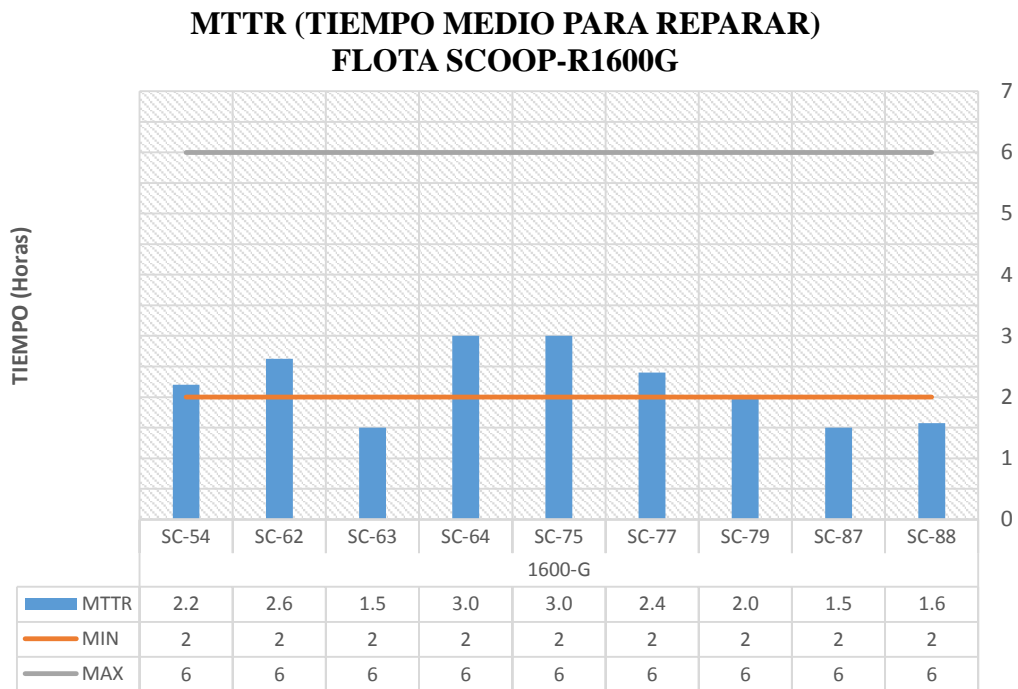
**Tabla 9**

*Indicadores de mantenimiento para la flota Scoop R-1600G*

Valores						
Código equipo	Tiempo de reparación	#parada	Horas trabajadas	MTTR	MTBF	% dispon.
SC-54	11	5	181.5	2.2	36.3	94%
SC-62	21	8	242.5	2.6	30.3	92%
SC-63	3	2	179	1.5	55.0	97%
SC-64	12	4	105.5	3.0	26.4	90%
SC-75	15	5	208	3.0	41.6	93%
SC-77	12	5	134	2.4	26.8	92%
SC-79	10	5	195	2.0	39.0	95%
SC-87	6	4	126	1.5	31.5	95%
SC-88	11	7	240.7	1.6	34.4	96%
TOTAL	101	45	1612.2	2.1	42.7	95%

**Figura 11**

*Gráfico de MTTR para Scoop R1600G*



En la tabla 10 se muestra los indicadores sobre la disponibilidad y confiabilidad de la flota Scoop R-1600G

