



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**



**COMPARACIÓN DEL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL
Y MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA
MEJORAR LA EFECTIVIDAD EN VOLQUETES FMX EN LA
COOPERATIVA MINERA SANTIAGO DE ANANEA LTDA, 2020.**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. WILDER BRAULIO VELASQUEZ LIMACHI

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

A mis padres Braulio y Luzmila por brindarme su apoyo incondicional en todo momento, gracias por sus consejos para superarme día a día en mi vida profesional y personal, por ayudarme en toda mi etapa como estudiante y no darme por vencidos hasta lograr mis objetivos.

Wilder Braulio Velasquez Limachi



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Altiplano – Puno por ser mi alma mater por permitirme formar profesionalmente y humanamente a la carrera Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica y a sus docentes por la formación profesional para ser personas de bien en la sociedad.

A mi familia por apoyarme en todo momento de mi formación profesional, por sus palabras de aliento que no me dejaban decaer para que siguiera adelante y siempre sea perseverante y cumpla con todos mis objetivos trazados.

A mis compañeros y amigos, quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegrías y tristezas y a todas aquellas personas que me apoyaron durante este tiempo para que este proyecto sea realidad.

Wilder Braulio Velasquez Limachi



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
INDICE DE FIGURAS	
INDICE DE TABLAS	
INDICE DE GRAFICOS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ÍNDICE DE ACRONIMOS	
RESUMEN	13
ABSTRACT.....	14
CAPITULO I	
INTRODUCCION	
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.2 JUSTIFICACION DEL PROBLEMA.....	16
1.3. OBJETIVOS.....	17
1.3.1 Objetivo general	17
1.3.2. Objetivos específicos.....	17
1.4 HIPOTESIS	17
1.4.1 Hipótesis general	17
1.4.2 Hipótesis específicos	18
CAPITULO II	
REVISION DE LITERATURA	
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	19
2.2 MANTENIMIENTO.....	23
2.2.1 Mantenimiento preventivo.....	25
2.2.2 Mantenimiento predictivo	27
2.2.3 Mantenimiento correctivo	28
2.2.4 Eficacia mecánica.....	28
2.2.5 Eficiencia mecánica.....	29
2.2.6 Efectividad mecánica.....	29
2.2.7 Tiempo promedio para reparar (MTTR)	29
2.2.8 Tiempo promedio entre fallas (MTBF)	30
2.3 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM).....	30



2.3.1	Objetivos del TPM	31
2.3.2	Las 6 grandes perdidas	33
2.3.3	Pilares del TPM	36
2.4	MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM).....	40
2.4.1	RCM, las siete preguntas básicas	42
2.4.2	Que logramos con el RCM	45
2.4.3	Implementación del RCM	47
2.5	CAMIÓN VOLQUETE FMX.....	52
2.5.1	Camión volquete.....	53
2.5.2	Partes de un camión.....	54
2.5.3	Clases y tipos de camiones	60
2.5.4	Camión volquete FMX.....	64
CAPITULO III		
MATERIALES Y METODOS		
3.1	UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO.....	73
3.2	POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN.....	73
3.3	METODOLOGÍA	74
3.4	TÉCNICAS E INSTRUMENTACIÓN DE RECOLECCIÓN DE DATOS. 75	
3.4.1	Técnicas	75
3.4.1	Instrumentos	76
3.4.2	Procedimiento de recolección de datos	76
3.4.3	Instrumentos de análisis documental.....	77
3.5	DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO	78
3.6	IDENTIFICACIÓN DE FALLAS EN VOLQUETES FMX.	79
3.7	DETECCIÓN DE FALLAS TÉCNICAS Y FUNCIONALES EN CAMIONES FMX.....	80
3.8	DIAGRAMA DE PARETO PARA PROMEDIO DE FALLAS POR MES.	81
3.9	TIEMPO PROMEDIO PARA FALLAS	83
3.10	TIEMPO MEDIO ENTRE REPARACIONES.....	84
3.11	EFICACIA DEL VOLQUETE FMX.....	85
3.12	EFICIENCIA DEL VOLQUETE FMX.....	86
3.13	EFFECTIVIDAD DE VOLQUETE FMX	87
3.14	CAMBIOS PARA MEJORAR EL MANTENIMIENTO	89
3.14.1	AMFE de fallas:	89
3.14.2	Calificación de la severidad.....	90



3.14.3 Calificación de la ocurrencia	91
3.14.4 Calificación del grado de detección del control	91
3.14.5 Calcular el número prioritario de riesgo (NPR)	92
3.14.6 Corrección AMFE	98
3.15 DESCRIPCIÓN POSTERIOR A LA IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL Y EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD.....	106
3.15.1 Implementación del mantenimiento productivo total.....	106
3.15.2 Implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad.....	112
CAPITULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIONES	
4.1 RESUMEN DE EFICACIA, EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD ANTES DE APLICAR EL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL.....	116
4.2 RESUMEN EFICACIA, EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD ANTES DE APLICAR EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD.....	117
4.3 RESUMEN DE EFICACIA, EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD DESPUÉS DE APLICAR EL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL	119
4.4 RESUMEN DE EFICACIA, EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD DESPUÉS DE APLICAR EL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL	120
4.5 RESUMEN DE EFICACIA, EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD DE MAYO A NOVIEMBRE DEL VOLQUETE FMX D13*903644*A3*E	121
4.6 RESUMEN DE EFICACIA, EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD DE MAYO A NOVIEMBRE DEL VOLQUETE FMX D13*903647*A3*E	123
4.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS RESULTADOS	125
4.7.1 Resultados de correlación en el volquete D13*903644*A3*E	125
4.7.2 Resultados de correlación en el volquete D13*903647*A3*E	126
V. CONCLUSIONES.....	128
VI. RECOMENDACIONES	129
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	130
ANEXOS.....	132

Área : MECANICA

Tema : MANTENIMIENTO PREVENTIVO

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 24 DE JUNIO 2021



INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Actividades o tareas que realiza el mantenimiento	24
Figura 2: Estrategias de mantenimiento	25
Figura 3: Las 6 grandes pérdidas y la efectividad del equipo.....	34
Figura 4: Pilares del TPM.....	37
Figura 5: Perspectiva tradicional de las fallas de los equipos	41
Figura 6: Componentes de un programa de RCM.....	42
Figura 7: Estructura de equipos de una empresa	48
Figura 8: Evolución de un programa dinámico de mantenimiento RCM	52
Figura 9: Partes de un Volquete FMX.....	53
Figura 10: Motor con suspensión	55
Figura 11: Esquema de transmisión para motor delantero y propulsión trasera	56
Figura 12: Freno volvo FMX	57
Figura 13: Suspensión de ruedas y dirección	58
Figura 14: Carrocería interior	59
Figura 15: Camión Volvo FMX	65
Figura 16: Sensores del motor.....	67
Figura 17: Formato de reporte de fallas	77
Figura 18: Diagrama de causa efecto	78



INDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Perturbaciones en el funcionamiento	69
Tabla 2:	Perturbaciones en el funcionamiento	71
Tabla 3:	Muestra de la investigación	74
Tabla 4:	Identificación de fallas de Volquetes FMX	79
Tabla 5:	Fallas antes de aplicar el TPM	81
Tabla 6:	Fallas antes de aplicar el RCM	82
Tabla 7:	Tiempo promedio de fallas en el volquete FMX D13*903644*A3*E	83
Tabla 8:	Tiempo promedio de fallas en el volquete FMX D13*903647*A3*E	84
Tabla 9:	Tiempo promedio entre reparaciones del Volquete FMX	84
Tabla 10:	Tiempo promedio entre reparaciones Volquete FMX D13*903647*A3*E	85
Tabla 11:	Eficacia del volquete FMX D13*903644*A3*E	85
Tabla 12:	Eficacia del volquete FMX D13*903647*A3*E	86
Tabla 13:	Eficiencia del volquete FMX D13*903644*A3*E	87
Tabla 14:	Eficiencia del volquete FMX D13*903647*A3*E	87
Tabla 15:	Efectividad del volquete FMX D13*903644*A3*E	87
Tabla 16:	Efectividad del volquete FMX D13*903647*A3*E	88
Tabla 17:	Calificación de severidad	90
Tabla 18:	Calificación de ocurrencia	91
Tabla 19:	Calificación del grado de detección del control	91
Tabla 20:	Cuadro AMFE	93
Tabla 21:	Cuadro AMFE de corrección	99
Tabla 22:	Resumen de eficacia, eficiencia y efectividad antes de aplicar el mantenimiento productivo total	116
Tabla 23:	Resumen eficacia, eficiencia y efectividad antes de aplicar el mantenimiento centrado en la confiabilidad	117



Tabla 24: Resumen de eficacia, eficiencia y efectividad después de aplicar el mantenimiento productivo total	119
Tabla 25: Resumen de eficacia, eficiencia y efectividad después de aplicar el mantenimiento productivo total	120
Tabla 26: Resumen de Eficacia, Eficiencia y Efectividad de mayo a noviembre del volquete FMX D13*903644*A3*E	121
Tabla 27: Resumen de Eficacia, Eficiencia y Efectividad de mayo a noviembre del volquete FMX D13*903647*A3*E	123
Tabla 28: Resultados de correlación en el volquete D13*903644*A3*E	125
Tabla 29: Resultados de correlación en el volquete D13*903647*A3*E	126



INDICE DE GRAFICOS

Grafico 1:	Fallas que generan paradas en volquetes FMX.....	80
Grafico 2:	Promedio de numero de fallas en volquete FMX D13*903644*A3*E ..	82
Grafico 3:	Promedio de numero de fallas en el volquete FMX D13*903647*A3*E	83
Grafico 4:	Resumen de Eficacia del volquete FMX D13*903644*A3*E.....	88
Grafico 5:	Resumen de Eficacia del volquete FMX D13*903647*A3*E	89
Grafico 6:	Resumen de Eficacia, Eficiencia y Efectividad V. fMX D13*903644*A3*E.....	117
Grafico 7:	Resumen de eficacia, eficiencia y efectividad v.fmx d13*903647*a3*e	118
Grafico 8:	Resumen de Eficacia, Eficiencia y Efectividad V. fMX D13*903644*A3*E.....	119
Grafico 9:	Resumen de eficacia, eficiencia y efectividad v.fmx d13*903647*a3*e	120
Grafico 10:	Resumen de eficacia, eficiencia y efectividad	122
Grafico 11:	Resumen de eficacia, eficiencia y efectividad V.FMX D13*903647*A3*E.....	124



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos 1: Tabla de comparación entre TPM y RCM	132
Anexos 2: Formato de Solicitud de Repuestos y Materiales	133
Anexos 3: Formato Check List Camiones Volquetes	134
Anexos 4: Formato de Almacén	135
Anexos 5: Formato de Mantenimiento de Equipo	136
Anexos 6: Parte Diario de Volquete	137
Anexos 7: Formato de Registro de Accesorios y Herramientas	138
Anexos 8: Formato de reporte de fallas	139
Anexos 9: Check List Camiones Volquetes	140
Anexos 10: Parte Diario de Volquete	141
Anexos 11: Capacitación sobre TPM y RCM	142
Anexos 12: Capacitación sobre TPM y RCM	142
Anexos 13: Volquetes FMX de la Cooperativa Minera Santiago	143
Anexos 14: Volquete FMX	143
Anexos 15: Volquete FMX en Cantera D	144
Anexos 16: Carguío de Volquete FMX	144
Anexos 17: Cooperativa Minera Santiago LTDA	145



ÍNDICE DE ACRONIMOS

TPM:	Mantenimiento Productivo Total
RCM:	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad
LTDA:	Limitada
AMFE:	Análisis Modal de Fallos y Efectos
OEE:	Efectividad Global de los Equipos
CAT:	Caterpillar
MTTR:	Tiempo Promedio para Reparar
MTBF:	Tiempo Promedio entre Fallas
MTC:	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
MID:	Identificación de unidad de mano
PID:	Identificación de Parámetro
PPD:	Identificación única de Volvo de Parámetro
SID:	Identificación de componente
PSID:	Identificación de Componente única de Volvo
FMI:	Identificación del Tipo de Error
NPR:	Numero Prioritario de Riesgo



RESUMEN

El problema que se identificó en la flota de camiones FMX es la inadecuada estrategia de mantenimiento con la que cuenta, el cual genera elevada frecuencia de paradas no programadas ocasionada por fallas, estos producen tiempos inoperativos que afectan la programación establecida y retrasan la movilización del material a transportar lo que ocasiona altos costos de mantenimiento. El objetivo de la investigación es comparar el mantenimiento productivo total y mantenimiento centrado en la confiabilidad para ver la efectividad en volquetes FMX en el área de mantenimiento en la Cooperativa Minera Santiago de Ananea LTDA. en el año 2020. El método de la investigación que se utilizó es la investigación correlacional cuantitativa el cual nos permite comparar el grado de relación que existe entre nuestras variables. Los 2 métodos de mantenimiento utilizados nos brindaron información que nos permita minimizar los diferentes problemas que ocurren en los camiones FMX, ya sean en su mantenimiento y operación, alargando así la vida útil de los componentes del equipo, reduciendo los costos de mantenimiento y mejorando significativamente la maquinaria y el personal que la opera. El mantenimiento productivo total obtuvo una mejora del 86% en la efectividad del camión FMX mejorando del 62% a 86%, el mantenimiento centrado en la confiabilidad obtuvo una mejora del 84% en la efectividad del camión FMX mejorando del 64% a 84% y los 2 métodos obtuvieron una mejora en la eficacia del 88% y 83% respectivamente, llegando a la conclusión que el mantenimiento productivo total es el que mejor se adecua a las necesidades de la Cooperativa Minera Santiago.

Palabras clave: Mantenimiento Productivo Total, Mantenimiento Centrado Confiabilidad, Camiones FMX, Mejora continua, Efectividad



ABSTRACT

The problem that was identified in the FMX truck fleet is the inadequate maintenance strategy that it has, which generates a high frequency of unscheduled stops caused by failures, these produce downtimes that affect the established schedule and delay the mobilization of material to transport which causes high maintenance costs. The objective of the research was to compare the total productive maintenance and maintenance focused on reliability to see the effectiveness in FMX dump trucks in the maintenance area at the Cooperativa Minera Santiago de Ananea LTDA. in the year 2020. The research method used is quantitative correlational research which allows us to compare the degree of relationship that exists between our variables. The 2 maintenance methods used provided us with information that allows us to minimize the different problems that occur in FMX trucks, whether in their maintenance and operation, thus extending the useful life of the equipment components, reducing maintenance costs and significantly improving the machinery and the personnel who operate it. Total productive maintenance obtained an 86% improvement in the effectiveness of the FMX truck improving from 62% to 86%, the maintenance focused on reliability obtained an 84% improvement in the effectiveness of the FMX truck improving from 64% to 84% and The 2 methods obtained an improvement in efficiency of 88% and 83% respectively, reaching the conclusion that the total productive maintenance is the one that best suits the needs of the Cooperativa Minera Santiago.

Keywords: Total Productive Maintenance, Maintenance Centered Reliability, FMX Trucks, Continuous Improvement, Effectiveness



CAPITULO I

INTRODUCCION

La presente investigación tiene como objetivo comparar el mantenimiento productivo total y el mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la efectividad en volquetes FMX de la Cooperativa minera Santiago de Ananea LTDA y como objetivos específicos de determinar como el mantenimiento productivo total mejora la eficiencia del volquete FMX y como el mantenimiento centrado en la confiabilidad mejora la eficiencia en el volquete FMX.

Este proyecto mediante la identificación de fallas en los camiones FMX y realizando un análisis modal de fallos y efectos (AMFE) ayuda a mejorar la efectividad de los camiones FMX con el método del mantenimiento productivo total y el mantenimiento centrado en la confiabilidad logrando así que la cooperativa pueda hacer una elección y pueda elegir cuál de los 2 métodos es el que más se adecua a sus necesidades.

En el capítulo II tenemos los antecedentes del proyecto, el marco teórico de la investigación, conceptos del mantenimiento productivo total, mantenimiento centrado en la confiabilidad, camión volquete FMX, disponibilidad en mantenimiento y definiciones conceptuales.

En el capítulo III tendremos todos los materiales que utilizamos, como formatos de los camiones, check list de herramientas, partes diarios, para obtener datos que nos ayuden con la investigación. También se identificó las fallas más frecuentes que afectan a los camiones FMX y se realizó su análisis correspondiente y su respectivo cuadro de fallas y su mejora.



En el capítulo IV se hizo el análisis e interpretación de resultados, se comparó los dos métodos de mantenimiento cada una en su respectiva muestra, obteniendo una mejora en la efectividad de 62% a 86% con el mantenimiento productivo total y una mejora de efectividad de 64% a 84% con el mantenimiento centrado en la confiabilidad.

El mantenimiento productivo total es el método que se adecuó más a la Cooperativa minera Santiago de Ananea LTDA. logrando una mejora del 24% en la efectividad, logrando involucrar al personal en las decisiones que se tome y seguir con el mejoramiento continuo y su aplicación a toda la Cooperativa.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hoy en la actualidad contar con un buen plan de mantenimiento es muy importante para todas las empresas en general, en la cooperativa minera Santiago se pudo observar que cuenta con un sistema de mantenimiento inadecuado el cual genera constantes paradas no programadas ocasionando tiempos perdidos en la producción de mineral, altos costos en mantenimiento no planeado y retrasan el transporte de material lo que ocasiona pérdidas monetarias. El no contar con las piezas adecuadas para realizar el mantenimiento adecuado a los camiones FMX también ocasiona paradas extensas y pérdidas de producción.

1.2 JUSTIFICACION DEL PROBLEMA

El mantenimiento en las empresas juega un papel muy importante ya que es el área encargada de la conservación de la función de equipos y maquinarias ya que un buen funcionamiento de estos equipos y maquinas aseguran una buena producción y seguridad en sus trabajadores.



En la actualidad al contar con diferentes tácticas de mantenimiento, las empresas podrán elegir e implementar el método que más se adecue a su rama, así podrán evitar pérdidas, disminuir costos, mejorar su efectividad, etc. La empresa contara con un adecuado sistema de mantenimiento y personal capacitado para solucionar cualquier tipo de problemas.

Mediante la presente investigación la empresa podrá optar por el mantenimiento que más se ajuste a sus necesidades lo cual permitirá una mejora en la efectividad en los volquetes FMX de manera que cumpla con los procedimientos y estándares para dar mejor soporte al área de mantenimiento.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

- Comparar si el Mantenimiento productivo total o el Mantenimiento centrado en la confiabilidad es más efectivo en volquetes FMX en la Cooperativa Santiago de Ananea LTDA.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar como el mantenimiento productivo total (TPM) mejora la eficiencia en volquetes FMX en la cooperativa Santiago de Ananea LTDA.
- Determinar como el mantenimiento centrado en la confiabilidad mejora la eficiencia en volquetes FMX en la cooperativa Santiago de Ananea LTDA.

1.4 HIPOTESIS

1.4.1 Hipótesis general

- Los volquetes FMX de la Cooperativa Santiago de Ananea LTDA mejorara su efectividad con el método Mantenimiento Productivo total o el método Mantenimiento Centrado en la confiabilidad.



1.4.2 Hipótesis específicos

- Determinar como el mantenimiento productivo total (TPM) mejora la eficiencia en volquetes FMX en la Cooperativa Santiago de Ananea LTDA.
- Determinar como el mantenimiento centrado en la confiabilidad mejora la eficiencia en volquetes FMX en la cooperativa Santiago de Ananea LTDA.



CAPITULO II

REVISION DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

(Jiménez, 2010) “Tácticas de mantenimiento”. Concluye que: Las tácticas de mantenimiento pueden ser acomodadas a las exigencias de la organización a implementar. Seleccionando aquellas con las cuales se tengan la mayor cantidad de beneficios.

(Arzuaga, 2011) “Modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad en la flota de equipos de oruga D11N de la empresa minera DRUMMOND LTD”.. Concluye que: El proceso del mantenimiento centrado en confiabilidad constituye una herramienta fundamental para definir una estrategia eficaz de mantenimiento y así poder alcanzar los objetivos de confiabilidad y disponibilidad de los equipos de una flota, reduciendo la probabilidad de falla en la operación y garantizando que cuando el equipo llegue al taller se le realicen solamente las tareas de mantenimiento mínimas necesarias, optimizando así también los recursos de la flota.