**Tabla 10**

*Indicadores de disponibilidad y confiabilidad*

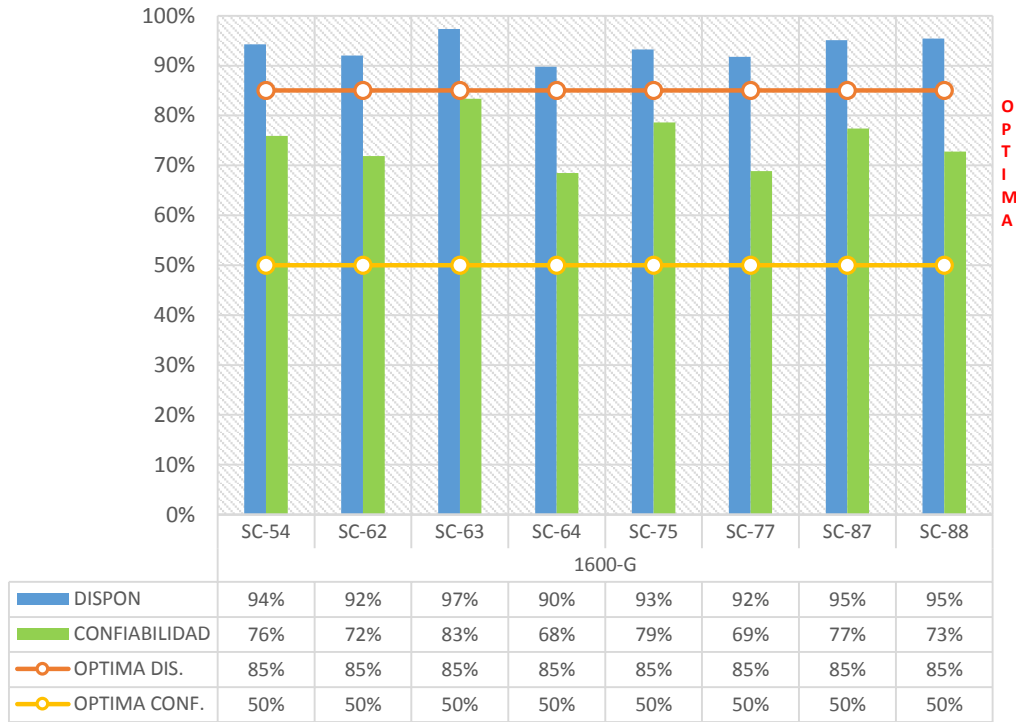
<b>Modelo</b>	<b>Equipo</b>	<b>Dispon.</b>	<b>Optima dis.</b>	<b>Conf.</b>	<b>Optima conf.</b>
<b>1600-G</b>	SC-54	94%	85%	76%	50%
	SC-62	92%	85%	72%	50%
	SC-63	97%	85%	83%	50%
	SC-64	90%	85%	68%	50%
	SC-75	93%	85%	79%	50%
	SC-77	92%	85%	69%	50%
	SC-87	95%	85%	77%	50%
	SC-88	95%	85%	73%	50%

En el presente grafico se observa que la flota cuenta con unidades disponibles pero la confiabilidad de que estos equipos puedan cumplir con sus funciones antes de una incidencia son bajas.

**Figura 12**

*Comparación de indicadores de disponibilidad y confiabilidad para Scoop R1600G*

**INDICE DE DISPONIBILIDAD Y CONFIABILIDAD**



**4.1.5. Identificar modo de fallas.**

Estos modos de falla fueron identificados para cada falla funcional. Tenemos que tener en cuenta que diversos modos de falla pueden originar la falla funcional.

Esta etapa se desarrolló los criterios y puntajes para determinar la criticidad de los componentes de la máquina.

$$\text{CRITICIDAD TOTAL} = \text{Frecuencia de fallas} \times \text{Consecuencia}$$

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional Flexibilidad}) + \text{Costo Mtto.}$$

$$+ \text{Impacto SAH}$$



**Tabla 11***Identificador de fallas*

<b>Frecuencia de fallas</b>		<b>Impacto en Seguridad Ambiental e Higiene</b>	
Mayor a 4 fallas /año	4	Afecta la seguridad humana	8
Promedio 2 a 4 fallas/año	3		
Buena 1 a 2 fallas/año	2	Afecta el ambiente	6
Excelentes menores de 1 falla/año	1	ocasionando daños reversibles	
Impacto operacional		Costo de Mmto.	
Parada inmediata del proyecto	10	Mayor a	2
Parada del área de trabajo repercutiendo otras áreas.	6	Menor a	1

A continuación, se muestran los resultados del análisis de falla a la flota de Scooptrams R1600G.

- *Plan de mantenimiento preventivo.*

Con la finalidad de lograr una mayor confianza y disponibilidad del equipo, se hizo el diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la flota de Scooptrams R1600G, esto en base al análisis de modos y en base a la criticidad de los equipos, se procedió a actuar con prioridad para el mantenimiento de los componentes que puedan presentar fallas.

Es fundamental que antes de realizar un trabajo de mantenimiento de cualquier tipo, el personal involucrado cuente y hagan el uso correcto del equipo de protección personal, así mismo como realizar la señalización correspondiente en el área de trabajo y el bloqueo de toda fuente de energía.

**Tabla 12**

*Variables para el desarrollo de la implementación*

Variables para el desarrollo de la implementación del plan de mantenimiento para la flota SCOOPTRAMS R1600G.

<b>Tipo de mantenimiento</b>	<b>Ejecutado por:</b>	<b>Evolución</b>	<b>Efecto operacional</b>	<b>Índice de mantenimiento</b>
Preventivo	Jefe de mantenimiento y personal calificado	Identificación de equipos con más índice de fallas. Planificación de mantenimiento	Componentes involucrados en el fallo Actividades programadas	MTBF , MTTR CRONOGRAMA
		Programación de actividades	Inspección, limpieza y lubricación asignada	% De inspecciones realizadas % De limpiezas realizadas % De lubricaciones realizadas

Para la programación del mantenimiento se mostrará los parámetros a tomar en cuenta en la siguiente tabla.

Para lo cual se visualiza detalladamente quien será el personal encargado para la ejecución del plan de mantenimiento, para lograr el objetivo planteado en el plan es el operario quien actúa como pieza fundamental, debido que es el encargado de informar de posibles fallas detectadas (como primera instancia). Posteriormente el jefe de mantenimiento realizará una evaluación y el requerimiento de mantenimiento que corresponda, así mismo es el encargado del planeamiento del mismo. (ver apéndice).

Se muestra la planificación y programación de mantenimiento con acciones de mantenimiento recomendadas según el análisis de modos de falla, las cuales se dividen por frecuencias diarias, semanales, mensuales y trimestrales, es

muy importante que se destaque que cada trabajo planificado tiene frecuencia de realización según la criticidad que puede afectar al equipo.

La correcta implementación del plan propuesto permite tener un control de forma detallada de las rutinas recomendadas a raíz de la metodología FMECA, disminuyendo el número de paradas no planificadas.

#### 4.1.6. Stock de repuestos.

Con los mantenimientos preventivos ya definidos, se detallan los repuestos o materiales que se deben mantener en stock en el almacén de la unidad minera con el fin de poder realizar los mantenimientos programados, evitando retrasos inesperados por falta de estos.

**Tabla 13**

*Stock de repuesto a mantener en almacén*

<b>GRUPO</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>
LUBRICANTES	M-MOBILGEAR 600XP 150 / OMALA 150	GAL
	M-DTE 26 / TELLUS 68	GAL
	M-GREASE XHP 222 / GADUS S2 V220 AD2	KG
	M-DELVAC MX 15W40 / RIMULA R4 15W-40	GAL
	M-MOBILGEAR 600XP 68 / OMALA 68	GAL
	M-HIDRÁULICO SAE-10	GAL
	M-LUBE HD 85W140 / SPIRAX HD 85W - 140	GAL
	M-MOBIL SHC RARUS 46	GAL
	M-MINING COOLANT 50%	GAL
	M-ALMO 527 / TORCULA 100	
CONSUMIBLES	M-MOBILTRANS HD 30 / SPIRAX S4 CX 30	GAL
	M-MOBILGEAR 600XP 150 / OMALA 150	GAL
	M-GREASE XHP 222 / GADUS S2 V220 AD2	KG
	GAS PROPANO X 45 KG (GLP)	KG
	TERMOBACKING BACKING	KG
	COMPOUNDFORMULA DETA N/P 99692	
	SOLDADURA SUPERCITO DE 5/32"	KG
	OXIGENO INDUSTRIAL	KG