(Mamani, 2016) “implementación de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para el sistema hidráulico en la excavadora hidráulica PC-350LC-8 del gobierno regional Puno”. Concluye que: Se eliminó los mantenimientos no planificados por presiones y mantenimientos incorrectos del aceite, combustible y temperatura en el circuito hidráulico de la excavadora hidráulica PC 350 LC-8 identificando los componentes más críticos. Al analizar el mejor tipo de mantenimiento, con los nuevos costos por



mantenimiento estratégicos se logra ahorrar y obtener un nuevo tipo de mantenimiento RCM anulando los mantenimientos preventivos y correctivos.

(Labra, 2018) “Diseño de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM para la maquinaria pesada para movimiento de tierra, de la municipalidad provincial de Canchis-cuzco”. Concluye que: Aplicar el plan de mantenimiento propuesto en el desarrollo del presente trabajo de investigación, aplicar periódicamente indicadores de gestión del mantenimiento como disponibilidad, confiabilidad, mantenibilidad, y el cumplimiento del programa de mantenimiento, para evaluar la gestión de mantenimiento.

(Clará, Domínguez, & Pérez, 2013) “Sistema de gestión de mantenimiento productivo total para talleres automotrices del sector público”. concluye que: El pilar con mayor nivel de cumplimiento del TPM es según la investigación el de seguridad, higiene y medio ambiente el cual al ser evaluado reflejó un porcentaje de 66.73% por lo que se puede decir que en base a este aspecto el sistema actual de mantenimiento se cumple, pero con leves deficiencias en cuanto a documentación o a la continuidad sistemática de su cumplimiento, por lo que se deberán solucionar las deficiencias a corto plazo.

(Silva, 2005) “Implantación del TPM en la zona de enderezadoras de aceros Arequipa”. Obtuvo los siguientes resultados: Con el TPM se ha fortalecido el trabajo en equipo el personal de producción y el de mantenimiento trabajan en equipo para conseguir mejores resultados de operación, la confiabilidad del equipo y la calidad del producto, rompiendo el paradigma de “yo opero, tu reparas”.

Los costos resultantes de la implantación no son muy elevados comparado con los grandes beneficios que se obtiene con el TPM.



(Rojas, 2011)“Implementación de los pilares TPM (mantenimiento total productivo) de mejoras enfocadas y mantenimiento autónomo, en la planta de producción OFIXPRES S.A.S.” Obtuvo las siguientes conclusiones: Se implementó el programa TPM de acuerdo a los lineamientos de la compañía en los pilares de mejoras enfocadas y mantenimiento autónomo; el balance positivo del cumplimiento de los objetivos de los equipos de mejoramiento incidió en la mejora de la rentabilidad y competitividad de la compañía, al analizarlo como un todo.

(Apaza, 2017)“El modelamiento de mantenimiento productivo total TPM y su influencia en la productividad de la empresa minera Chama Perú E.I.R.L. Ananea” obtuvo los siguientes resultados: Con la implementación del programa de capacitación continua del mantenimiento productivo total, se aumenta la productividad y se reducen los costos de la empresa. El TPM ayudara a maximizar la efectividad global de los equipos (OEE), minimizara algunas perdidas y por lo tanto ayudara a reducir costos que son producidos por mermas, paradas, trabajaos ineficientes, etc. Lo cual se traducirá en ganancia para la empresa y a todos sus colaboradores.

(Casachagua, 2017) “Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo basado en el RCM para mejorar la disponibilidad mecánica de la excavadora CAT 336 de la empresa ECOSEM SMELTER S.A” obtuvo los siguientes resultados: Con la aplicación del RCM se logró superar la disponibilidad mecánica mínima de 81% de las excavadoras CAT 336, mejorando en un 9% llegando a 90% de la disponibilidad mecánica.

(Mescua, Raul; Li, 2016) “Propuesta de plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad aplicado a una flota de camiones fuera de carretera en una mina de tajo



abierto” obtuvo los siguientes resultados: El RCM busca mejorar la confiabilidad a través del análisis de modos de fallos y sus causas, mientras el TPM está orientadas a eliminar pérdidas ocasionadas por mantenimiento y de operaciones.

(Montilla Montaña, Arroyave Londoño, & Silva M., 2007) “Caso de aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM, previa existencia de mantenimiento preventivo” obtuvo los siguientes resultados: La reducción de la carga de trabajo de mantenimiento con la aplicación de RCM es significativa, lo que a la compañía en estudio le ha permitido con el mismo personal operativo atender un mayor número de equipos, sin menoscabo de la disponibilidad y la confiabilidad.

(Villena, 2019) “Propuesta de implementación de un plan de mantenimiento de equipos bajo las técnicas del TPM en una empresa constructora” obtuvo los siguientes resultados: Se analizó al área de mantenimiento, mediante una auditoria. Esta tuvo como resultado un 47% de rendimiento del área, lo que se consideró un bajo rendimiento. Con el plan del TPM se proyecta alcanzar un nivel de rendimiento aceptable de un 65%.

(Rojas, 2011) “Implementación de los pilares TPM (Mantenimiento total predictivo) de mejoras enfocadas y mantenimiento autónomo, en la planta de producción OFIXPRES S.A.S” obtuvo los siguientes resultados: El balance positivo del cumplimiento de los objetivos de los equipos de mejoramiento incidió en la mejora de la rentabilidad y competitividad de la compañía, al analizarlo como un todo.

(Jimenez, 2010) “Tácticas de mantenimiento” obtuvo los siguientes resultados: Las empresas consideran importante que al implementar una táctica de mantenimiento se



reduzcan los paros de máquinas, con el fin de mejorar los indicadores de confiabilidad y disponibilidad.

(Cárcel, 2016) “Características de los sistemas TPM y RCM en la ingeniería del mantenimiento” obtuvo los siguientes resultados: Tanto el mantenimiento productivo total (TPM), como el basado en la confiabilidad (RCM), requieren una gran implicación de toda la organización de mantenimiento, y de todos los órganos de la empresa.

(Quezada Banchón, 2014) “Plan para la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad en plantas de tratamiento de agua potable” obtuvo los siguientes resultados: Para garantizar el éxito del proyecto es necesario dar una adecuada seguimiento y control, para lo cual es necesario realizar auditorías semestrales que permita verificar el cumplimiento de las acciones predictivas recomendadas.

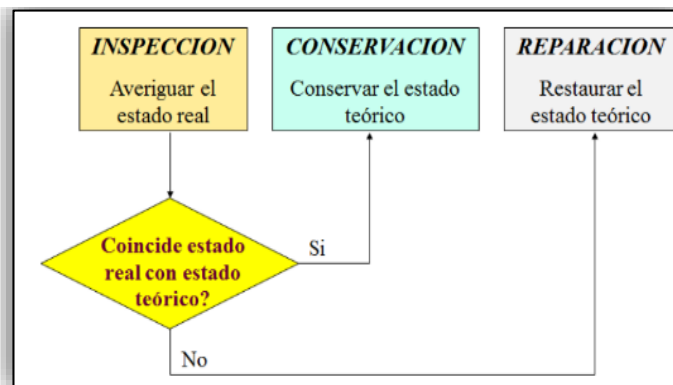
(Hung, 2009) “Mantenimiento centrado en confiabilidad como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en la planta Oscar A. Machado EDC” obtuvo los siguientes resultados: El mantenimiento centrado en la confiabilidad es una estrategia/proceso utilizado para determinar los requerimientos de mantenimiento de cualquier activo físico que asegure el desempeño de sus funciones normales en su contexto operacional real.

2.2 MANTENIMIENTO

El mantenimiento se define como un conjunto de acciones que permiten mantener un equipo, sistema o instalación en condición operativa, asegurando así que cumpla las funciones para las cuales fueron diseñadas o reestablecer dicha condición cuando esta se malogre. (Castillo, 2017).

Así mismo García, dice que el mantenimiento es realizado en forma lógica, con la finalidad de mantener en condiciones de funcionamiento seguro, eficiente y económico las máquinas de producción, herramientas y demás propiedades físicas de los distintos ambientes de la empresa.(García, 2006).

Figura 1: Actividades o tareas que realiza el mantenimiento



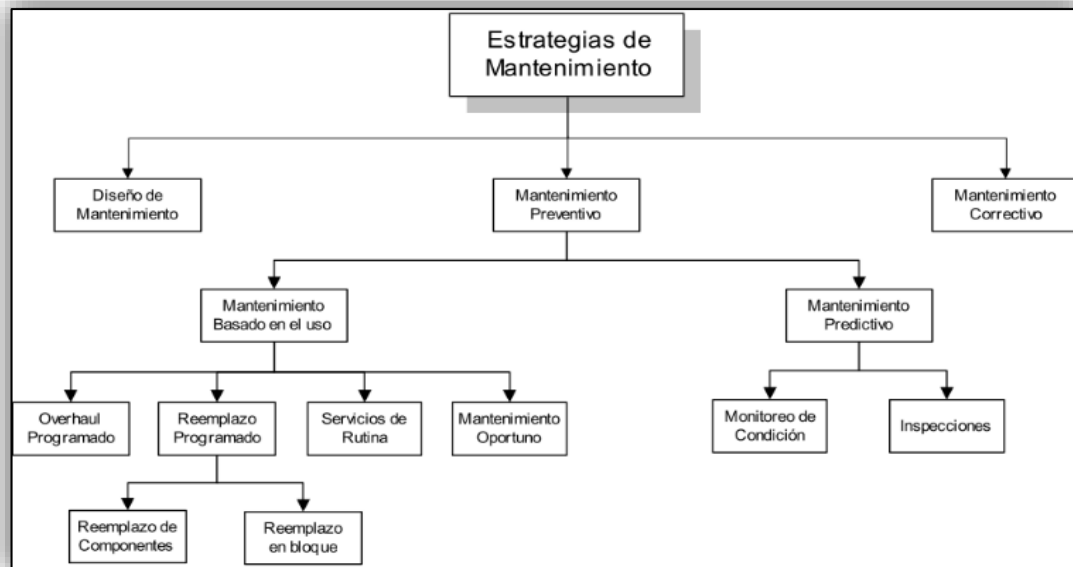
Fuente:(Mescua, Raul; Li, 2016)

La introducción de un mantenimiento con un enfoque acorde a las necesidades y características específicas de la industria, facilita la implementación de una herramienta metodológica que permite aprovechar las cualidades y eliminar o disminuir las desventajas de la misma.(Jiménez, 2010)

Nos Indica también que los objetivos del mantenimiento son los siguientes:

- Mejorar continuamente los equipos hasta su más alto nivel operativo, mediante el incremento de la disponibilidad, efectividad y confiabilidad.
- Los componentes de los equipos se aprovechan al máximo esto conlleva a disminuir los costos de mantenimiento.
- Aumentar la producción de la empresa
- Cumplir con las normas de calidad, seguridad y medio ambiente.

Figura 2: Estrategias de mantenimiento



Fuente:(Dounce, 2006)

2.2.1 Mantenimiento preventivo

Como sabemos todas las máquinas están compuestas por partes mecánicas, hidráulicas, neumáticas, eléctricas y electrónicas. Por lo tanto, estas piezas por el tipo de estructura que poseen, necesitan mantenimiento en distintos periodos de tiempo. es decir, que están diseñados de tal forma que pueden ejecutarse tareas de mantenimiento en él de forma programada. Estas pueden realizarse de forma rutinaria, el cual consiste en actividades de lubricación, limpieza, inspecciones ajustes y pruebas. También se realiza tareas globales que involucran tareas más grandes como reparaciones, cambio de repuestos y reemplazo de componentes y por ultimo tenemos tareas que implican el retiro del equipo completo de la producción para así poder realizar reparaciones más prolongadas de los componentes principales del equipo.(Garcia, 2006)

El mantenimiento preventivo mediante identificación de fallas e inspecciones realizadas a tiempo aumentan al máximo la confiabilidad y disponibilidad del equipo .(Labra, 2018), así mismo es el conjunto de actividades programadas a equipos en funcionamiento que



permiten en la forma más económica, continuar su operación eficiente y segura, con tendencia a prevenir las fallas y paros imprevistos.(García, 2006).

El mantenimiento preventivo es la ejecución de un sistema de inspecciones periódicas programadas racionalmente sobre el activo fijo de la planta y sus equipos con el fin de detectar condiciones y estados inadecuados de esos elementos que puedan ocasionar circunstancialmente paros en la producción o deterioro grave de máquinas, equipos o instalaciones, y realizar en forma permanente el cuidado de mantenimiento adecuado de la planta para evitar tales condiciones, mediante la ejecución de ajustes o reparaciones, mientras las fallas potenciales están en estado inicial de desarrollo.(Casachagua, 2017).

- Mayormente se realiza cuando la planta se encuentra parada, por lo que se aprovecha esas horas para realizar este tipo de mantenimiento.
- El mantenimiento se realiza de acuerdo a un programa ya establecido donde se encuentra detallado los procedimientos a seguir y las actividades que se va a realizar, con la finalidad de contar con todos los repuestos y herramientas para realizar el trabajo.
- La empresa designa una fecha programada, también una hora de inicio y una hora de finalización del trabajo, esto está aprobado por la empresa.
- Generalmente el mantenimiento es destinado a un área específica de la empresa y/o a ciertos equipos. Pero no necesariamente tiene que ser así, ya que también se puede realizar un mantenimiento generalizado a todos los equipos y componentes de la empresa.
- Este mantenimiento nos permite tener un historial de todos los equipos, además de actualizar toda la información técnica de todos los equipos.
- Nos permite contar con un presupuesto asignado para realizar este mantenimiento, el cual es aprobado por la gerencia.



2.2.2 Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo se basa en el hecho de que la mayoría de los fallos se producen lentamente y previamente, en algunos casos, arrojan indicios evidentes de un futuro fallo, bien a simple vista, o bien mediante la monitorización, es decir mediante la elección, medición y de algunos parámetros relevantes que representan el buen funcionamiento del equipo analizado.(Muñoz, 2015)

Son actividades que nos permiten detectar las fallas por revelación antes que sucedan, usando aparatos de diagnóstico y pruebas no destructivas. Es el sistema de mantenimiento permanente que se realiza durante el funcionamiento de los equipos.(Garcia, 2006)

Entonces podremos decir que el mantenimiento predictivo mejora la disponibilidad de los equipos activos, ya que analiza el comportamiento de los componentes a lo largo del tiempo evitando así fallas en los equipos. Podremos pronosticar los puntos futuros de falla de un componente de una máquina y poderlo reemplazar en base a un plan justo antes de que falle.

El uso de estas técnicas, para determinar el estado de la maquina dará como resultado un mantenimiento mucho más eficiente utilizando métodos que requieren equipos, instrumentos y contar con personal entrenado. Las técnicas utilizadas para la estimación del mantenimiento predictivo son:(Garcia, 2006)

- Medición de parámetros de operación (corriente, voltaje, potencia, temperatura, etc).
- Termovisión (detección de condiciones a través del calor desplegado)
- Analizadores de Fourier (para análisis de vibraciones)
- Ensayos no destructivos (a través de líquidos penetrantes, ultrasonido, radiografías, partículas magnéticas)



2.2.3 Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo o mantenimiento por avería consiste en dejar los equipos o maquinas en servicio hasta que surja la avería y en este momento el departamento de producción llama a mantenimiento para reparar el defecto. Una vez reparado, el jefe de mantenimiento deja el equipo o maquina hasta que se produce otra falla. (Mescua, Raul; Li, 2016).

A este mantenimiento también se le conoce con el nombre de “mantenimiento reactivo”, es usado después que ocurre una falla, podemos decir que se solo actuara cuando se presenta un error en el sistema. Si no ha ocurrido ninguna falla el mantenimiento será nulo, de modo que tendremos que esperar a que ocurra una falla para poder tomar las medidas de corrección de errores. Este tipo de mantenimiento generara muchas consecuencias como:(Mescua, Raul; Li, 2016)

- Las paradas no previstas en el proceso productivo, generando pérdidas de horas de trabajo.
- Afecta las cadenas productivas, ya que tendrán que parar los demás ciclos productivos hasta que no solucionen la etapa anterior.
- No se contará con los repuestos necesarios para realizar el mantenimiento, esto afectara a los costos por reparación ya que no se encontraban en el presupuesto de la empresa.
- La planificación del tiempo que estará en el sistema fuera de operación no es predecible.

2.2.4 Eficacia mecánica

La eficacia se define como el grado en el que se logran las metas y objetivos de un plan, es decir, hasta qué punto se ha conseguido el resultado esperado.



$$Eficacia = \frac{(Resultado alcanzado \times 100)}{Resultado previsto}$$

2.2.5 Eficiencia mecánica

Eficiencia es llegar al objetivo deseado con un mínimo de recursos utilizados.

$$Eficiencia = \frac{(Resultado alcanzado / Tiempo invertido) / 100}{(Resultado previsto / Tiempo previsto)}$$

2.2.6 Efectividad mecánica

La efectividad es el equilibrio entre la eficacia y la eficiencia, consiguiendo llevar a cabo el máximo trabajo previsto al mejor precio.

$$Efectividad = \frac{Eficacia + Eficiencia}{2}$$

2.2.7 Tiempo promedio para reparar (MTTR)

El tiempo promedio para reparar es la medida de la distribución de un equipo o sistema. Nos permite realizar el cálculo de la efectividad en restituir la unidad a condiciones óptimas de operación una vez que la unidad se encuentra fuera de servicio por un fallo, dentro de un tiempo específico.

$$MTRR = \frac{\sum (Tiempo total de fallas)}{\sum Numero de paradas}$$



2.2.8 Tiempo promedio entre fallas (MTBF)

El tiempo promedio entre fallas nos ayuda a identificar el intervalo de tiempo probable entre un arranque y la aparición de un fallo, se podría decir que es el tiempo transcurrido hasta la llegada del evento “falla”.

$$MTBF = \frac{\text{Hipogramadas} - H.de\ falla}{\sum \text{numero deparadas por falla}}$$

2.3 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)

El mantenimiento Productivo Total (TPM) es un sistema de gestión que previene toda clase de perjuicios en el tiempo de vida útil del sistema de producción, aumentando su eficacia con la activa participación de los trabajadores, operadores, personal de mantenimiento, operación, ingeniería proveedores, supervisores, hasta la alta dirección y orientando a sus acciones apoyándose en las actividades en pequeños grupos.(Jiménez, 2010)

El mantenimiento productivo total es de estilo americano, que fue modificado para poder adaptarlo al entorno industrial japonés. El mantenimiento productivo total reconoce la importancia de la fiabilidad, mantenimiento y eficiencia económica en el diseño de la planta, pero realiza una división entre el personal de mantenimiento y producción. (Rojas, 2011)

El Mantenimiento Productivo Total se define como el conjunto de disposiciones técnicas-medias y actuaciones que permiten garantizar que las maquinas e instalaciones y organización que conforman un proceso básico o línea de producción, pueden desarrollar el trabajo que tienen previsto en un plan de producción en constante evolución por la aplicación de la mejora continua.(Jiménez, 2010).



El TPM consiste en una estrategia destinada a elevar la productividad mejorando el mantenimiento y las practicas correspondientes. Hoy en día es una excelente herramienta para aumentar la productividad, la capacidad y el trabajo en equipo en una compañía manufacturera. (Villena, 2019).

La filosofía de TPM considera que cualquier equipo que no esté operando por un intercambio de componente, una falla, que no opere a su máxima capacidad o que brinde productos sin cumplir los estándares, produce perdidas a la empresa. Este equipo debe considerarse como improductivo en dichas situaciones y corregir las causas para evitar que se repitan. (Mescua, Raul; Li, 2016)

2.3.1 Objetivos del TPM

El principal objetivo del mantenimiento productivo total es eliminar las pérdidas ocasionadas en el proceso productivo de las empresas, estas pérdidas podrían ser: (Jiménez, 2010)

- Cambios y ajustes no programados.
- Fallas de equipos principales y auxiliares.
- Aumentar la productividad del personal, equipos y planta.
- Ofrecer seguridad al proceso productivo y al personal.
- Reducción de velocidad.
- Preservar el medio ambiente.

El mantenimiento productivo total supone un nuevo concepto de gestión del mantenimiento, que trata de que este sea llevado a cabo por todos los colaboradores que involucren a todos los niveles a través de actividades en pequeños grupos, según Ichizoh Takagi, miembro del Japan Institute for Planning Maintenance, incluye cinco objetivos: (“Mantenimiento Productivo Total,” 2014)



- Participación de todo el personal, desde los operarios hasta la alta gerencia.
- Crear una cultura corporativa orientada a obtener una máxima eficiencia en la gestión de equipos y el sistema de producción.
- Implementar un sistema de gestión de plantas productivas, para que facilite la eliminación de pérdidas antes que estas aparezcan.
- Implementar el mantenimiento preventivo como medio básico para alcanzar el objetivo de cero pérdidas.
- Aplicación de los sistemas de gestión de todos los aspectos de la producción, incluyendo el diseño y desarrollo, ventas y dirección.

Según el Dr. Shad Dowlatshahi, manifiesta que el objetivo principal del TPM se encuentra en los trabajadores y los gerentes que operan o mantienen el equipo industrial. Este es esencial para el logro de la eficacia en el uso de la tecnología. El TPM está diseñado para maximizar la eficacia de los equipos mediante el establecimiento y mantenimiento de las mejores relaciones entre personas y máquinas.

2.3.1.1 Objetivos Estratégicos

El proceso TPM ayuda a formar capacidades competitivas desde las operaciones de la empresa, gracias a su contribución a la mejora de la efectividad de los sistemas productivos, flexibilidad y capacidad de respuesta, reducción de costes operativos y conservación del conocimiento industrial. (“Mantenimiento Productivo Total,” 2014)

2.3.2.2 Objetivos Operativos

El TPM tiene como propósito en las acciones que los equipos operen sin averías y fallos, elimina toda clase de pérdidas, mejorar la fiabilidad de los equipos y emplear verdaderamente la capacidad industrial instalada. (“Mantenimiento Productivo Total,” 2014)



2.3.2.3 Objetivos Organizativos

El TPM busca fortalecer el trabajo en equipo, incremento en la moral del trabajador, crear un espacio donde cada persona pueda aportar lo mejor de si, todo esto, con el propósito de hacer el sitio de trabajo un entorno creativo, seguro, productivo y donde trabajar sea realmente grato. (“Mantenimiento Productivo Total,” 2014)

2.3.2 Las 6 grandes perdidas

El mantenimiento productivo total considera que cualquier máquina que no esté operando por alguna falla de componente, y que no opere a su máxima capacidad o que produzca productos en malas condiciones, produce perdidas a la empresa. Esta máquina de considera como improductivo en dichas situaciones y corregir las causas para evitar que se repitan. TPM considera las siguientes como las seis grandes pérdidas.(Silva, 2005)

- Perdida por averías menores durante el proceso
- Pérdidas de tiempo debido a preparaciones de la maquinaria
- Perdidas por tiempos muertos, que generan paradas no programadas
- Perdidas por reducción de velocidad de operación reducida, ya que no produce lo que debería
- Perdidas por defectos en los productos y repetición de productos
- Pérdidas de tiempo debido a puesta de marcha de la maquinaria

Figura 3: Las 6 grandes pérdidas y la efectividad del equipo



Fuente:(Silva, 2005)

a) Pérdidas por averías.

Son causados por fallas que pueden ser de forma esporádica y crónica. Mayormente las fallas esporádicas son fáciles de arreglar, en cambio las fallas crónicas son ignoradas o negadas después de varios intentos poco exitosos de corregir el problema.

Como las fallas son el porcentaje más alto de las pérdidas totales, el personal de la empresa invierte gran cantidad de tiempo para evitarlas, generalmente mantenimiento lleva a cabo estudios que aumenten la confiabilidad del equipo y encontrar alguna manera de disminuir el tiempo requerido para corregir los problemas cuando estos ocurren, pero para maximizar la efectividad del equipo, las fallas deben de reducirse a cero.(Silva, 2005)

b) Pérdidas por preparación y ajuste

Las pérdidas que mayormente se dan durante los ajustes son resultado del tiempo de paro y algún producto defectuoso que mayormente se da cuando un artículo termina y el equipo se tiene que volver a ajustar para cumplir con los requerimientos del nuevo producto. Las compañías están trabajando para reducir



este tiempo en menos de diez minutos, los tiempos se pueden reducir considerablemente haciendo clara la diferencia entre tiempos de ajuste interno y los tiempos de ajuste externo.(Silva, 2005)

c) Pérdidas por tiempos muertos

La pérdida de tiempo muerto se da cuando la producción se interrumpe por un mal funcionamiento de la máquina, o cuando la maquina queda trabada por alguna pieza que podría bloquear el escape causando que se alerten los sensores y que se pare el equipo. Este tipo de paro imprevisto no es una falla ya que el flujo normal de producción continúa retirando la obstrucción y reiniciando la máquina.

Algunos problemas como este influyen drásticamente en la efectividad del equipo, en especial a los equipos automatizados. Los tiempos muertos como pudimos ver son fácilmente remediables, pero también son ignorados por los trabajadores ya que son difíciles de detectar, para reducir estos paros menores las condiciones de operación deben ser observadas muy de cerca y todos los defectos deben eliminarse.(Silva, 2005)

d) Pérdidas por reducción de velocidad

Generalmente la pérdida de velocidad se da cuando existe diferencia entre la velocidad prevista en el diseño de la máquina y su velocidad de operación actual. Las pérdidas por reducción de velocidad se ignoran con frecuencia, pero es un gran obstáculo para la eficacia del equipo y deben estudiarse minuciosamente.

Un problema que puede generar es que la velocidad ideal de diseño del equipo puede estar funcionando en baja velocidad y esto se debe a problemas mecánicos y defectos de calidad, exceso de esfuerzo del equipo o algún antecedente de problemas en el equipo. También puede ocurrir en situaciones donde la velocidad



optima se desconoce por parte del personal y esto se podría corregir aumentando la velocidad de operación.(Silva, 2005)

e) Pérdidas por defectos de calidad

Las pérdidas por defectos del proceso son mayormente en calidad causadas por el equipo de producción, los efectos esporádicos pueden ser fácil y rápidamente corregidos generando que el equipo regrese a su condición normal. Por otro lado, las causas de los defectos crónicos son difíciles de detectar. Al realizar reparaciones inmediatas para resolver la maquina raras veces resuelven el problema, por lo que los defectos pueden ser ignorados o dejados de lado.

Los defectos crónicos, las averías crónicas deben de ser eliminadas lo cual conlleva a realizar una investigación más profunda y contar con medidas innovadoras. Las condiciones que rodean y causan el defecto deben ser determinadas y evaluar los puntos de control, y tendremos como meta principal la eliminación total de los defectos.(Silva, 2005)

f) Pérdidas de puesta en marcha

Las pérdidas de puesta en marcha se dan en el momento que el equipo arranca, son perdidas cuantitativas que ocurren en las etapas temporales de producción desde su arranque hasta su estabilización, la cantidad de pérdidas que se observa varían con el grado de estabilidad de las condiciones de manufactura, el nivel de mantenimiento que se brinda al equipo y la formación técnica de los operadores en la práctica, en este punto se podrá apreciar muchas pérdidas. (Silva, 2005)

2.3.3 Pilares del TPM

Son procesos fundamentales que sirven para la construcción de un sistema de producción ordenado. Se establecen siguiendo una metodología disciplinada, potente y efectiva. Son necesarios para el desarrollo del mantenimiento productivo total en una organización.

Figura 4: Pilares del TPM



Fuente:(Clará et al., 2013)

1. Mejoras enfocadas

Son actividades que se desarrollan con la intervención de diferentes áreas comprometidas en el proceso productivo que busca encontrar la causa primaria de los problemas y así evitar averías en los equipos, con el objetivo de maximizar la efectividad de los equipos, procesos y plantas, buscando el mejoramiento continuo de los procesos de producción. Para lograr esto deberemos que cumplir un plan que se pondrá en práctica para cumplir con las metas y realizar la totalidad del procedimiento en un determinado tiempo.(Clará et al., 2013)

2. Mantenimiento autónomo

En este pilar se busca involucrar al personal encargado en la producción en las actividades de mantenimiento. El propósito es que el operador debe estar involucrado en el cuidado del equipamiento con una buena preparación y formación para evitar y/o solucionar fallos o averías en las máquinas y que estas dejen de operar inesperadamente. El mantenimiento autónomo busca capacitar y preparar a los operarios, de tal manera que estos se encuentren en la capacidad de



prevenir posibles paros en la producción, también busca concientizar al personal sobre los peligros existentes a las que está expuesto con el fin de evitar accidentes. (Clará et al., 2013)

3. Mantenimiento planificado

El mantenimiento planificado está a cargo del personal de mantenimiento que se encarga de organizar de forma cronológica de eliminar los problemas de equipamiento a través de acciones de mejora, prevención y predicción.

Este plan nos permite adelantarnos a las fallas de las máquinas y así poder garantizar un mejor proceso de producción, se logrará mejorar continuamente el proceso, con lo que realizaremos un análisis paulatino de las causas y resultados con el fin de encontrar el origen de las fallas. (Clará et al., 2013)

Los objetivos principales son:

- Mantener el equipo y proceso en condiciones óptimas.
- Reducir los gastos de mantenimiento.
- Eliminar las fallas.
- Reducir el tiempo de espera de los trabajos.

4. Mantenimiento de calidad

El mantenimiento de calidad se encarga de garantizar que los productos sean de buena calidad que fabrica la organización y así poder cumplir con los estándares que requiera el cliente. Para lograr esto debemos de realizar acciones enfocadas en el mantenimiento de la maquinaria y así evitar defectos en los productos. Asimismo, el personal que se encuentra a cargo del mantenimiento deberá enfocarse a prevenir futuras fallas, también deberá implementar estrategias orientadas para mejorar y asegurar la calidad de los productos. (Clará et al., 2013)

5. Prevención del mantenimiento



La prevención del mantenimiento busca reducir los costos de mantenimiento cuando las maquinas empiezan a operar. Aquí encontraremos acciones que se implementaron durante la etapa de diseño, fabricación y el manejo de los equipos. Para optimizar el desarrollo de la empresa, los encargados del mantenimiento deberán de enfocarse en las capacitaciones previas y conocimientos que adquirieron durante los años para asegurar el correcto funcionamiento de la maquinaria de la empresa. (Clará et al., 2013)

6. Actividades de departamentos administrativos y de apoyo

Esta actividad va mayormente enfocado al departamento administrativo, que se encargara de registrar, documentar y analizar los datos que se obtendrán durante el proceso del mantenimiento productivo total. El departamento administrativo apoyara a través de un proceso productivo de información. El mantenimiento productivo total se aplica a todos los departamentos, para ello es importante que cada uno de estos departamentos cumpla con su trabajo de manera eficiente y oportuna para eliminar perdidas en los procesos administrativos y aumentar la eficiencia. (Clará et al., 2013).

7. Formación y adiestramiento

Nos enfocamos en la capacitación y adiestramientos del personal adquiridos acerca del funcionamiento de las máquinas y acciones en prevención de riesgos. Estas capacitaciones son aún más efectivas cuando las imparte la misma empresa, ya que aprovechan la experiencia adquirida de los trabajadores más antiguos, cuando exista un tema que se desconozca se busca asesoría externa.(Clará et al., 2013).



El personal se encontrará en la capacidad de entender cómo operan las máquinas, identificando y encontrando los problemas que pudieran ocurrir durante el proceso, además de verificar la calidad de fabricación.

8. Gestión de seguridad y entorno

En este pilar se encarga de crear y garantizar la seguridad de los colaboradores en un ambiente laboral sin accidentes y sin contaminación. Este punto vemos como la empresa identifica los peligros y riesgos a los que puedan estar expuestos sus trabajadores y así puedan velar por su bienestar. Muchas veces la contaminación en el ambiente de trabajo trae como consecuencia el mal funcionamiento de las máquinas, el cual puede ocasionar accidentes a los trabajadores. (Clará et al., 2013)

2.4 MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM)

El mantenimiento centrado en la confiabilidad es un método para elaborar un plan de mantenimiento en una planta de procesos, además de contar con ciertas ventajas sobre otros métodos de mantenimiento. El mantenimiento centrado en la confiabilidad nos permitirá visualizar que tipo de rutina de mantenimiento y con qué frecuencia se deben aplicar a las principales máquinas componentes para que cumplan con los estándares de los procesos de producción.

La mejor definición del mantenimiento centrado en la confiabilidad es:

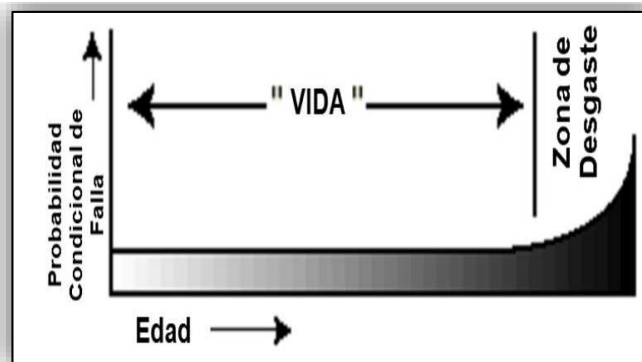
“Mantenimiento Centrado en Confiabilidad: Un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual”(Moubray, 2004).

“El RCM es el proceso usado para determinar el enfoque más efectivo del mantenimiento esto implica identificar acciones que cuando se toman reducen la probabilidad de falla de

la forma más costo-efectiva buscando una mezcla optima de acciones basadas por condición, acciones basadas en ciclos o en tiempo o el enfoque de operar hasta que falle”(Arzuaga, 2011)

El Mantenimiento centrado en la confiabilidad tiene por objetivo mejorar la confiabilidad de los equipos y máquinas, reduciendo el costo de mantenimiento, enfocándose en las funciones más importantes de los sistemas, evitando acciones de mantenimiento que no son estrictamente necesarias y sustituyéndolas por otras más adecuadas.

Figura 5: Perspectiva tradicional de las fallas de los equipos



Fuente:(Moubray, 2004)

Entonces podemos concluir que el mantenimiento basado en confiabilidad es un proceso que permite determinar las tareas mínimas de mantenimiento necesarias para que los activos cumplan con su función en su contexto operacional.

Figura 6: Componentes de un programa de RCM



Fuente: (Arzuaga, 2011)

2.4.1 RCM, las siete preguntas básicas

El mantenimiento basado en la confiabilidad plantea siete preguntas básicas acerca del activo o sistema que se quiere revisar:

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



2.4.1.1 Funciones y los parámetros de funcionamiento.

Primeramente, debemos de definir las funciones de cada activo en su contexto operacional, junto con los parámetros de funcionamiento deseados. Estas funciones se dividen en 2 categorías. (Montilla Montaña et al., 2007)

- Funciones primarias que nos indica el por qué la adquisición del activo. En las funciones primarias veremos temas como velocidad, producción, carga, calidad y servicio al cliente.
- Funciones secundarias que complementan a las funciones primarias. Aquí veremos temas que estén relacionados a la seguridad, control, contención, economía, protección, etc.

2.4.1.2 Fallas funcionales.

Para poder identificar las fallas que pueden ocurrir el mantenimiento centrado en la confiabilidad lo realiza en 2 niveles.

- Identificar las circunstancias que llevaron a la falla.
- Cuáles son los eventos que causaron la falla.

Los estados de falla en el RCM también son conocidos como fallas funcionales y se presentan cuando el activo no cumple una función primaria o secundaria de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable.(Montilla Montaña et al., 2007)

2.4.1.3 Causas y análisis de modo de fallas.

Una vez que ya tenemos identificado todas las fallas funcionales, ahora identificaremos los hechos que causaron estas fallas, estos hechos se denominan modos de falla. Dentro de estos podemos considerar las causadas por equipos similares, fallas causadas por deterioro y desgaste, fallas causadas por errores humanos, debemos de identificar las



causas de estas fallas minuciosamente para no desperdiciar tiempo y esfuerzo.(Montilla Montaña et al., 2007)

2.4.1.4 Efecto en las fallas.

En este punto tenemos que hacer un listado de todos los efectos de falla ya identificadas, que ya describen lo que ocurre con cada modo de falla. Esta lista de efectos de falla debe incluir información necesaria, una vez descritas las fallas debemos de hacer constar lo siguiente.(Montilla Montaña et al., 2007)

- La evidencia de la falla que ha ocurrido
- La falla es una amenaza para la seguridad o el medio ambiente
- La falla afecta a la producción o a la operación
- La falla ha causado daños físicos
- Como reparamos la falla

2.4.1.5 Consecuencias de las fallas.

Si realizamos un análisis minucioso en alguna empresa industrial se pondrán encontrar miles de fallas, cada una de estas fallas afectara de manera distinta en la empresa, pueden afectar las operaciones, calidad del producto, medio ambiente, seguridad de los colaboradores y todas estas fallas ocasionaran pérdidas de tiempo y generaran costos extras a la empresa.

Lo más conveniente sería tratar de evitar estas fallas que traerían consigo grandes consecuencias y así poder evitar o reducir las consecuencias de las fallas, el RCM clasifica estas consecuencias en cuatro partes.(Montilla Montaña et al., 2007)

- Consecuencias de fallas ocultas
- Consecuencias ambientales y para la seguridad
- Consecuencias operacionales



- Consecuencias no operacionales

2.4.1.6 Realizar tareas de mantenimiento preventivo y predictivo.

En este paso respondemos las 2 últimas preguntas de las 7 preguntas básicas del RCM, que acciones tomaremos para mejorar las fallas, lo realizaremos de 2 formas.(Montilla Montaña et al., 2007)

- Tareas proactivas: Estas tareas proactivas se realizan antes que ocurra una falla, con el objetivo que los componentes lleguen a un punto de fallo, es ahí donde las tareas de mantenimiento predictivo y correctivo se ponen en marcha.
- Acciones a falta de: Aquí se incluirán procedimientos para encontrar las fallas, se realizarán cambios a las capacidades iniciales del sistema, esto realizará modificaciones al equipo y traerá cambios a los procedimientos.

2.4.2 Que logramos con el RCM

Trabajar con el RCM de forma constante trae consigo ciertas mejoras, el ambiente laboral es más productivo y agradable y esto trae mejores resultados técnicos a continuación se muestra una lista de beneficios que se obtiene.(Montilla Montaña et al., 2007)

- a) Mayor seguridad e integridad ambiental:

El RCM minimiza y elimina todos los riesgos que se podrá encontrar en la planta, en los equipos y en el ambiente, al incorporar la seguridad en la toma de decisiones el mantenimiento centrado en la confiabilidad mejorará la actitud de los colaboradores en relación con el tema de seguridad.

- b) Mejor funcionamiento operacional:

El mantenimiento centrado en la confiabilidad reconoce que existe un mantenimiento adecuado para cada situación que se presente. Así se podrá elegir la forma de mantenimiento más adecuado para cada activo físico y que tomaran



las medidas necesarias en caso que el mantenimiento no sea muy efectivo. Esta manera de escoger el mantenimiento adecuado para cada activo nos ayuda a mejorar el desempeño de los activos físicos existentes donde se los requiera.

c) Mayor costo-eficacia del mantenimiento:

El mantenimiento centrado en la confiabilidad da mayor interés a las actividades que cumplen un mayor desempeño en la planta. Esto ayuda a invertir en áreas específicas donde se logrará obtener mejores resultados.

Cuando el mantenimiento centrado en la confiabilidad es aplicado en áreas de planta que ya cuentan con un sistema de mantenimiento, reducirá la cantidad de trabajo de rutina de cada periodo, entre un 40% y un 70%. Pero si el mantenimiento centrado en la confiabilidad es nuevo en un programa de mantenimiento, la carga de trabajo que resulta es mucho más baja que otros métodos de mantenimiento.

d) Mayor vida útil de componentes costosos:

El mantenimiento centrado en la confiabilidad genera mayor vida útil a todos sus componentes especialmente a los más costosos debido al cuidadoso énfasis en el uso de técnicas de mantenimiento a condición.

e) Una base de datos global:

Una vez implementado el mantenimiento centrado en la confiabilidad esta tendrá registrada en una base de datos todos los documentos y requerimientos de mantenimiento de todos los activos físicos utilizados por la organización. También nos ayudara a demostrar que los programas de mantenimiento utilizados están contruidos sobre una base sólida. La información que se almacena en la base de datos del mantenimiento centrado en la confiabilidad reducirá los efectos de rotación del personal y la perdida de experiencia. Al contar con una base de



datos tendremos una mejor visión de los activos físicos de la empresa, y decidir que repuestos deben tenerse en stock.

f) Mayor motivación del personal:

El mantenimiento centrado en la confiabilidad mejora el estado de animo de las personas involucradas en el proceso de revisión. Esto mejora la operacionalización de la planta y que los trabajadores realicen mejor su labor en el mantenimiento y sus soluciones.

g) Mejor trabajo de equipo:

El mantenimiento centrado en la confiabilidad implementa un lenguaje físico fácil de entender para las personas, por lo cual los trabajadores nuevos se podrán adecuar fácilmente al proceso de mantenimiento ya implementado. Esto da al personal de mantenimiento una manera más sencilla de comprender el proceso de mantenimiento y lo que este puede lograr y que debe hacerse con lo logrado.