	SOLDADURA CHANFERCORD 5/32"	KG
	SOLDADURA CELLOCORD 5/32"	KG
	TRAPO INDUSTRIAL SIN COSTURA TIPO SABANA	KG
	CINTA AISLANTE 3M 1700 COLOR NEGRO	UN
	DISCO DE CORTE DE 7" X 1/8" X 7/8	UN
	CINTA VULCANIZANTE 3M N° 23	UN
	TRAPO INDUSTRIAL COSTURADO	KG
	SOLVENTE DIELECTRICO	UN
	DESENGRASANTE DE PIEZAS MECANICAS DP - 101	UN
	DISCO DE CORTE DE 4 1/2" X 1/8" X 7/8"	UN
	LOCTITE PARA ORING 495	UN
	DISCO DE DESBASTE DE 7" X 1/4" X 7/8"	UN
	CODO SOLDABLE 4" X 90°	UN
	TERMINAL TIPO COMPRESION P/CABLE 10 MM2 TALMA	UN
	DISCO DE DESBASTE DE 4 X 1/4 X 7/8	UN
	BRIDA SLIP -ON DE 6• 150 LBS	UN
RODAJES	RODAMIENTO 22320 CA/W33	UN
	RODAMIENTO 7220 ACM	UN
	RODAMIENTO 22220 CA/W33	UN
FAJAS TRANSMISION	DE FAJA DE TRANSMISIÓN D -195	UN
	FAJA DE TRANSMISIÓN C -105	UN
	FAJA DE TRANSMISIÓN C -90	UN
	FAJA DE TRANSMISIÓN 3V -1400	UN
	FAJA DE TRANSMISIÓN SPB -1800	UN
	FAJA DE TRANSMISIÓN C-87	UN
LLANTAS	LLANTA 9.5 X 20 16PR L5S Scoop 23	UN
	LLANTA 18.00-25X26 L5-S Scoop R1600G y R1600H (07 Chinas)	UN
FILTROS	Filtro de combustible	UN
	Filtro de aceite	UN
	Filtro separador de agua	UN
	Filtro hidráulico	UN

## **4.2. Contrastación de hipótesis**

El diseño de un nuevo plan de mantenimiento basado en la metodología de análisis FMECA nos permite aumentar los índices de confiabilidad y disponibilidad de los equipos más críticos de la flota de Scooptrams R1600G en la unidad minera Casapalca, fue de vital importancia poder realizar un análisis de la situación actual de la flota, nos apoyamos de los reportes de incidencias que han tenido en los últimos meses. Con esta información pudimos detectar que equipos son los que fallan recurrentemente, luego de poder detectar los equipos con mayores índices de fallas, se realizó un análisis de modos y efectos de fallas, con este análisis se detectó los distintos modos en el que puede surgir una falla para los componentes de la máquina.

Después de saber los distintos motivos que puede causar un incidente en el equipo se realizó un plan de contingencia para poder eliminar o disminuir la probabilidad de falla.

Con los resultados del análisis de riesgo FMECA se puede diseñar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad con el fin de mejorar los indicadores para la gestión del mantenimiento de la flota Scooptrams R1600G.

## **4.3. Discusión de resultados**

Después de realizar el análisis de criticidad de los sistemas y subsistemas tuvimos como resultado de que la flota de Scooptrams R1600G tienen el mayor número de unidades con fallas recurrentes, siendo un 56% del total de equipos de la unidad minera.

Estas fallas son de índole mecánicas y eléctricas que con una buena inspección a las unidades y una buena programación pueden ser detectados a tiempo y disminuir el tiempo promedio de mantenimiento.

Después de realizar el análisis de FMECA en la flota de Scooptrams se pudo detectar los componentes más críticos del equipo, al saber cuáles son las fallas más recurrentes en la falta se pudo diseñar un plan de acciones que se debe seguir cuando ocurra alguna incidencia. Este plan de acción debe ser difundido entre los trabajadores del área para que puedan seguir una matriz de respuesta frente a eventos inesperados.

Para el diseño del nuevo plan de mantenimiento se tuvo en consideración los resultados del análisis de FMECA, con el fin de diseñar un programa basándose en mantener la confiabilidad y disponibilidad de la flota.

También se sumó una lista de repuestos que se deben mantener en stock en almacenes de mina con el fin de poder tener todos los consumibles a disposición del área de mantenimiento.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

**Primera.** En el presente trabajo de investigación se pudo demostrar que el estado situacional del área de mantenimiento presenta fallas, por lo que el plan de mantenimiento no era ejecutado al 100 %, esto debido a la falta de definición de las funciones de los operarios. De 481 incidencias fueron por fallas mecánicas y 53 por fallas eléctricas siendo un total de 534 incidencias en un mes de todas las unidades en minería. Donde las unidades Scoop representan el 42% con 224 incidencias, y luego les sigue los Jumbos con un 35% con 186 incidencias. Los Scoops representan el mayor porcentaje de incidencias, con 35 unidades intervenidas, a diferencia de los Jumbos con 19 unidades intervenidas. Con estas cifras podemos ver que los Scooptrams son el modelo que tienen mayor número de unidades que fallan.

**Segunda.** Se realizó un análisis de criticidad total de riesgos obteniendo como resultado que los Scooptrams R1600G, presentan la mayor cantidad de ocurrencia de fallas, así mismo de paradas inesperadas.

**Tercera.** Como resultado del análisis de indicadores de mantenimiento se obtuvo que, con el MTBF como se presentan fallas de forma diaria en la mayoría de unidades; con MTTR se pudo comprobar el tiempo estimado de mantenimiento para los equipos en taller es por lo menos medio día, así mismo si la unidad queda inoperativa esto representa un gran atraso en el avance de las metas de producción, teniendo como consecuencia indicadores que presentan deficiencias.

**Cuarta.** Se demuestra la gran importancia que tiene realizar el análisis de modos de falla, realizar esto nos ayudó a poder realizar un plan de acciones correctivas para poder eliminar o mitigar los trabajos no planificados. Con el plan de acciones correctivas se tienen identificadas las distintas maneras en la que puede fallar un componente y el plan de ataque cuando ocurre alguna incidencia.

## **5.2. Recomendaciones**

**Primera.** Realizar capacitaciones al personal en base a los resultados de la evaluación inicial, es muy importante contar con personal calificado para poder ejecutar los diferentes trabajos que se tienen según la especialidad.

**Segunda.** Se deben agendar reuniones de forma semanal para verificar los indicadores de confiabilidad y disponibilidad de los equipos.



**Tercera.** Los trabajos más complejos deben ser ejecutados por equipos con mayor confiabilidad operacional, con el fin de poder asegurar un trabajo de calidad, eficiente y efectivos.

**Cuarta.** Dar seguimiento a los indicadores de confiabilidad con el fin de poder especializar los planes de mantenimiento especialmente a los Scoop R1600G.