2.4.3 Implementación del RCM

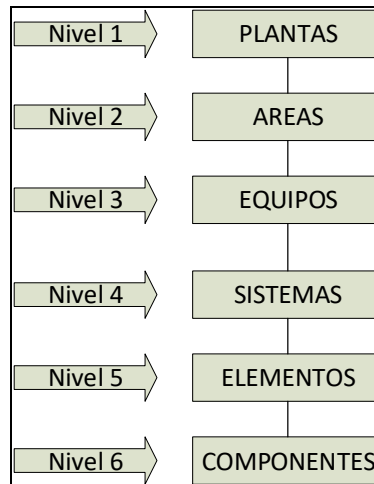
Para poder realizar la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad se desarrollará en una serie de fases, en las primeras fases se examinan metas y funciones de productividad, luego se evaluarán los efectos y los modos de los fallos que generan la improductividad y finalmente se definirán los métodos más apropiados para reducir las consecuencias de fallo. A continuación, describiremos las fases del RCM.(Mescua, Raul; Li, 2016)

a) Fase 0: Codificación y listado de equipos

Para empezar la implementación del RCM empezaremos realizando un listado de todos los equipos con la que cuenta la empresa. Esta lista deberá contar con requerimientos necesarios de los equipos como, número de serie, marca, año de

creación, etc. Para un mejor uso lo podemos mostrar en una estructura arbórea.(Mescua, Raul; Li, 2016)

Figura 7: Estructura de equipos de una empresa



Fuente: (Mescua, Raul; Li, 2016)

b) Fase 1: listado de funciones y especificaciones

En esta fase debemos de hacer una lista de funciones que debe cumplir un sistema, también debemos de enumerar las funciones de los subsistemas. Los subsistemas al estar conformados por varios equipos deberemos también identificar las funciones de cada uno de estos, pero al hacer este listado emplearemos tiempo y recursos, por lo que podemos hacer un listado de los equipos más significativos. Se trata de identificar y priorizar los recursos físicos de la empresa, evaluando su efecto sobre los procesos de negocio de la empresa. (Mescua, Raul; Li, 2016)

c) Fase 2: determinación de fallos funcionales y técnicos

Los fallos funcionales son las primarias, secundarias y protectoras de los equipos a las que se va a realizar el mantenimiento, los equipos a los cuales se les va a realizar el mantenimiento son las más importantes de la empresa. Los fallos técnicos son aquellos que no afectan la función principal del sistema, pero que



afecta con fallos pequeños a una parte del sistema, estos fallos afectan al sistema y a los subsistemas o incluso al mismo equipo. Para poder determinar estas fallas debemos tener diversas fuentes de información, podría ser del personal que labora en la empresa, historial de averías, etc. Estas fuentes nos ayudaran a comprender mejor los fallos. (Mescua, Raul; Li, 2016).

d) Fase 3: Determinación de modos de fallo

En esta fase se investigará los modos de fallos encontrados en la empresa, los modos de fallo son los que se refiere a la causa inmediata que origina el fallo, se relaciona mayormente a las situaciones y circunstancias que originan el fallo. Un fallo puede tener diferentes tipos de falla y a la vez estos pueden ocasionar más fallas, por lo que se investigara estos fallos para llegar a la causa raíz de estos fallos. Se determinan los niveles esperados de rendimiento y en consecuencia los fallos funcionales, lo que define la calidad y cantidad del mantenimiento. (Mescua, Raul; Li, 2016).

e) Fase 4: Análisis de la gravedad de los fallos y criticidad

En esta fase se identificarán los modos probables de fallos, sus efectos y sus causas, para luego clasificarlos según su nivel de criticidad, existirán también fallos que no son especificados por el fabricante. Clasificaremos los fallos en 3 partes fallos de nivel crítico, fallos importantes y fallos tolerables.

Los fallos de nivel crítico son los que ocasionaran daños a la seguridad y medio ambiente. Estos tipos de fallos ocasionan una parada de planta en la empresa lo que ocasiona un costo elevado a la empresa, el cual no estaba prevista.

Los fallos importantes son los que al comienzo no generan ninguna consecuencia de nivel crítico, es decir, que puede haber accidentes graves pero la probabilidad



que ocurra es muy baja, también existe una probabilidad muy baja de que ocurra una parada de planta en la empresa, y el costo es aceptable en la empresa.

Los fallos tolerables tienen baja probabilidad de ocasionar accidentes que afecten a la producción, baja probabilidad que afecte a la seguridad y medio ambiente, los costos de reparación son muy bajos. (Mescua, Raul; Li, 2016)

f) Fase 5: Determinación de las medidas preventivas

Una vez que tengamos identificado los modos de fallos y sus consecuencias, podremos determinar las medidas preventivas para evitar que vuelvan a ocurrir y reducir sus efectos. Seleccionaremos tácticas de mantenimiento que nos ayudaran a gestionar eficientemente los fallos, el RCM destaca las ventajas del mantenimiento predictivo frente a tácticas de reparación. Existen cinco medidas preventivas las cuales mencionaremos a continuación. (Mescua, Raul; Li, 2016)

- Tareas de mantenimiento rutinario:

Son los que minimizan los fallos y mayormente mente se realizan diariamente entre estas tenemos a las inspecciones visuales, lubricación, verificaciones con las herramientas de la misma máquina, verificaciones con herramientas ajenas a la máquina, limpieza, ajustes y cambios de partes.

Antes de realizar el mantenimiento rutinario es muy importante conocer la criticidad de los efectos de fallo y decidir que tareas de mantenimiento rutinario aplicamos.

- Mejoras en el equipo e instalación:

Se pueden realizar bastantes mejoras en los equipos, pero los más comunes son, cambio de diseño de una instalación, instalación de sistemas, cambios



en el diseño de las partes, cambios en los materiales, cambios en las condiciones de operación del equipo, entre otros.

- Cambios en los procedimientos de operación:

En esta medida se obtendrá los mejores resultados de la generación de fallos y a un muy bajo costo que beneficiará a la empresa.

- Cambios en los procedimientos de mantenimiento:

Mayormente los fallos que se producen es por el mas accionar de los trabajadores, para que estos fallos no ocurran todos los trabajos deben de contar con procedimiento escrito de trabajo detallado de la actividad que se va a realizar.

- Formación de personal:

Es importante que el personal que labora en la empresa este correctamente formado y este constantemente capacitado para que puedan evitar un fallo, para esto se debe de contar con un plan programado de formación de acuerdo a las labores de cada colaborador.

g) Fase 6: Agrupación de medidas preventivas según criticidad

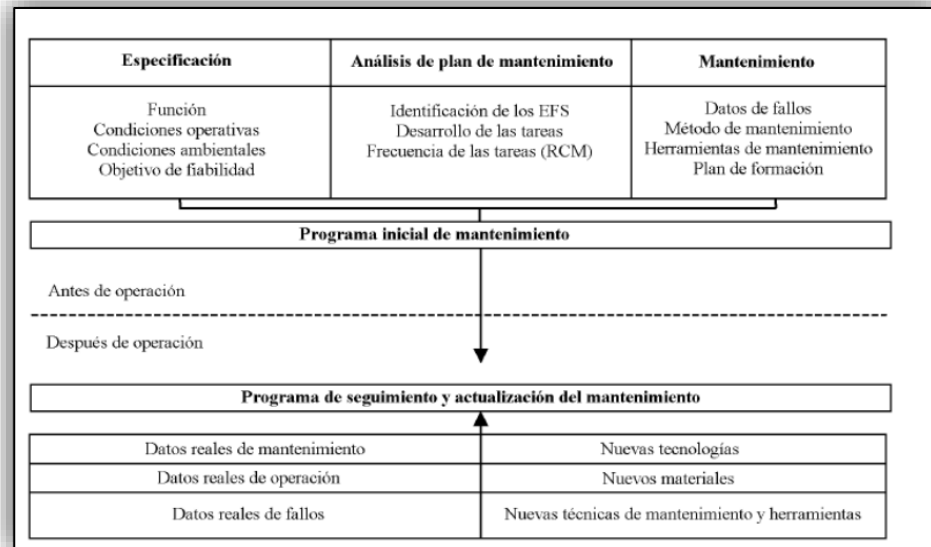
Se deberán ejecutar las tácticas de mantenimiento determinando acciones y recursos necesarios, la agrupación de medidas preventivas se dará en plan de mantenimiento que lo conforma el grupo de tareas de mantenimiento. (Mescua, Raul; Li, 2016)

h) Fase 7: Puesta en marcha del plan del mantenimiento

Aquí se implementará el nuevo plan de mantenimiento que contendrá las nuevas medidas preventivas, pero antes de implementar el nuevo plan de mantenimiento se tendrá que revisar una última vez por si se hubiera olvidado algún punto.

Para comenzar con el nuevo plan de mantenimiento se debe contar con el personal necesario para que lo ejecute, contar con los recursos necesarios y todas las facilidades necesarias que lo requieran. (Cárcel, 2016)

Figura 8: Evolución de un programa dinámico de mantenimiento RCM



Fuente: (Cárcel, 2016)

2.5 CAMIÓN VOLQUETE FMX

Según el MTC el camión es un vehículo automotor de la categoría N2 o N3 con excepción del remolcador (Tracto remolcador), diseñado exclusivamente para transportar mercancías sobre sí mismo, con un peso bruto vehicular mayor a 3.5 toneladas. Debe incluir una carrocería o estructura portante.

Un camión tiene las siguientes partes, una cabina en la parte frontal, un chasis posterior semidesnudo a la espera del montaje de algún tipo de carrocería, la carrocería se colocará de acuerdo al trabajo que realizará el camión, podría realizar trabajos como cisterna, volquete, grúa, compactador, etc. (Castillo, 2017)

Figura 9:Partes de un Volquete FMX



Fuente:(Castillo, 2017)

2.5.1 Camión volquete

Un camión es un carro usado en para distintas obras, que se encuentra conformado por un cajón que se puede vaciar girando sobre el eje cuando se quita un pasador que lo sujeta a las varas. Según la Real Academia de la Lengua Española es un vehículo automóvil provisto de una caja articulada, con un dispositivo mecánico que permite volcarla para vaciar la carga.

Es un vehículo a motor que está diseñado para transportar productos y mercancías. La diferencia que se encuentra con los autos, es que estas suelen tener una construcción monocasco, la mayoría de estos se construyen sobre una estructura resistente llamada chasis.(Castillo, 2017).

Los camiones constituyen el medio de transportes de mercancías más habitual debido a las visibles ventajas que este proporciona, como, por ejemplo, la reducción de los costes, la accesibilidad, correcta conservación de los productos y la seguridad de entrega de los productos, entre otros demás beneficios que este otorga. (Castillo, 2017)



2.5.2 Partes de un camión

En la actualidad la mayoría de los camiones comparten una construcción común, la mayoría de estos están compuestos por un motor, una cabina, chasis, una zona para colocar la carga, ejes, suspensiones y neumáticos. Muchos camiones en la actualidad cuentan con un sistema que los ayuda a remolcar uno o varios remolques.

Enseguida mencionaremos las partes importantes de un camión.

2.5.2.1 Motor con suspensión y equipos

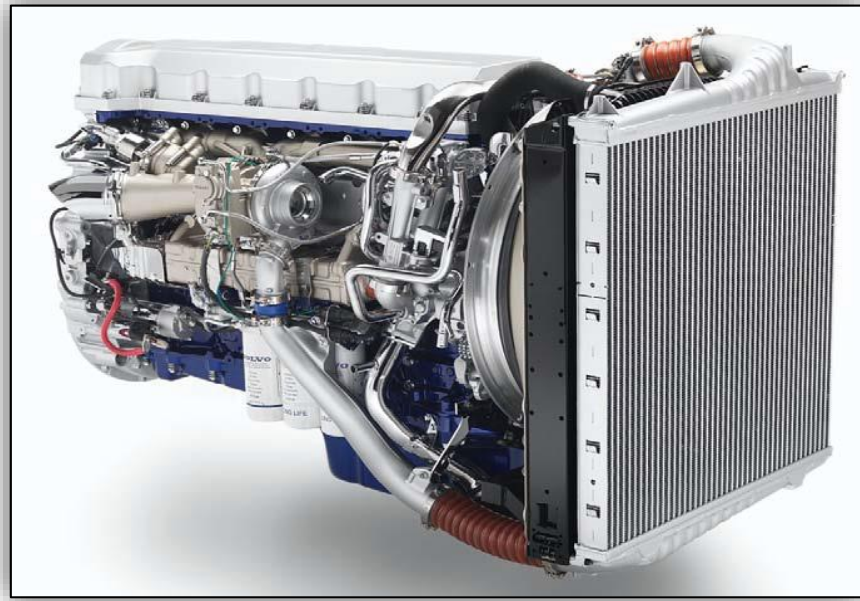
El motor es la parte sistemática del camión que es capaz de hacer funcionar el sistema, transformando energía de combustibles fósiles en energía mecánica capaz de realizar un trabajo.

La función principal del motor con suspensión es la de suspender y absorber los golpes y movimientos bruscos que produce el camión por efectos de las irregularidades que exista en el camino, así de esta forma proporciona una marcha estable y segura en el vehículo. También la suspensión mantiene la altura adecuada del coche, los neumáticos se mantienen alineados, soportan el peso del auto y controla la dirección del viaje. (VOLVO, 2016)

los principales sistemas del motor son:

- Motor
- Sistema de lubricación y engrase
- Sistema de combustible
- Sistema de admisión y escape
- Sistema de refrigeración
- Mandos del motor
- Sistema de encendido y regulación

Figura 10: Motor con suspensión



Fuente: (Volvo FMX, 2015)

2.5.2.2 Sistema eléctrico e instrumentos

El sistema eléctrico cumple 3 funciones muy importantes para el uso del camión, primeramente, suministra energía al sistema de chispa, en segundo lugar, arrancar el motor del camión y por ultimo brindar energía eléctrica a las luces, sensores, equipo de sonido, claxon y otros accesorios. (VOLVO, 2016)

Las principales partes del sistema eléctrico son:

- Baterías
- Alternador y regulador
- Motor de arranque relés
- Iluminación
- Equipo eléctrico diverso
- Cables y fusibles

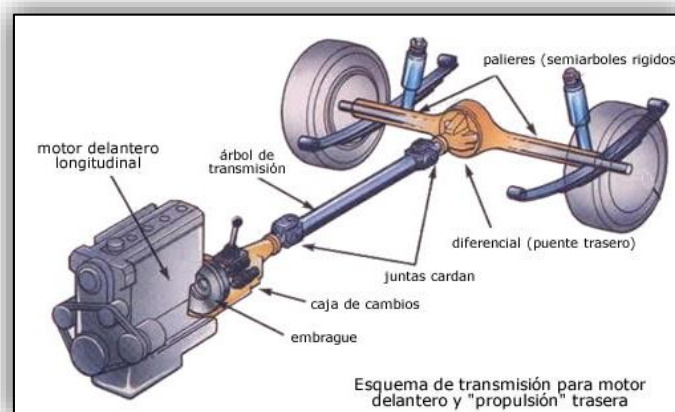
2.5.2.3 Transmisión

La función del sistema de transmisión es que llegue a las ruedas motrices la potencia y el movimiento necesario para que el volquete funcione. (VOLVO, 2016)

Las principales partes del sistema de transmisión son:

- Caja de cambios
- Embrague
- Palanca de cambios
- Bloqueo de diferencial
- Tubos de enfriador caja de cambios
- Cilindro de embrague

Figura 11: Esquema de transmisión para motor delantero y propulsión trasera



Fuente: (VOLVO, 2016)

2.5.2.4 Frenos

Los frenos del motor nos sirven para dar fuerza de oposición al movimiento presente en el motor, para que pueda disipar la energía que el mismo genera y así poder frenar el vehículo en movimiento. (VOLVO, 2016)

Las principales partes del sistema de frenos son:

- Compresor de aire
- Freno de aire
- Pedal de freno y montaje
- Tuberías de aire de freno
- Válvulas de freno

Figura 12: Freno volvo FMX



Fuente: (Volvo FMX, 2015)

2.5.2.5 Suspensión de ruedas y dirección

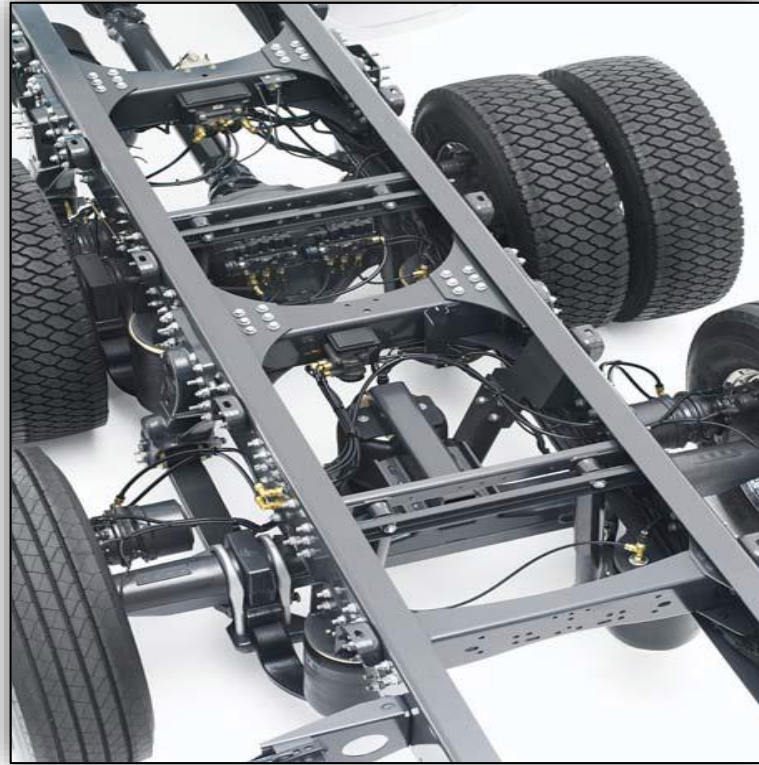
El sistema de suspensión del volquete nos sirve para mantener las ruedas en contacto con el suelo, absorbiendo las vibraciones generadas en el camino y el movimiento provocado por las ruedas en el movimiento del vehículo, para que estos golpes no se transmitan en el bastidor. (VOLVO, 2016).

Las principales partes del sistema de suspensión son:

- Suspensión de ruedas delanteras
- Eje delantero
- Columna de dirección
- Engranaje de dirección

- Volante
- Suspensión de ruedas traseras

Figura 13: Suspensión de ruedas y dirección



Fuente: (Volvo FMX, 2015)

2.5.2.6 Bastidor, suspensión, amortiguadores y ruedas

Las principales partes del sistema de amortiguadores son:

- Bastidor
- Travesaño
- Amortiguador
- Barras antivuelco
- Ruedas delanteras y traseras

2.5.2.7 Carrocería, cabina e interior

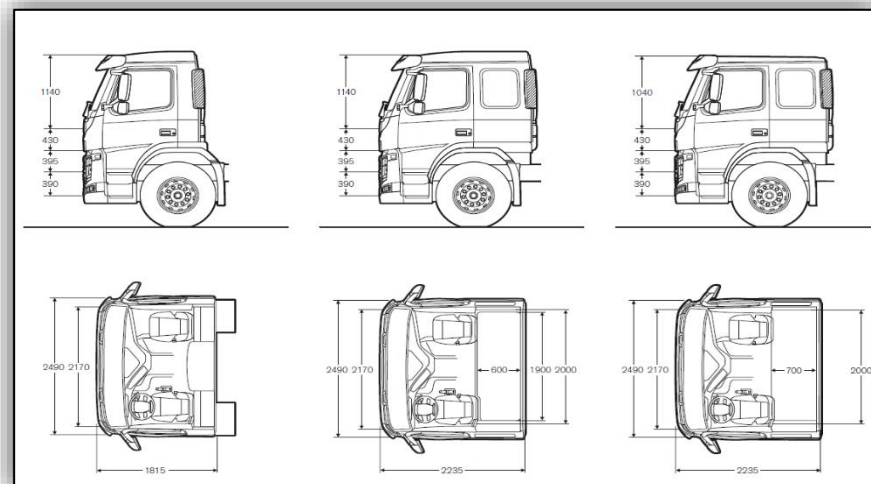
La carrocería de los vehículos es la parte en donde reposan los pasajeros o la carga. En vehículos auto portantes, la carrocería sujeta además los elementos mecánicos del vehículo.

Las cabinas de los camiones modernos son bastantes confortables, disponen de climatización, aislamientos acústicos y contra vibraciones esto debidamente a que las distancias que recorren son bastante largas. (VOLVO, 2016)

Las principales partes del sistema de carrocería son:

- Armazón de la cabina
- Puertas y compuertas
- Equipo interior
- Equipos de protección

Figura 14: Carrocería interior



Fuente: (VOLVO, 2016)



2.5.3 Clases y tipos de camiones

Existen diferentes clases de camiones a continuación los mencionaremos según su tamaño.

2.5.3.1 Según su tamaño

En la actualidad existen diferentes tamaños de vehículos en todas las industrias, a continuación, mencionaremos los camiones según el tamaño que tengan. (Castillo, 2017)

a) Ligeros:

La capacidad aproximada de los camiones ligeros está comprendida entre los 500 Kg hasta 2.5 toneladas, el tipo de combustible que utilizan para moverse es gasolina o diésel.

b) Livianos:

La capacidad de los camiones livianos está comprendida entre 3.5 y 4.5 toneladas, son ligeramente más largos que los ligeros y un poco más angostos el combustible que utiliza es diésel.

c) Semilivianos:

La capacidad de los camiones semilivianos está comprendida entre 3.5 y 4.5 toneladas, son más anchos que los livianos y un poco más largos el combustible que utiliza es el diésel.

d) Medianos:

La capacidad de los camiones medianos está comprendida entre 4.5 y 5.5 toneladas, son muy parecidos a los semilivianos, la diferencia se encuentra en el chasis, el motor diésel que lleva este camión es más potente y dispone con frenos de aire comprimido y de motor.

e) Semipesados:



La capacidad de los camiones semipesados está comprendida entre 5.5 y 7.5 toneladas, son usados mayormente para el transporte de carga por carretera y distribución de productos, cuenta con motores diésel más potentes, utilizan frenos de aire y de motor /ahogo.

f) Pesados:

La capacidad de los camiones pesados está comprendida entre 7.5 y 9 toneladas, las llantas son de mayor tamaño, cuentan con un motor diésel de 7 u 8 velocidades, un chasis más largo.

g) Extra pesados:

La capacidad de los camiones extra pesados está comprendida entre 9 y 11.5 toneladas, son utilizados para el transporte de mercancías a distancias un poco cortas, cuenta con un motor diésel de 6 cilindros.

h) Mega pesados:

La capacidad de los camiones mega pesados está comprendida entre 9 y 11.5 toneladas, son similares a los camiones extra pesados, pero estos son más potentes, tienen cajas mecánicas o automáticas de hasta 12 velocidades.

i) Tera pesados:

La capacidad de los camiones Tera pesados está comprendida entre 16 y 20 toneladas, estos camiones vienen en diferentes modelos y versiones según lo exija el mercado, los más usados son el modelo 6x2, dispuesto con 6 ejes delanteros y 1 trasero y el modelo 6x2 II, dispuesto con un eje delantero y 2 traseros.

j) Ultra pesados:

La capacidad de los camiones ultra pesados está comprendida entre 20 y 23 toneladas, cuentan con doble eje y una tracción de 6x4, estos camiones pueden ser largo, medio y corto.



k) Giga pesados:

La capacidad de los camiones Giga pesados está comprendida entre 23 y 26 toneladas.

l) Súper pesados:

La capacidad de los camiones Súper pesados está comprendida entre 40 y 250 toneladas, se emplean para cargar y arrastrar, ya que se mide la capacidad del cargue y del arrastre, su potencia es de 1200 Hp, necesitan ayudas eléctricas, electrónicas e hidráulicas para suplir de frenado y electricidad al conjunto.

2.5.3.2 Según su categoría

En Europa lo clasifican en 3 categorías: (Castillo, 2017)

- M es usado para transportar personas
- N es usado para transportar mercancías
- O es usado para remolques y semirremolques

Así mismo la categoría N se subdivide en otros 3 subniveles los cuales son:

- N1-MMA hasta 3500 Kg.
- N2- MMA superior a 3500 Kg y hasta 12000 Kg.
- N3-MMA superior a 12000Kg

2.5.3.3 Por el tipo de rueda

Los camiones se clasifican en 2 subniveles de acuerdo al tipo de rueda y los mencionaremos a continuación: (Castillo, 2017)

- **De artillería:** En este tipo de camión se caracteriza por reemplazar el neumático sin la necesidad de desmontar toda la rueda y suelen poseer 5 o 6 radios.



- **Tipo Campana:** Este modelo de camión es el más usado en Europa ya que posee 12 agujeros donde ingresan los pernos de sujeción, los camiones más pequeños son muy parecidos, con la diferencia que estos solo poseen 6 pernos de sujeción.

2.5.3.4 Según su uso

Aquí encontraremos distintos tipos de camiones según al uso al que se les da, a continuación, mencionaremos algunos de estos: (Castillo, 2017)

- Camión plataforma: Es usado para transportar distintos tipos de carga.
- Camión autobús: Es usado para transportar personas.
- Basculante: lo caracteriza su bandeja de carga basculante y fija al chasis.
- Blindado: Son usados para transportar dinero y objetos valiosos de empresas bancarias de una ciudad a otra.
- Botellero: Son usados generalmente para el transporte de botellas con contenido líquido en ellas.
- Capitoné: Son usados mayormente para realizar mudanzas ya que cuenta con una caja cerrada acolchonada el cual protege objetos delicados.
- Cilindrero: Son usados para transportar cilindros de gas.
- Cisterna: Estos camiones son usados para transportar todo tipo de líquidos como, agua, gases, combustible o algunas sustancias pulverulentas.
- Compactador de basura: Se usan para el recojo de residuos orgánicos e inorgánicos.
- Camión de bomberos: Son usados por la compañía de bomberos para apagar incendios en las ciudades.
- Camión grúa: Se usan para realizar izaje y transporte de cargas.



- Camión refrigerado o frigorífico: Son utilizados mayormente en la industria alimentaria, ya que ayuda a transportar productos que son fácilmente perecibles al calor.
- Camión tolva: Generalmente son usados para transportar sacos de algún producto de primera necesidad, cemento, etc.
- Camión Volquete: Son utilizados para transportar material particulado, cuenta con la particularidad de verter su carga hacia la parte de atrás.
- Tracto camión: Este camión es usado mayormente para remolcar otros vehículos, también se le conoce con el nombre de tráiler:
- Tren de carretera: Es un vehículo que fue diseñado para arrastrar un remolque.

2.5.4 Camión volquete FMX

Los camiones FMX han ido sufriendo cambios beneficiosos durante el tiempo que se encuentra en el mercado, todos los elementos del camión FMX fueron mejorando en este tiempo, la barra de protección es más resistente, el dispositivo de remolque central está hecho de hierro forjado y puede remolcar hasta 32 toneladas, los parachoques de acero recubierto de polipropileno están fabricado para soportar casi cualquier cosa, es diseñado perfectamente para la construcción y la minería. (VOLVO, 2016).

Figura 15: Camión Volvo FMX



Fuente: (Volvo FMX, 2015)

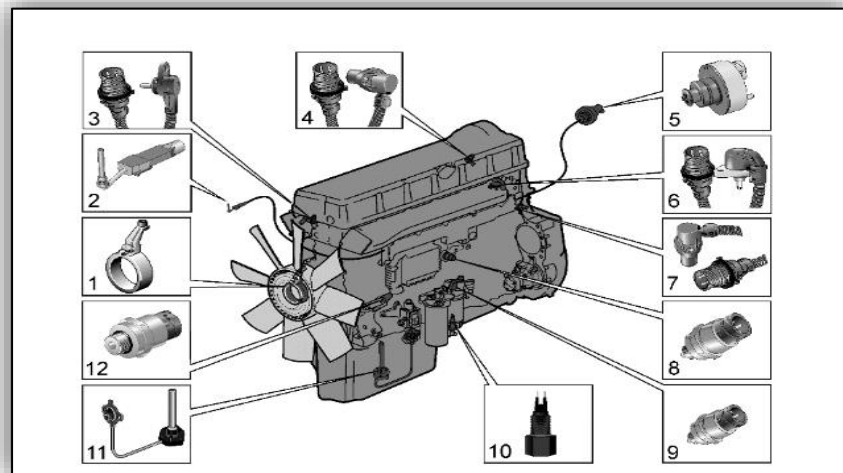
2.5.4.1 Características del camión volvo FMX

- a) **Dirección dinámica volvo:** Reduce las vibraciones y los sobresaltos cuando se está manejando en superficies irregulares, las maniobras de reversa son más sencillas de realizar y se reduce la resistencia del volante hasta 70%.
- b) **I-Shift:** También conocido como la caja de cambios que hace más sencilla la conducción y permite que sea segura y cómoda. Cada cambio de velocidad tiene una coordinación perfecta.
- c) **Dispositivo de remolque:** El volvo FMX cuenta con un gancho de hierro que tiene la capacidad de remolcar hasta 32 toneladas.
- d) **Sistemas de asistencia al conductor:** Fueron diseñados para que los conductores se sientan más seguros al momento de realizar un trabajo, los sistemas de asistencia al conductor avanzados reducen mucho los accidentes. Entre estos sistemas tenemos.
 - Freno de extensión



- Luz de freno de emergencia
 - Sistema para cambio de carril
 - Programa electrónico de estabilidad y
 - Control de crucero adaptable y la advertencia de colisión con el sistema de freno de emergencia.
- e) **Suspensión neumática trasera:** brinda mayor comodidad al conducir y hace posible variar la altura sobre el suelo, esto facilita la adaptación del chasis para aplicaciones como capas de asfalto o volquetes.
- f) **Parte delantera:** La parte delantera del volquete FMX cuenta con un parachoques de acero resistente a escombros, cuenta también con una capa gruesa de recubrimiento de polipropileno que protege el parachoques.
- g) **Motores diésel de volvo:** El motor cuenta con un ahorro de combustible incorporado, una excelente torsión a niveles muy bajos, un freno de motor patentado usa un diseño de árbol de leva exclusivo para absorber hasta 300 Kw (510 hp) en D13.
- h) **Sensores del motor:** A continuación, mostraremos un cuadro general con las ubicaciones de los distintos sensores del motor y su apariencia.

Figura 16: Sensores del motor



Fuente: (Volvo FMX, 2015)

1. Sensor de régimen, ventilador / electro válvula para activación del ventilador.
2. Sensor para nivel de refrigerante.
3. Sensor para temperatura de refrigerante.
4. Sensor del árbol de levas, posición de motor.
5. Sensor para temperatura de admisión/ indicador de filtro de aire.
6. Sensor para presión de carga/ temperatura del aire de admisión.
7. Sensor de régimen, volante.
8. Sensor de la presión de aceite.
9. Sensor para presión de alimentación, combustible.
10. Sensor para separador de agua/indicador de agua.
11. Sensor para el nivel de aceite/temperatura de aceite.
12. Sensor para presión en el Carter del cigüeñal.



- i) **Trato de combustible:** El volvo FMX al contar con paquetes de combustible de larga distancia ayuda a reducir los costos de combustible y las emisiones debería ser una tarea fácil y también ayuda a reducir el impacto medioambiental.
- j) **Vehículos de 5 ejes:** Ahora los volvos FMX ya pueden venir equipado de fábrica, con 5 ejes, listo para realizar los trabajos más arduos.
- k) **Levantamiento del eje TANDEM:** El levantamiento del eje TANDEM ayuda a ahorrar combustible, mejora la tracción. El levantamiento del eje tándem le permite desenganchar y elevar uno de los ejes motrices, lo que proporcionara la tracción y la capacidad de carga de una tracción de eje TANDEM, con la capacidad de conducción y la eficacia de un vehículo con eje motriz único.
- l) **Control automático de tracción:** Cuando una superficie se encuentra resbaladiza, el control automático de tracción se activa y desactiva de forma automática. Los sensores en las ruedas traseras detectan cuando el vehículo esta perdiendo tracción y la tracción en todas se activa instantáneamente. Un embrague de garras luego transfiere la potencia al eje delantero motriz y el camión continua sin perder torsión ni velocidad.
- m) **Tracción en todas las ruedas:** La tracción en todas las ruedas es diferente a todos los demás camiones, su potencia generada es ideal para transitar por pantanos, lodo, arena y colinas empinadas. El nuevo eje delantero motriz está diseñado para una alta torsión y cargas pesadas.
- n) **Ejes múltiples dirigibles:** Los ejes impulsores de accionamiento hidráulico le permiten lograr círculos de giro sorprendentemente pequeños.

2.5.4.2 Perturbaciones en el funcionamiento

En la siguiente tabla mostraremos las perturbaciones que afectan al volquete FMX.

- **MID:** Message Identification Description (identificación de unidad de mano)



- **PID:** Parameter Identification Description (identificación de parámetro (valor))
- **PPD:** Proprietary Parameter Identification Description (identificación única de Volvo de parámetro (valor))
- **SID:** Subsystem Identification Description (identificación de componente)
- **PSID:** Proprietary Subsystem Identification Description (identificación de componente única de volvo)
- **FMI:** Failure Mode Identifier (identificación del tipo de error)

Tabla 1: Perturbaciones en el funcionamiento

Código de error	Componente/función	FMI	Seccion
MID 128 PID 26	Régimen del ventilador, porcentaje	3,8	"MID 128 PID 26 porcentaje de velocidad del ventilador"
MID 128 PID 45	Pre calentamiento, estado	3,4,5	"MID 128 PID 45 elemento de arranque estado relé"
MID 128 PID 49	Estado ABS	9	"MID 128 PID 49 control de estado del ABS"
MID 128 PID 84	Velocidad del vehículo	9,11	"MID 128 PID 84 velocidad del vehículo"
MID 128 PID 85	Estado del programador de velocidad	9	"MID 128 PID 85 Programador de velocidad estado del interruptor"



(continuación...)

MID 128 PID 91	Posición del pedal del acelerador	9,11	"MID 128 PID 91 pedal del acelerador posición porcentual"
MID 128 PID 94	Presión de alimentación, combustible	3,4,7	"MID 128 PID 94 presión de alimentación combustible"
MID 128 PID 97	Indicador de agua en el combustible	3,4,14	"MID 128 PID 97 agua en el indicador combustible "
MID 128 PID 98	Nivel de aceite del motor	1,4,5	"MID 128 PID 98 nivel de aceite del motor"
MID 128 PID 100	Presión de aceite de motor	1,3,4	"MID 128 PID 100 presión de aceite de motor"
MID 128 PID 102	Presión de carga	3,4	"MID 128 PID 102 presión de carga"
MID 128 PID 105	Temperatura del aire de admisión	3,4	"MID 128 PID 105 temperatura del aire de admisión"



(continuación...)

MID 128 PID 107	Presión del diferencial, filtro de aire	0,3,4,5	"MID 128 PID 107 caída de presión del filtro de aire"
MID 128 PID 108	Presión atmosférica	3,4	"MID 128 PID 108 presión atmosférica"
MID 128 PID 110	Temperatura de refrigerante	0,3,4	"MID 128 PID 110 temperatura de refrigerante"
MID 128 PID 111	Nivel de refrigerante	1,3,4	"MID 128 PID 111 nivel de refrigerante"

Fuente: (Volvo FMX, 2015)

Tabla 2: Perturbaciones en el funcionamiento

Código de error	Componente/función	FMI	Seccion
MID 128 PID 153	Presión del Carter de cigüeñal	0,3,4	"MID 128 PID 153 presión del Carter "
MID 128 PID 158	Tensión de batería	3,4	"MID 128 PID 158 tensión de batería"
MID 128 PID 172	Temperatura de aire, admisión	3,4	"MID 128 PID 172 temperatura del aire entrada "



(continuación...)

MID 128 PID 175	Temperatura de aceite de motor	0,3,4	"MID 128 PID 175 temperatura de aceite "
MID 128 PID 224	Bloqueo de arranque electrónico	2,12	"MID 128 PID 224 inmovilizador electrónico "
MID 128 PID 228	Factor K	11	"MID 128 PID 228 factor K "
MID 128 PPID 119	Temperatura de refrigerante	0	"MID 128 PPID 119 temperatura de refrigerante"
MID 128 PPID 122	Freno de compresión VCB	1,3,4,5	"MID 128 PPID 122 freno de compresión VCB "
MID 128 PPID 123	Aire del amortiguador TC	3,4,5	"MID 128 PPID 123 aire del amortiguador del TC "

Fuente: (Volvo FMX, 2015)



CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO

La Cooperativa Minera Santiago de Ananea LTDA. Se encuentra ubicada en el departamento de Puno, provincia de San Antonio de Putina, distrito de Ananea, esta ciudad se encuentra a 4650 msnm. Con las siguientes coordenadas $14^{\circ}40'40''$ de latitud sur y $69^{\circ}31'56''$ de latitud oeste.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

- **Población**

Para el presente proyecto de investigación la población a considerar será la planta de producción de la Cooperativa Minera Santiago de Ananea LTDA.

- **Muestra**

Tomaremos como muestra 2 camiones FMX de la Cooperativa Minera Santiago de Ananea LTDA.

La primera muestra será para determinar como el mantenimiento productivo total (TPM) afecta en la mejora de la eficiencia de los camiones FMX.

La segunda muestra será para determinar como el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) afecta en la mejora de la eficiencia de los camiones FMX.

En la siguiente tabla se muestra los datos de los 2 volquetes que se utilizaran como muestra en esta investigación.

Tabla 3: Muestra de la investigación

CAMION VOLQUETE FMX Muestra 1: Mantenimiento Productivo total (TPM)	FMX 6x4 R Marca Volvo Semiroquero	Año 2016 Capacidad de carga 20 Tn (15 m3)	Numero de chasis: 93KXSW0DXGE840509 Numero de motor: D13*903644*A3*E
CAMION VOLQUETE FMX Muestra 2: Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)	FMX 6x4 R Marca Volvo Semiroquero	Año 2016 Capacidad de carga: 20 Tn (15 m3)	Numero de chasis: 93KXSW0D9GE840510 Numero de motor: D13*903647*A3*E

Elaboración Propia

3.3 METODOLOGÍA

Para el siguiente proyecto de investigación usaremos la investigación correlacional cuantitativa el cual nos permitirá comparar el grado de relación que existen en nuestras variables.

Es un tipo de estudio que tiene como propósito evaluar la relación que existe entre dos o más conceptos, categorías o variables (en un contexto en particular). Los estudios cuantitativos correlacionales miden el grado de relación entre esas dos o más variables (cuantifican relaciones). (Hernández, Roberto; Fernandez, Carlos; Baptista, 2014).



Para realizar el presente proyecto de investigación aplicamos el diseño de un grupo con pre prueba y post prueba, evaluaremos los efectos de tratamiento comparando los 2 métodos de mantenimiento para llegar a los resultados deseados:

$$O1 \rightarrow X \rightarrow O2 \quad (2)$$

X: Muestra control

O1: observación del mantenimiento productivo total

O2: Observación del mantenimiento centrado en confiabilidad

3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTACIÓN DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1 Técnicas

Para el presente proyecto de investigación utilizaremos la técnica documental y técnica de campo.