**Quinta.** Tener una mejora continua e identificar los factores que influyen directamente con las metas de la organización.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, R., Torres, R., y Magaña, D. (2010). *Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad*. Mexico: Corporación Mexicana de Investigación en Materiales. Recuperado de <https://www.carec.com.pe/biblioteca/biblio/4/81/Lectura.%20An%C3%A1lisis%20de%20Modos%20de%20Fallas,%20Efectos%20y%20Criticidad.pdf>
- Cabeza, A., y Padilla, A. (2010). *Diseño de un plan para la mejora de la confiabilidad de los equipos críticos de la empresa INSER LTDA a través de la metodología FMECA y RCA*. Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.utb.edu.co/bitstream/handle/20.500.12585/725/0056261.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- García, S. (2009). *Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento industrial*. Lima, Peru. Recuperado de <http://www.renovetec.com/ingenieria-del-mantenimiento.pdf>
- Gomez, M. (2013). *Análisis de fallas en maquinaria minera*. (Tesis de pregrado). Universidad de Chile. Santiago de Chile, Chile. Recuperado de [https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/114562/cf-gomez\\_mh.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/114562/cf-gomez_mh.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Gorriti, J. (2005). *Manual Estudiante Instruccion Scooptrams R1600G R1300G CAT*. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/221298368/Manual-Estudiente-Instruccion-Scooptrams-r1600g-r1300g-Cat#>

- Guerra, C. (2017). *Análisis de modos y efecto de falla en los scooptrams de la empresa minera Atacocha*. (Tesis pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú. Recuperado de <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3669/Guerra%20Huamali.pdf>
- Hernandes, R. (2014). *Metodologia de la investigacion*. Mexico D.F.: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Huerta, R. (2015). *El analisis de criticidad, una metodologia para mejorar la confiabilidad*. Venezuela: Club de Mantenimiento.
- Lafraia, J. (2001). *Manual de confiabilidad, mantenabilidad y disponibilida* . Rio de Janeiro, Brasil.
- Laureano, R. (2017). *Programa de mantenimiento preventivo del SCOOPTRAMS R1600G para obtener una mejor disponibilidad de la empresa TECNOMIN DATA S.A.C*. (Tesis pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú. Recuperado de <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1641/TECNO%20SIS%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Leedeo Engineering. (2020). *¿Qué es un FMECA?* Recuperado de <https://www.leedeo.es/l/fmeca/>
- Mora, A. (2009). *Mantenimiento, Planeacion, Ejecucion y Control*. Colombia: Alfaomega.
- Mora, L. (2005). *Mantenimiento estratégico para empresas industriales*. Colombia: Editorial AMG ISBN: 95833-8218-3.

- Moreno, P. (2020). *Análisis de criticidad, efectos y modos de fallo (FMECA) en un aerogenerador OFFSHORE*. Cartagena: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica.
- Moubray , J. (1997). *Ciclo de vida de los activos*. Recuperado de <https://soporteicia.com/system/files/articulos-pdf/rcm-articulo-mantenimiento-centrado-confiabilidad-03-dic-2021.pdf>
- Orozco, R. (2016). *Análisis de riesgo de componentes mineros en cierre final basado en técnicas FMECA y MCDA*. (Tesis pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. Recuperado de <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3014504>
- RENOVETEC. (2020). *Tipos de mantenimiento*. Recuperado de <http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/305-tipos-de-mantenimiento>
- Stamatis, D. (1995). *Failure Mode and Effect Analysis, FMEA from Theory to Execution*. Wisconsin, Milwaukee, EEUU: ISBN 087389300X. ASQ – American Society of Quality. Recuperado de <https://www.carec.com.pe/biblioteca/biblio/4/81/Lectura.%20An%C3%A1lisis%20de%20Modos%20de%20Fallas,%20Efectos%20y%20Criticidad.pdf>
- TERMOWATT. (2019). *Blog y noticias sobre la Industria: ¿Cuáles son los tipos de mantenimiento industrial?* Recuperado de <https://www.termowatt.com/blog-actualidad/82-cuales-son-los-tipos-de-mantenimiento-industrial>

VALUEKEEP. (2018). *¿Qué es el MTTR y MTBF?* Recuperado de <https://www.valuekeep.com/es/recursos/e-books-articulos/que-es-el-mttr-y-mtbf?action>