- a) Técnica documental: La técnica de análisis documental; utilizando como instrumentos de recolección de datos de fuentes documentales fichas textuales y de resumen; recurriendo como fuentes a libros especializados, documentos oficiales e internet en este caso haremos la recolección de datos de la Cooperativa Minera Santiago LTDA. La técnica documental permite la recopilación de técnicas de procesamiento de datos, evidencias para demostrar la hipótesis de la investigación.
- b) Técnica de campo: La técnica de campo nos permite la observación directa con el objeto de estudio y el acopio de testimonios que permitan crear herramientas para la mejora continua y confrontar la teoría con la práctica en la búsqueda de la verdad.



3.4.1 Instrumentos

Utilizaremos la información brindada por el taller de mantenimiento de la Cooperativa Minera Santiago LTDA. Como fuente de información, el cual nos proporcionara registros de fallas y paradas del camión volquete FMX, el taller de mantenimiento también proporcionara los tiempos de operación de los equipos, estos datos lo usaremos con el objeto de analizar el comportamiento y la efectividad que ofrecen estos. También utilizaremos una guía de observación para determinar las posibles fallas, encontradas en el camión FMX.

También usaremos observación directa en las labores que se desarrollaran diariamente en el taller de mantenimiento gestionando todos los recursos disponibles siguiendo los protocolos establecidos.

Los instrumentos de recolección de datos se encuentran visualizados en los anexos 1 al 7 en el capítulo de Anexos.

3.4.2 Procedimiento de recolección de datos

Para este punto no hemos diseñado nuevos instrumentos de recolección, se ha modificado y actualizado todos los procedimientos, matrices, instructivos y formatos del sistema integrado de gestión del área de equipos de la empresa.

3.4.3 Instrumentos de análisis documental

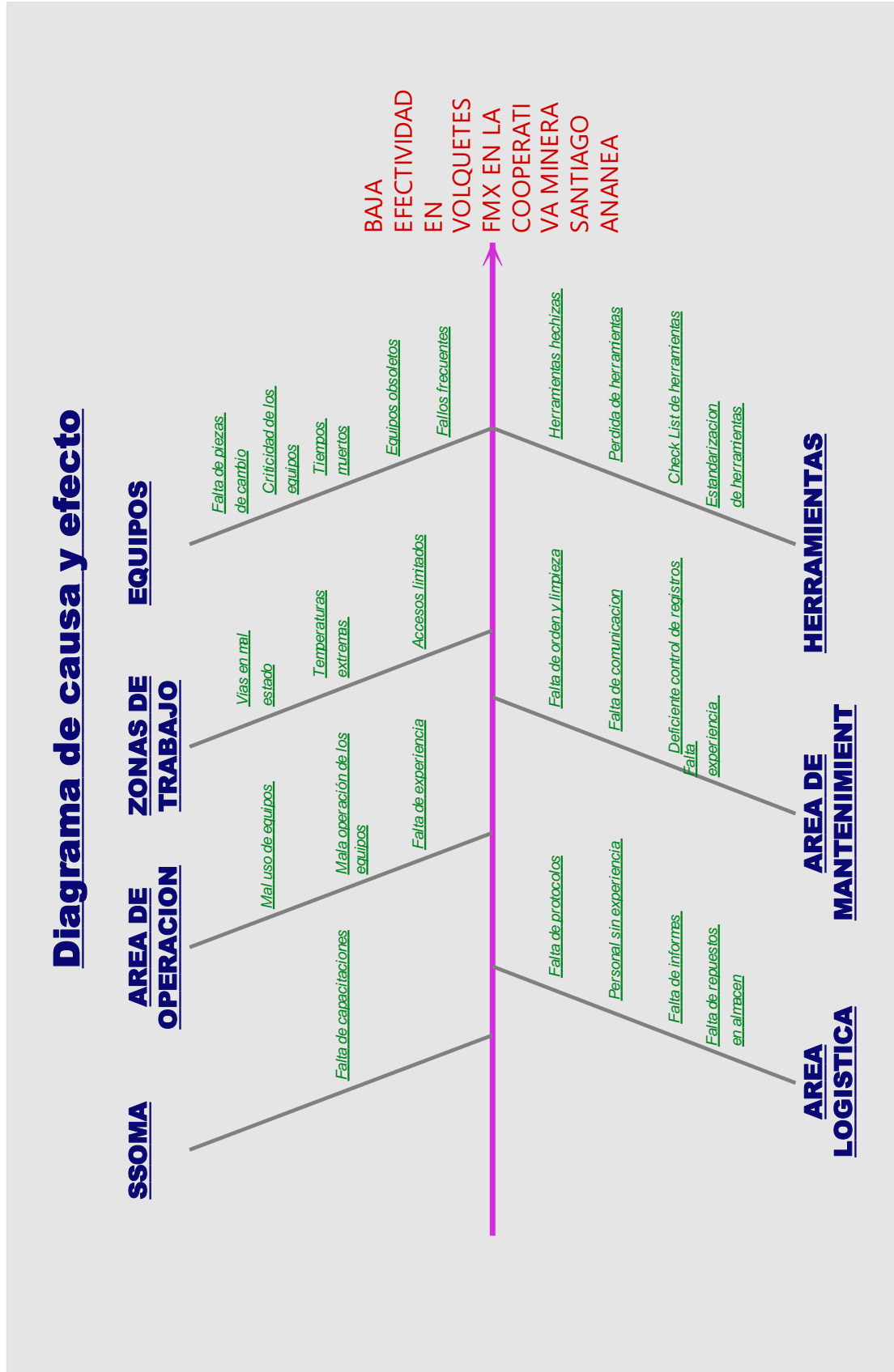
Figura 17: Formato de reporte de fallas

		FORMATO DE REPORTE DE FALLAS	
		Fecha: 01 Enero 2020	
EQUIPO			
COMPONENTE			
FECHA DE PARADA		HORA DE PARADA	
FECHA DE ARRANQUE		HORA DE ARRANQUE	
FALLAS DEL VEHICULO			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
ENCARGADOS DE LA INSPECCION			
APELLIDOS Y NOMBRES		DNI	FIRMA
OPERADOR:			
MECANICO:			
OBSERVACIONES:			

Elaboración Propia

3.5 DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO

Figura 18: Diagrama de causa efecto



Elaboración propia

3.6 IDENTIFICACIÓN DE FALLAS EN VOLQUETES FMX.

En el siguiente cuadro se procede a identificar las fallas más comunes y frecuentes en los volquetes FMX en los meses de junio, julio, agosto, setiembre y octubre del año 2020.

En el cuadro también se muestra el número de fallas frecuentes, la frecuencia relativa y la frecuencia acumulada que nos ayudara a realizar un buen análisis de fallas.

Tabla 4: Identificación de fallas de Volquetes FMX

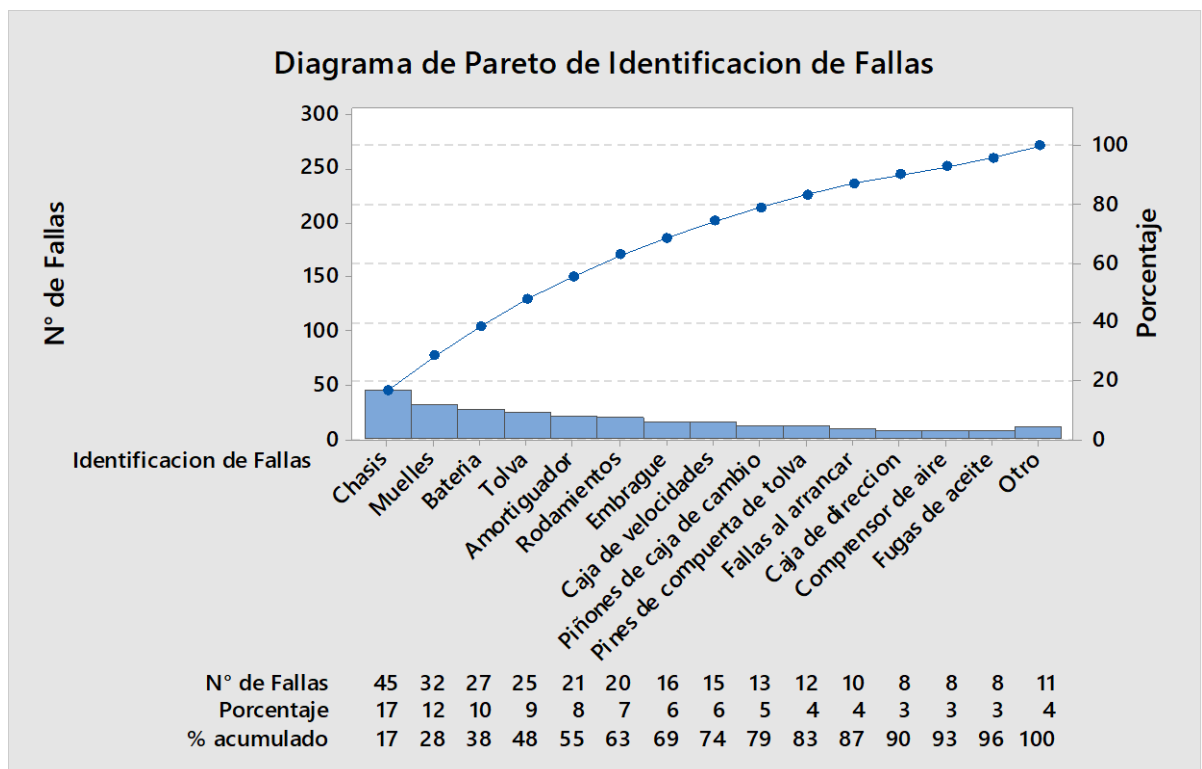
Identificación de Fallas	N° de Fallas	Frecuencia Relativa de Fallas	Frecuencia acumulada de Fallas
Chasis	45	17%	17%
Muelles	32	12%	28%
Batería	27	10%	38%
Tolva	25	9%	48%
Amortiguador	21	8%	55%
Rodamientos	20	7%	63%
Embrague	16	6%	69%
Caja de velocidades	15	6%	74%
Piñones de caja de cambio	13	5%	79%
Pines de compuerta de tolva	12	4%	83%
Fallas al arrancar	10	4%	87%
Compresor de aire	8	3%	90%
Caja de dirección	8	3%	93%
Fugas de aceite	8	3%	96%

(continuación...)

Falla en el cardan	6	2%	98%
Freno de motor	5	2%	100%
Total	271	100%	

Fuente: Elaboración Propia

Grafico 1: Diagrama de Pareto de identificación de fallas



Elaboración Propia

3.7 DETECCIÓN DE FALLAS TÉCNICAS Y FUNCIONALES EN CAMIONES FMX

Las fallas que se mostraron en la tabla 4 se deben a ciertas fallas técnicas y funcionales que a continuación vamos a verlas, estas fallas que se originan son las causantes de deterioros, desperfectos que ocasionan a los volquetes FMX.

- Desconocimiento del camión volquete por parte del operador.



- Falta de inspección de los volquetes por parte del operador.
- Falta de repuestos críticos en el almacén.
- Falta de programas de mantenimiento anuales.
- Falta de control en los tiempos de mantenimientos programados.
- Zonas de trabajo en mal estado.
- La cobertura de comunicación móvil es muy baja.
- Falta de inspecciones diarias por parte de los mecánicos.
- Mal estudio de la vida útil de piezas y componentes.
- Mala evaluación del análisis de aceite.
- Mal control de tiempos en los mantenimientos programados.
- Mal control de tiempos de reparación entre fallas de emergencia.
- Mejorar el soporte técnico

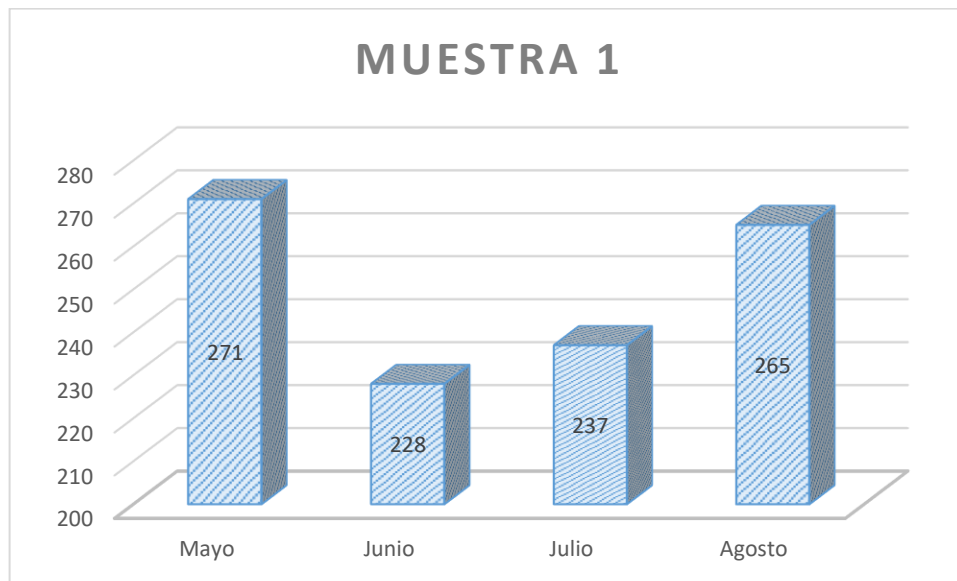
3.8 DIAGRAMA DE PARETO PARA PROMEDIO DE FALLAS POR MES.

Tabla 5: Fallas antes de aplicar el TPM

Antes de aplicar el TPM				
Mes	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Promedio de fallas:				
Muestra 1				
volquete FMX				
D13*903644*A3*E	271	228	237	265

Elaboración Propia

Grafico 2: Promedio de numero de fallas en volquete FMX D13*903644*A3*E



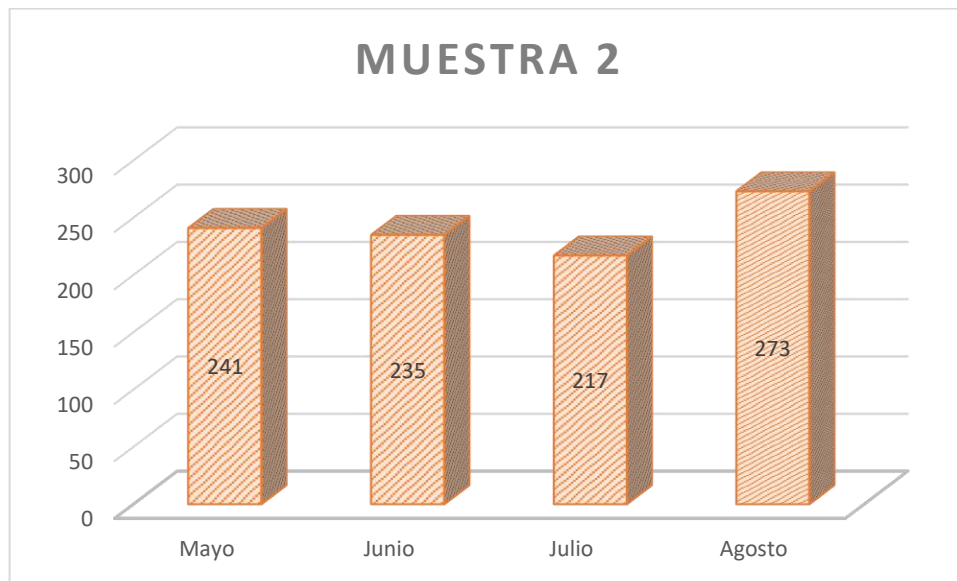
Elaboración Propia

Tabla 6: Fallas antes de aplicar el RCM

Antes de aplicar el RCM				
Mes	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Promedio de fallas				
Muestra 2				
Volquete FMX				
D13*903647*A3*E	241	235	217	273

Elaboración Propia

Grafico 3: Promedio de numero de fallas en el volquete FMX D13*903647*A3*E



Elaboración Propia

3.9 TIEMPO PROMEDIO PARA FALLAS

El tiempo promedio entre fallas nos muestra la probabilidad de que un equipo cumpla satisfactoriamente sus funciones para la cual ha sido diseñada, bajo ciertas condiciones y en un tiempo determinado.

$$MTBF = \frac{\text{Hipogramadas} - H. \text{ de falla}}{\sum \text{numero deparadas por falla}}$$

Tabla 7
*Tiempo promedio de fallas en el volquete FMX D13*903644*A3*E*

Volquete FMX (Muestra 1)	N° Fallas	Tiempo total de operación	Tiempo total de reparaciones	MTBF (Horas)
Mayo	271	360	88	1.004
Junio	228	360	79	1.232

(continuación...)

Julio	237	360	90	1.139
Agosto	265	360	85	1.038

Elaboración Propia

Tabla 8 : Tiempo promedio de fallas en el volquete FMX D13*903647*A3*E

Volquete FMX (Muestra 2)	N° Fallas	Tiempo total de operación	Tiempo total de reparaciones	MTBF (Horas)
Mayo	241	360	81	1.158
Junio	235	360	90	1.149
Julio	217	360	86	1.263
Agosto	273	360	89	0.993

Elaboración Propia

3.10 TIEMPO MEDIO ENTRE REPARACIONES

El tiempo medio entre reparaciones nos muestra la probabilidad de que un equipo en estado de falla, puede ser reparado en un periodo de tiempo dado.

$$MTRR = \frac{\sum (\text{Tiempo total de fallas})}{\sum \text{Numero de paradas}}$$

Tabla 9: Tiempo promedio entre reparaciones del Volquete FMX D13*903644*A3*E

Volquete FMX (Muestra 1)	N° Fallas	Tiempo total de reparaciones	MTTR (Horas)
-----------------------------	-----------	---------------------------------	-----------------

(continuación...)

Mayo	271	88	0.325
Junio	228	79	0.346
Julio	237	90	0.380
Agosto	265	85	0.321

Elaboración Propia

Tabla 10: Tiempo promedio entre reparaciones Volquete FMX D13*903647*A3*E

Volquete FMX (Muestra 2)	N° Fallas	Tiempo total de reparaciones	MTTR (Horas)
Junio	241	81	0.336
Julio	235	90	0.383
Agosto	217	86	0.396
Setiembre	273	89	0.326

Elaboración Propia

3.11 EFICACIA DEL VOLQUETE FMX

$$Eficacia = \frac{(Resultado alcanzado \times 100)}{Resultado previsto}$$

Tabla 11: Eficacia del volquete FMX D13*903644*A3*E

Volquete FMX (Muestra 1)	N° Fallas	Tiempo total de operación	Tiempo total de reparaciones	Eficacia
Mayo	271	360	88	75.6 %

(continuación...)

Junio	228	360	79	78.1 %
Julio	237	360	90	75.0 %
Agosto	265	360	85	76.4 %

Elaboración Propia

Tabla 12: Eficacia del volquete FMX D13*903647*A3*E

Volquete FMX (Muestra 2)	N° Fallas	Tiempo total de operación	Tiempo total de reparaciones	Eficacia
Mayo	241	360	81	77.5 %
Junio	235	360	90	75.0 %
Julio	217	360	86	76.1 %
Agosto	273	360	89	75.3 %

Elaboración Propia

3.12 EFICIENCIA DEL VOLQUETE FMX

$$Eficiencia = \frac{\left(\frac{\text{Resultado alcanzado}}{\text{Tiempo invertido}}\right) / 100}{\left(\frac{\text{Resultado previsto}}{\text{Tiempo Previsto}}\right)}$$

Tabla 13: Eficiencia del volquete FMX D13*903644*A3*E

Volquete FMX (Muestra 1)	N° Fallas	Tiempo total de operación	Tiempo total de reparaciones	Eficiencia
Mayo	271	360	88	52%
Junio	228	360	79	59%
Julio	237	360	90	50%
Agosto	265	360	85	54%

Elaboración Propia

Tabla 14: Eficiencia del volquete FMX D13*903647*A3*E

Volquete FMX (Muestra 2)	N° Fallas	Tiempo total de operación	Tiempo total de reparaciones	Eficiencia
Mayo	241	360	81	57%
Junio	235	360	90	50%
Julio	217	360	86	53%
Agosto	273	360	89	51%

Elaboración Propia

3.13 EFECTIVIDAD DE VOLQUETE FMX

Tabla 15: Efectividad del volquete FMX D13*903644*A3*E

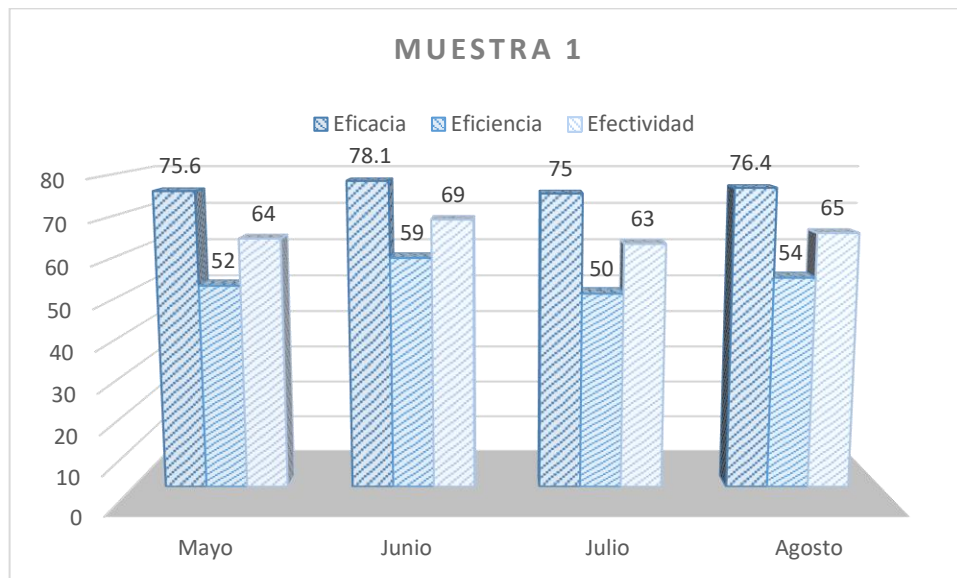
Volquete FMX	N° Fallas	Tiempo total	Tiempo total	Eficacia	Eficiencia	Efectividad
-----------------	-----------	-----------------	-----------------	----------	------------	-------------

(continuación...)

(Muestra 1)		de operación	de operaciones			
Mayo	271	360	88	75.6	52	64
Junio	228	360	79	78.1	59	69
Julio	237	360	90	75	50	63
Agosto	265	360	85	76.4	54	65

Elaboración Propia

Grafico 4: Resumen de Eficacia del volquete FMX D13*903644*A3*E



Elaboración Propia

Tabla 16: Efectividad del volquete FMX D13*903647*A3*E

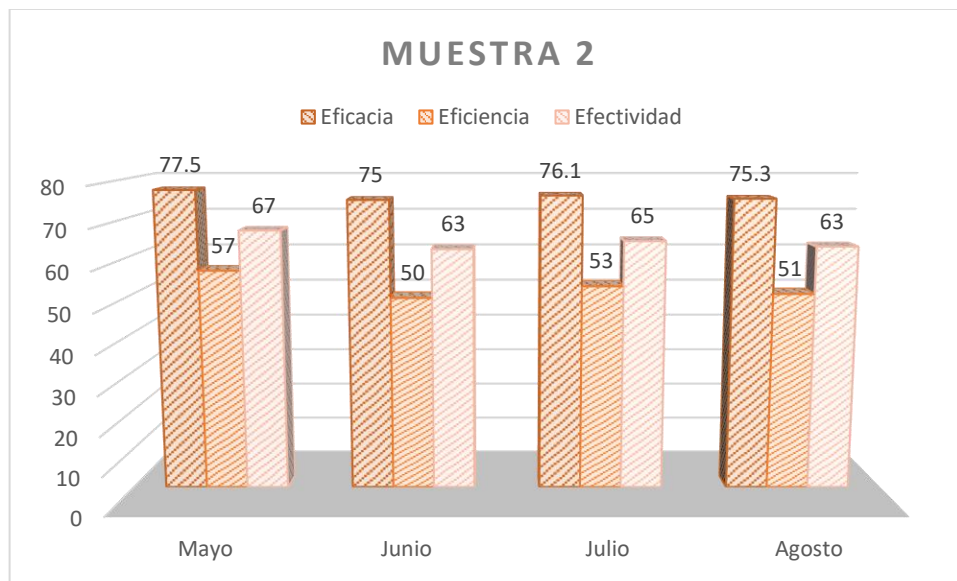
Volquete FMX (Muestra 2)	N° de fallas	Tiempo total de operación	Tiempo total de reparaciones	Eficacia	Eficiencia	Efectividad

(continuación...)

Mayo	241	360	81	77.5	57	67
Junio	235	360	90	75	50	63
Julio	217	360	86	76.1	53	65
Agosto	273	360	89	75.3	51	63

Elaboración Propia

Grafico 5: Resumen de Eficacia del volquete FMX D13*903647*A3*E



Elaboración Propia

3.14 CAMBIOS PARA MEJORAR EL MANTENIMIENTO

Para mejorar el mantenimiento y obtener un mejor control se elaboró cuadros AMFE de fallas, en el cual se pudo identificar las fallas más frecuentes en el historial de los equipos, son las fallas más frecuentes y los más críticos en el equipo y seguidamente se procedió a elegir cambios que son los AMFE de corrección.

3.14.1 AMFE de fallas:

El cuadro AMFE de fallas será conformado por:

- Falla funcional: La falla funcional se produce cuando el equipo se encuentra en funcionamiento.

- Modos de falla: El modo de falla detalla el mal funcionamiento de una parte del equipo.
- Efecto de falla: El efecto de falla se produce por la falla funcional y que a la vez afecta a la producción.
- Causa de falla: La causa de falla es la razón por la cual ha sucedido la falla en el equipo.
- Controles de falla: Son los controles que se aplicaran a las fallas para mejorar la efectividad en el equipo.

3.14.2 Calificación de la severidad

También conocida como gravedad, la severidad usualmente se clasifica en una escala de 1 al 10, siendo 1 insignificante y 10 catastrófico.

Tabla 17: Calificación de severidad

Gravedad	Criterio	Valor
Muy baja	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema. Probablemente, el cliente ni se daría cuenta del fallo.	1
Baja	El tipo de fallo originaria un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, este observara un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable.	2 a 3
Moderada	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en el cliente. El cliente observara deterioro en el rendimiento del sistema.	4 a 6
Alta (continuación...)	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado.	7 a 8
Muy alta	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento de seguridad del producto o proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves corresponde un 10	9 a 10

Fuente: (Castillo, 2017)

3.14.3 Calificación de la ocurrencia

También conocida como frecuencia, que no es más que la estimación probabilidad de que ocurra un fallo por la causa anotada. Al igual que la severidad, la ocurrencia se suele clasificar en una escala del 1 al 10, siendo 1 muy improbable y 10 inevitable.

Tabla 18:Calificación de ocurrencia

Frecuencia	Criterio	Valor
Muy baja	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos, ni se ha dado nunca en el pasado pero es concebible.	1
Baja	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos. Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda.	2 a 3
Moderada	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o previos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente/sistema.	4 a 6
Alta	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado.	Fa
Muy alta	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente.	9 a 10

Fuente: (Castillo, 2017)

3.14.4 Calificación del grado de detección del control

Ahora asignamos el grado de detección a cada control, es decir que vamos a estimar que tan bien los controles identificados pueden detectar una causa o su modo de falla después de generada pero antes de que llegue al equipo. También se califica es una escala que va de 1 a 10, siendo 1 un control en el que se tiene certeza de que se detectara la falla y un control con certeza de que no se detectara.

Tabla 19:Calificación del grado de detección del control

Detectabilidad	Criterio	Valor
Muy alta	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes.	1
Alta	El defecto , aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posteriori.	2 a 3



(continuación...)

Mediana	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al cliente. Posiblemente se detecte en los últimos estados de producción.	4 a 6
Pequeña	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.	Fa
Improbable	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final.	9 a 10

Fuente: (Castillo, 2017)

3.14.5 Calcular el número prioritario de riesgo (NPR)

El numero prioritario de riesgo se obtiene al multiplicar el grado de severidad, ocurrencia y detección.

$$NPR = \text{Grado de severidad} * \text{Grado de ocurrencia} * \text{Grado de deteccion}$$

El número de prioridad de riesgo se calculó para priorizar los modos de fallos y sus causas.

Tabla 20: Cuadro AMFE

Sistema	Falla Funcional	Modos de fallo	Efecto de Fallo	S	Causa de Fallo	O	Controles de Fallo	D	N PR
SISTEMA ELECTRICO	No arranca la unidad	Batería sin cargar o dañada, arrancador dañado, relay de arranque dañado	Descarga de batería por fallas de alternador, solenoide de arranque o chapa contacto dañado esto no permite el encendido y control del equipo.	7	Cables de baterías dañadas	3	Realizar inspección según frecuencia establecida.	5	105
	No genera carga en alternador	Faja rota, regulador de voltaje cruzado, estator quemado.	No genera carga en el alternador impidiendo el encendido y control del equipo.	3	Correas gastadas o resbaladizas.	6	Realizar inspección cada vez que se requiera.	6	108
	No hay carga en la batería	Alternador dañado, faja rota de alternador, baterías cruzadas.	No genera carga en el alternador impidiendo el encendido y control del equipo.	3	Mantenimiento inadecuado al alternador.	3	Realizar las inspección cada vez que se requiera.	4	36
	Batería abierta o cruzada	Horas de trabajo, mal mantenimiento.	Hacen que los baterías se crucen impidiendo la energía para el arranque del equipo.	5	No existe voltaje en la batería.	4	Realizar inspección programada	5	100
	Alternador dañado	Horas de trabajo, mal mantenimiento.	Hace que el alternador se dañe impidiendo brindar energía para el control del equipo.	3	Falla en los cables, falta de voltaje en el sistema.	4	Realizar inspección establecida además de programar su reemplazo.	3	36

(continuación...)

	Unidad electrónica dañada	Falso contacto de cables, falla interna de unidad electrónica, malas conexiones.	No brinda energía para luces de trabajo en general, el operador para el equipo para evitar mayores daños.	4	Cables dañados.	4	Apagar motor, realizar desconexiones, mediciones o sustituir la batería.	3	48
	Fusible abierto	Cortocircuito, recalentamiento de cables, cables rozando al chasis.	Los fusibles abiertos impiden de no brindar energía para el funcionamiento de luces de trabajo.	5	Mal mantenimiento en los cables.	2	Realizar la desconexión, medición y sustitución de la tarjeta.	4	40
	Interruptor y focos abiertos	Malas conexiones, usos excesivo.	El interruptor genera mal funcionamiento de luces de trabajo en general.	3	Malas conexiones falta de mantenimiento.	6	Realizar limpieza de bornes de conexión, verificar ajuste de conexión al instalarlo.	3	54
SISTEMA DE SUSPENSIÓN.	Ballestas rotas	Mala operación, fatiga de ballestas por horas de trabajo, falta de inspección.	Rotura de ballestas impidiendo brindar suspensión al equipo.	5	Desgaste de ballestas por exceso de operación.	2	Cambio de ballesta original.	3	30
	Resorte progresivos desgastados	Mala operación, resorte alternativo, fatiga del resorte, falta de mantenimiento.	Rotura de resortes el cual afecta a la suspensión del equipo.	3	Desgaste de los resortes y mal mantenimiento.	3	Detener el equipo y cambio de resorte progresivo original.	3	27

(continuación...)

	Amortiguador desgastados.	Falta de mantenimiento falta de inspección, fatiga del amortiguador.	El amortiguador de cabina sufra una rotura afectando la suspensión del equipo.	4	Mantenimiento inadecuado.	4	Detener el equipo, inspeccionar su estado y según este realizar su cambio.	5	80
	Mala distribución de carga.	Operador sin experiencia, piso de carguío inadecuado.	Mala distribución de carga que daña la suspensión del equipo.	3	Mala inspección y mantenimiento inadecuado.	5	Realizar las coordinaciones adecuadas para evaluación de operadores y crear procedimiento de carguío.	3	45
	Mal estado de vías.	Falta de mantenimiento de vías, uso de material inadecuado.	Dañan el sistema de suspensión del equipo.	5	Condiciones climáticas extremas.	4	Realizar coordinaciones adecuadas para realizar un cronograma de mantenimiento de vías.	4	80
	Rotura barra de reacción en "V" o lineal.	Barras alternativas, fatiga de las barras por exceso de trabajo, falta de inspección.	Las barras de reacción sufran rotura impidiendo brindar suspensión al equipo.	7	Desgaste de componentes por mal mantenimiento.	3	Cambio de barras original.	3	63
SISTEMA DE CHASIS.	Mal acoplamiento de sistema.	Diseño equivocado, sistema sobredimensionados.	El chasis no soporta los sistemas.	7	Mala operación, mal mantenimiento.	2	Realizar pruebas e inspección.	3	42
	Falta de engrase.	Falta de programa de engrase, falta de inspecciones.	La tolva no brinda el funcionamiento adecuado.	3	Circuito del pin por donde ingresa la grasa obstruida.	3	Engrase del equipo, cuando sea necesario.	4	36

(continuación...)

	Falta de ajustes.	Falta de programa de ajuste, desconocimientos de rango de ajustes.	La tolva no brinda una fijación adecuada para el equipo.	3	Orejas de la tolva que sujeta el pin de la compuerta dañada.	2	Realizar programación de ajustes.	4	24
	Falta de puntos de lubricación.	Diseño sin puntos de engrase, falta de reposición de graseras.	El chasis no brinda la mantenibilidad necesaria.	4	Fricción entre piezas lo cual genera desgaste.	4	Realizar e identificar puntos de engrase.	4	64
SISTEMA DE TREN DE FUERZA.	Desgaste de transmisión.	Mal mantenimiento, mala operación.	Impide el movimiento del equipo.	4	Desgaste de componentes.	4	Realizar muestreo de lubricantes para hallar picos de desgaste entre sus parámetros de metales.	3	48
	Averías de cárdenas.	Cardan y crucetas fatigado por horas de trabajo.	Los cardanes sufren averías impidiendo brindar movimiento del equipo.	3	Desgaste de componentes por mal mantenimiento.	5	Cambio componente por uno nuevo o reparado.	3	45
	Coronas de diferenciales dañados.	Vida útil del componente, mala operación.	Las coronas de los diferenciales sufren averías impidiendo brindar el movimiento del equipo.	4	Coronas gastadas	3	Realizar inspecciones para hallar anomalías en ajuste u sujeción.	2	24
	Neumáticos en mal estado.	Material de neumático de mala calidad, vías en mal estado, mala operación.	No brindan tracción al equipo.	5	Fuera del estándar de la altura de la cocada de los neumáticos.	5	Reemplazo de este según desgaste con neumáticos nuevos.	2	50
	Disco de embrague deteriorado.	Horas de trabajo, repuesto alternativo.	Mala tracción del equipo, no brinda mucha	4	Mala operación realizado por el operador.	4	Cambiar el componente dañado.	3	48

(continuación...)

			velocidad al equipo.					
	Piñones y sincronizadores dañados.	Mal mantenimiento, horas de trabajo.	No brinda mucha velocidad al quipo.	5	Desgaste de componentes por mal mantenimiento.	3	Cambio componentes por unos nuevos.	4 60
	Palanca de cambio dañada.	Cable de mando roto, mal mantenimiento, mala operación.	La velocidad queda limitada.	4	Mala operación por cambios inadecuados realizados.	4	Realizar inspecciones para hallar desgastes.	3 48
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.	Alta temperatura refrigerante del motor.	Recalentamiento excesivo del motor.	Paneles de radiador obstruidos externo e interno.	4	Altas temperaturas en el motor	6	Realizar inspecciones para hallar la falla.	2 48
			Tapa del radiador y termostato defectuosos.	4	Mal mantenimiento en el radiador.	4	Cambiar el radiador defectuoso.	2 32
			Mal mantenimiento.	4	Desconocimiento por parte del personal	6	Realizar mantenimiento preventivo al motor	2 48
SISTEMA HIDRAULICO	Bajo nivel de aceite hidráulico	Falta de aceite para desplazar los vástagos del cilindro de levante de tolva.	Fugas externas de aceites, cilindros, tanque hidráulico.	7	Mal mantenimiento de los tanques y cilindros.	4	Realizar inspecciones diarias a los cilindros.	2 56
			Válvula de control defectuosa.	6	Desconocimiento por parte del personal sobre válvulas.	4	Controlar las válvulas diariamente	2 48
			Mal mantenimiento proceso inadecuado.	4	Mantenimiento inadecuado.	4	Realizar mantenimiento preventivo.	2 32

Elaboración Propia



3.14.6 Corrección AMFE

Se realizó las correcciones correspondientes al momento del mantenimiento y se puso más atención a los elementos que tienen un NPR mayor a 90 ya que son los más críticos para realizar el mantenimiento.

En estos cuadros AMFE los puntos son similares a los AMFE de las fallas y en este último se agrega la acción correctiva que se realizaran.

- Acción correctiva: Se detalla la acción que se debe realizar al elemento de la máquina para corregir el error.

Tabla 21: Cuadro AMFE de corrección

Sistema	Falla Funcional	Modos de fallo	Efecto de Fallo	S	Causa de Fallo	O	Controles de Fallo	D	N P R	Acciones correctivas	S	O	D	N P R
SISTEMA ELECTRICO	No arranca la unidad	Batería sin cargar o dañada, arrancador dañado, relay de arranque dañado	Descarga de batería por fallas de alternador, solenoide de arranque o chapa contacto dañado esto no permite el encendido y control del equipo.	7	Cables de baterías dañadas	3	Realizar inspección según frecuencia establecida.	5	105	Programar reemplazo según horas de funcionamiento y/o estado.	5	3	4	60
	No genera carga en alternador	Faja rota, regulador de voltaje cruzado, estator quemado.	No genera carga en el alternador impidiendo el encendido y control del equipo.	3	Correas gastadas o resbaladizas.	6	Realizar inspección cada vez que se requiera.	6	108	Programar reacondicionamiento o según horas de funcionamiento y/o estado de la faja.	3	4	5	60
	No hay carga en la batería	Alternador dañado, faja rota de alternador, baterías cruzadas.	No genera carga en el alternador impidiendo el encendido y control del equipo.	3	Mantenimiento inadecuado al alternador.	3	Realizar las inspección cada vez que se requiera.	4	36	Capacitación del sistema eléctrico y electrónica.	3	3	4	36

(continuación...)

Batería abierta o cruzada	Horas de trabajo, mal mantenimiento.	Hacen que los baterías se crucen impidiendo la energía para el arranque del equipo.	5	No existe voltaje en la batería.	4	Realizar inspección programada	5	100	Capacitación del sistema cableado en volvo.	3	4	4	48
Alternador dañado	Horas de trabajo, mal mantenimiento.	Hace que el alternador se dañe impidiendo brindar energía para el control del equipo.	3	Falla en los cables, falta de voltaje en el sistema.	4	Realizar inspección establecida además de programar su reemplazo.	3	36	Capacitación del sistema eléctrico del volvo FMX.	3	4	3	36
Unidad electrónica dañada	Falso contacto de cables, falla interna de unidad electrónica, malas conexiones.	No brinda energía para luces de trabajo en general, el operador para el equipo para evitar mayores daños.	4	Cables dañados	4	Apagar motor, realizar desconexiones, mediciones o sustituir la batería.	3	48	Capacitación sistema electrónico y eléctrico.	4	4	3	48
Fusible abierto	Cortocircuito, recalentamiento de cables, cables rozando al chasis.	Los fusibles abiertos impiden no brindar energía para el funcionamiento de luces	5	Mal mantenimiento en los cables.	2	Realizar la desconexión, medición y sustitución de la tarjeta.	4	40	Capacitación sistema electrónico y eléctrico.	5	2	3	30

(continuación...)

			de trabajo.												
	Interrupción y focos abiertos	Malas conexiones, usos excesivos.	El interruptor genera mala funcionamiento de luces de trabajo en general.	3	Malas conexiones falta de mantenimiento.	6	Realizar limpieza de bornes de conexión, verificar ajuste de conexión al instalarlo.	3	54		Combinar experiencia profesional y capacitación constante.	2	4	3	24
SISTEMA DE SUSPENSIÓN.	Ballestas rotas	Mala operación, fatiga de ballestas por horas de trabajo, falta de inspección.	Rotura de ballestas impidiendo brindar suspensión al equipo.	5	Desgaste de ballestas por exceso de operación.	2	Cambio de ballesta original.	3	30		Capacitar al personal en sistema de suspensión y sus componentes.	4	2	3	24
	Resortes progresivos desgastados	Mala operación, resorte alternativo, fatiga del resorte, falta de mantenimiento.	Rotura de resortes el cual afecta a la suspensión del equipo.	3	Desgaste de los resortes y mal mantenimiento.	3	Detener el equipo y cambio de resorte progresivo original.	3	27		Capacitar al personal en sistema de suspensión y sus componentes.	3	3	3	27
	Amortiguador desgastados.	Falta de mantenimiento falta de inspección, fatiga del amortiguador.	El amortiguador de cabina sufra una rotura afectando la suspensión del equipo.	4	Mantenimiento inadecuado.	4	Detener el equipo, inspeccionar su estado y según este realizar su cambio.	5	80		Capacitar al personal en sistema de suspensión y sus componentes.	3	4	4	48



(continuación...)

	Mala distribución de carga.	Operador sin experiencia, piso de carguío inadecuado.	Mala distribución de carga que daña la suspensión del equipo.	3	Mala inspección y mantenimiento inadecuado.	5	Realizar las coordinaciones adecuadas para evaluación de operadores y crear procedimiento de carguío.	3	45	Combinar experiencia profesional y capacitar al operador en distribución de cargas.	3	4	3	36
	Mal estado de vías.	Falta de mantenimiento de vías, uso de material inadecuado.	Dañan el sistema de suspensión del equipo.	5	Condiciones climáticas extremas.	4	Realizar coordinaciones adecuadas para realizar un cronograma de mantenimiento de vías.	4	80	Coordinación con el área para mantenimiento de vías y acceso.	4	4	3	48
	Rotura barra de reacción en "V" o lineal.	Barras alternativas, fatiga de las barras por exceso de trabajo, falta de inspección.	Las barras de reacción sufran rotura impidiendo brindar suspensión al equipo.	7	Desgaste de componentes por mal mantenimiento.	3	Cambio de barras original.	3	63	Capacitar al personal en sistema de suspensión y sus componentes.	5	3	3	45
SISTEMA DE CHASIS.	Mal acoplamiento de sistema.	Diseño equivocado, sistema sobredimensionados.	El chasis no soporta los sistemas.	7	Mala operación, mal mantenimiento.	2	Realizar pruebas e inspección.	3	42	Combinar experiencia profesional y capacitar al operador en acoplamientos.	6	2	3	36



(continuación...)

	Falta de engrase.	Falta de programa de engrase, falta de inspecciones.	La tolva no brinda el funcionamiento adecuado.	3	Circuito del pin por donde ingresa la grasa obstruida.	3	Engrase del equipo, cuando sea necesario.	4	36	Designación de personal y programación de engrase.	3	3	4	36
	Falta de ajustes.	Falta de programa de ajuste, desconocimientos de rango de ajustes.	La tolva no brinda una fijación adecuada para el equipo.	3	Orejjas de la tolva que sujeta el pin de la computadora dañada.	2	Realizar programación de ajustes.	4	24	Realizar cuadros de rangos de ajustes.	3	2	4	24
	Falta de puntos de lubricación.	Diseño sin puntos de engrase, falta de reposición de graseras.	El chasis no brinda la mantenibilidad necesaria.	4	Fricción entre piezas lo cual genera desgaste.	4	Realizar e identificar puntos de engrase.	4	64	Inspecciones y programaciones de cambio de graseras.	3	4	3	36
SISTEMA DE TREN DE FUERZA.	Desgaste de transmisión.	Mal mantenimiento, mala operación.	Impide el movimiento del equipo.	4	Desgaste de componentes.	4	Realizar muestreo de lubricantes para hallar picos de desgaste entre sus parámetros de metales.	3	48	Capacitación del sistema de la caja de transmisión.	3	4	2	24
	Averías de cardenas.	Cardan y crucetas fatigado por horas de trabajo.	Los cardanes sufren averías impidiendo brindar movimiento del equipo.	3	Desgaste de componentes por mal mantenimiento.	5	Cambio componente por uno nuevo o reparado.	3	45	Capacitación sobre componentes y piezas de cambio.	3	4	3	36



Coronas de diferenciales dañados.	Vida útil del componente, mala operación.	Las coronas de los diferenciales sufran averías impidiendo brindar el movimiento del equipo.	4	Coronas gastadas	3	Realizar inspecciones para hallar anomalías en ajuste u sujeción.	2	24	Capacitación sobre componentes y piezas de cambio.	3	3	2	18
Neumáticos en mal estado.	Material de neumático de mala calidad, vías en mal estado, mala operación.	No brindan tracción al equipo.	5	Fuera del estándar de la altura de la cocada de los neumáticos.	5	Reemplazo de este según desgaste con neumáticos nuevos.	2	50	Capacitación del sistema de rotación de neumáticos.	4	4	2	32
Disco de embrague deteriorado.	Horas de trabajo, repuesto alternativo.	Mala tracción del equipo, no brinda mucha velocidad al equipo.	4	Mala operación realizado por el operador.	4	Cambiar el componente dañado.	3	48	Capacitación sobre componentes y piezas de cambio.	3	4	3	36
Piñones y sincronizadores dañados.	Mal mantenimiento, horas de trabajo.	No brinda mucha velocidad al equipo.	5	Desgaste de componentes por mal mantenimiento.	3	Cambio componentes por unos nuevos.	4	60	Capacitación sobre componentes y piezas de cambio.	4	3	4	48
Palanca de cambio dañada.	Cable de mando roto, mal mantenimiento, mala operación.	La velocidad queda limitada.	4	Mala operación por cambios inadecuados realizados.	4	Realizar inspecciones para hallar desgastes.	3	48	Capacitación sobre componentes y piezas de cambio.	4	3	3	36

(continuación...)

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.	Alta temperatura refrigerante del motor.	Recalentamiento excesivo del motor.	Paneles de radiador obstruidos externo e interno.	4	Altas temperaturas en el motor	6	Realizar inspecciones para hallar la falla.	2	48	Capacitación del funcionamiento del sistema de enfriamiento.	4	5	2	40
			Tapa del radiador y termostato defectuosos.	4	Mal mantenimiento en el radiador.	4	Cambiar el radiador defectuoso.	2	32	Capacitación del funcionamiento del sistema de enfriamiento.	3	4	2	24
			Mal mantenimiento.	4	Desconocimiento por parte del personal	6	Realizar mantenimiento preventivo al motor	2	48	Capacitación de la empresa volvo.	3	5	2	30
SISTEMA HIDRAULICO	Bajo nivel de aceite hidráulico.	Falta de aceite para desplazar los vástagos del cilindro de levante de tolva.	Fugas externas de aceites, cilindros, tanque hidráulico.	7	Mal mantenimiento de los tanques y cilindros.	4	Realizar inspecciones diarias a los cilindros.	2	56	Capacitación del sistema hidráulico.	5	4	3	60
			Válvula de control defectuosa.	6	Desconocimiento por parte del personal sobre válvulas.	4	Controlar las válvulas diariamente.	2	48	Capacitación del sistema hidráulico.	5	4	2	40
			Mal mantenimiento proceso inadecuado.	4	Mantenimiento inadecuado.	4	Realizar mantenimiento preventivo.	2	32	Capacitación de cilindros de levante de tolva.	3	4	2	24

Elaboración Propia



3.15 DESCRIPCIÓN POSTERIOR A LA IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL Y EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD

3.15.1 Implementación del mantenimiento productivo total

Como ya vimos ya se detectaron todas los problemas y causas que genera el volquete FMX, ahora con el mantenimiento productivo total se lograra disminuir estas causas y así poder resolver problemas presentes, obteniendo así una mejora en el volquete FMX, un lugar de trabajo agradable y una importante mejora en la actitud del personal.

3.15.1.1 Desarrollo de la implantación

1° Paso- compromiso de la alta gerencia

El departamento de mantenimiento ya tiene identificado las deficiencias y problemas que presenta el volquete FMX, por lo que se plantea a la alta gerencia la necesidad y los beneficios de implementar el mantenimiento productivo total en el volquete FMX.

La alta gerencia dio el visto bueno para realizar y participar de la implantación del mantenimiento productivo total en el volquete FMX como piloto para una futura implantación del mantenimiento productivo total en toda la cooperativa.

El éxito del mantenimiento productivo total depende del interés de los directivos, si la mesa directiva se siente motivados y decididos se logrará implantar exitosamente el mantenimiento productivo total en toda la cooperativa.

2° Paso – Campaña de difusión del método

Se difundió el mantenimiento productivo total en el curso “Filosofía del TPM” al personal involucrado en el mantenimiento del volquete FMX. El curso contiene la definición del TPM, las seis grandes pérdidas, el mantenimiento autónomo y algunos ejemplos prácticos.



También se repartió volantes con información necesaria sobre el TPM a todo el personal involucrado en el mantenimiento del volquete FMX, para que el personal involucrado se adapte rápidamente con el cambio que trae la implantación es importante brindarle información inicial que los motive a cambiar.

3° Paso – Definición de comité, nombramiento de responsables y formación de grupos

Se designó las siguientes funciones para los involucrados del TPM.

a) Jefe de mantenimiento

- Garantizar el buen funcionamiento del volquete FMX
- Apoyar en la formación de grupo para el TPM
- Apoyar en las capacitaciones sobre TPM
- Asistir en la determinación de las actividades de mantenimiento autónoma
- Controlar el plan de mantenimiento preventivo del volquete FMX

b) Responsable del programa TPM

- Coordinar los trabajos de mejora del volquete FMX
- Coordinar los cursos de capacitación y asegurar que el personal involucrado lo siga
- Manejar la documentación referente al tema de las capacitaciones
- Difundir la filosofía del TPM
- Ejecutar auditorías internas del TPM
- Evaluar el rendimiento de los operadores y gestionar su certificación
- Apoyar en la difusión del TPM

c) Líder de grupo

- Dirigir las reuniones del grupo de TPM



- Coordinar y programar las reuniones del TPM
- Realizar el seguimiento de las actividades programadas
- Motivar al personal a su cargo
- Mantener actualizado la documentación
- Verificar el adecuado mantenimiento, almacenamiento y control de herramientas de su equipo

d) **Personal de mantenimiento**

- Capacitar y entrenar a los operadores en las actividades de mantenimiento autónomo
- Apoyar en la evaluación de los operadores
- Participar en las reuniones de TPM
- Apoyar en la elaboración de documentos para el mantenimiento autónomo

e) **Operadores**

- Participar en las capacitaciones
- Cumplir con las actividades de mantenimiento autónomo
- Llenar los formatos adecuadamente
- Participar en el mantenimiento de su equipo
- Analizar las posibles mejoras en su equipo
- Comunicar de cualquier problema en su equipo oportunamente

4° Paso – Política básica y metas

“La Cooperativa Minera Santiago de Ananea LTDA promueve el trabajo seguro, en todas sus áreas con equipos conformados por personal de producción y mantenimiento, buscando la mejora continua día a día para alcanzar niveles óptimos de rendimiento y eficiencia de los equipos y maquinarias”



La Cooperativa Minera Santiago de Ananea LTDA se compromete a:

- Difundir la cultura del mantenimiento productivo total (TPM) en la cooperativa.
- Formar colaboradores con capacidad de análisis, iniciativa y creatividad para mejorar el trabajo.
- Cumplir con las cautividades de mantenimiento programada.

5° Paso – Plan piloto

Se estableció un programa para implementar el mantenimiento productivo total en el primer volquete FMX.

La implementación del TPM en el primer volquete FMX será el piloto para una posible implementación posterior en toda el área de mantenimiento y por qué no después llegar a implementar el TPM en toda la planta.

Se seleccionó el volquete FMX por ser la maquinaria más utilizada y con gran carga de trabajo en la Cooperativa minera Santiago.

6° Paso – Inicio de la implantación

Para empezar la etapa de implantación se tuvo una reunión con todo el equipo de mantenimiento que se encuentra encargado de realizar el mantenimiento al primer volquete FMX, donde se trató temas acerca de la importancia de la efectividad del equipo, la realización de actividades autónomas y los problemas que presenta el equipo y como se podría corregir estos problemas. También comprobamos mediante una evaluación si los operadores y mecánicos comprenden la importancia del mantenimiento productivo total y a los objetivos que queremos llegar.



7° Paso - “Kobetsu-Kaisen” para la obtención de la eficiencia del equipo

Para llegar a una adecuada eficiencia se detalló en el cuadro todas las posibles causas que afectan al volquete FMX, y se realizara el levantamiento detallado para mejorar los volquetes FMX aprovechando el mantenimiento preventivo, a esto complementaremos con la experiencia de los mecánicos y operadores para un mejor resultado.

8° Paso – Mantenimiento autónomo

El personal que va estar encargado del mantenimiento de los volquetes FMX será evaluado para que pueda identificar en qué nivel se encuentra el primer volquete FMX. Una vez que haya identificado los problemas se procederá a identificar los conocimientos y habilidades en la que se encuentra el personal para posteriormente dar inicio a una capacitación la cual será desarrollada por una persona competente, esta capacitación se realizó de forma práctica y escrita, también se hará una evaluación para ver el progreso del personal en capacitación.

Una vez ya identificadas las actividades autónomas por parte del personal encargado del primer volquete FMX, se mejoraron los formatos para que puedan ser llenados por los operadores y personal de mantenimiento, estos formatos fueron revisados por el supervisor de área y por personal de mantenimiento, una vez aprobados por las dos partes, se da una capacitación para realizar el correcto llenado de los formatos para que no haya ninguna dificultad al momento de realizar el mantenimiento.

9° Paso – Eficacia de equipos

El taller de mantenimiento se hizo un inventado de herramientas existentes y además se realizó el pedido de algunas herramientas que hacían falta para que se pueda llevar a cabo el mantenimiento autónomo y hacer pequeñas reparaciones. Se ha colocado un panel para que se pueda mantener en orden las herramientas.



Todos estos cambios se realizaron para obtener y facilitar un mantenimiento autónomo, eficiente y rápido para el personal encargado.

10° Paso – Establecimiento de sistema: Eficiencia global

Para una mejor eficiencia global donde exista mejor calidad, precisión y oportunidad en el tiempo de información en los departamentos de administración e ingeniería, los cuales afectan indirectamente hacia las áreas de mantenimiento y producción, con la implantación del TPM se busca mejorar estos departamentos para así poder realizar un mejor trabajo en toda la cooperativa.

También se ha implantado la filosofía 5s en todas las áreas administrativas para mejorar el orden y limpieza.

El departamento de mantenimiento hizo un inventario de todas las piezas que necesitan cambio frecuente en los volquetes FMX. Algunas de estas piezas demoran mucho al momento de ser solicitadas a los proveedores, por lo que se ha visto conveniente contar con estas en almacén y así tenerlas stock para realizar un mantenimiento más rápido y sin demoras.

11° Paso – Establecimiento de sistema: Seguridad, higiene y ambiente agradable

En cuanto a la seguridad, se analizó todas las zonas inseguras que existen en el taller de mantenimiento y se realizó las mejoras correspondientes para que el personal pueda realizar los trabajos de mantenimiento con seguridad y un buen ambiente de trabajo. Se mejoró la iluminación en zonas donde no llegaba la luz natural, se mantiene la zona de trabajo limpia y ordenada asegurando un buen trabajo sin que ningún trabajador sufra algún accidente.



12° Paso - Aplicación plena del TPM

Todos los involucrados en el mantenimiento productivo total deben de poder realizar un mantenimiento autónomo y un correcto llenado de los formatos en cuanto se refiere a los volquetes FMX.

Los involucrados en el mantenimiento productivo total deben de realizar reuniones mensuales donde informarán los inconvenientes que se presenten en el trabajo, también podrán plantear actividades de mejora continua para los volquetes FMX.

Los involucrados en el mantenimiento productivo total recibirán cursos de capacitación autónoma, esto permitirá un incremento de conocimientos y habilidades extras para todo el personal.

Se llevará un control semanal y mensual para poder detectar fallos en los volquetes FMX y así poder corregirlos y solucionarlos de manera oportuna.

3.15.2 Implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad

Se realizó una presentación del mantenimiento centrado en la confiabilidad en la Cooperativa Minera Santiago LTDA. Para realizar una mejora en el mantenimiento de los volquetes FMX, realizando una capacitación constante al personal involucrado sobre el RCM al personal de mantenimiento, conociendo las tareas a ejecutar, actividades y las tareas de los responsables.

Se hizo las capacitaciones en temas de mantenimiento rutinario a los mecánicos y operadores detallando algunos puntos en os diversos sistemas e indicando un responsable del camión FMX.



Mantenimiento preventivo y correctivo del sistema eléctrico:

- Para el mantenimiento del sistema eléctrico se puso a cargo a un electricista, el cual deberá de contar con todas las herramientas y accesorios para dar respuesta inmediata a los problemas de continuidad en el sistema eléctrico.
- Al personal a cargo del sistema eléctrico se le hizo una capacitación en donde se le toco temas a cerca de las ventajas de realizar un buen mantenimiento y limpieza a las herramientas que va a utilizar para así poder disminuir los mantenimientos correctivos en el sistema eléctrico.
- Al personal involucrado se les capacito también en el sobre el buen funcionamiento, importancia y costo de los repuestos que se van a utilizar.
- También se evaluó las tareas descritas en las cartillas de mantenimiento preventivo y evaluación de la calidad de ejecución de las tareas.
- Se presentaron cartillas de mantenimiento preventivo con intervalos de diferentes horas de trabajo del camión FMX, en las cuales están descritas las tareas a ejecutar.

Mantenimiento preventivo y correctivo del sistema de rodamiento

- Para el sistema de rodamientos se harán cargo los mecánicos de mantenimiento para que realicen una buena lubricación a sistema de rodamiento y así poder evitar desgastes prematuros en el sistema de rodamiento.
- Se realizó capacitaciones al soporte técnico sobre los costos y los componentes y el buen funcionamiento del sistema de rodamiento.
- Se presentaron cartillas de mantenimiento preventivo con intervalos de diferentes horas de trabajo del camión FMX, en las cuales están descritas las tareas a ejecutar.



Mantenimiento preventivo y correctivo del sistema hidráulico de levante de tolva:

- Para el sistema hidráulico se designó a los mecánicos como responsables del mantenimiento correctivo para un mejor control y medición de las presiones en las mangueras, vástagos, cilindros y en todo el sistema hidráulico del levante de tolva.
- El personal involucrado recibió una capacitación sobre las ventajas de realizar en mantenimiento preventivo y de realizar un correcto mantenimiento de la toma de fuerza y disminuir el mantenimiento correctivo en el sistema hidráulico de levante de tolva.
- Se capacito también al soporte técnico y los operadores sobre la importancia del coste de reparación y de sus componentes del sistema hidráulico.
- Se presentaron cartillas de mantenimiento preventivo con intervalos de diferentes horas de trabajo del camión FMX, en las cuales están descritas las tareas a ejecutar.

Mantenimiento preventivo y correctivo del sistema de transmisión de fuerzas:

- Para el mantenimiento y correcto funcionamiento del sistema de transmisión de fuerzas se designó a mecánicos como responsables de las muestras de aceite quienes llevaran un control sobre el mantenimiento preventivo y correctivo del sistema de transmisión de fuerzas.
- Al personal de involucrado se le capacito sobre ventajas y desventajas de realizar un buen mantenimiento preventivo e informar todo evento en pantalla respecto al sistema de tren de fuerzas.
- Se evaluó las tareas descritas en las cartillas de mantenimiento preventivo y evaluación de la calidad de ejecución de las tareas.



- Se presentaron cartillas de mantenimiento preventivo con intervalos de diferentes horas de trabajo del camión FMX, en las cuales están descritas las tareas a ejecutar.

Mantenimiento preventivo y correctivo del motor diésel:

- Para el correcto funcionamiento y un correcto mantenimiento se designó como responsable a los mecánicos de mantenimiento para que se haga a cargo de las horas de trabajo quien controlara y programara sobre el mantenimiento preventivo y correctivo del Motor Diésel.
- Se realizó una capacitación a todo el personal involucrado sobre las partes y sistemas del motor, enseñando las medidas y niveles permisibles para el buen funcionamiento del volquete FMX a condiciones normales y con carga.
- Se presentaron cartillas de mantenimiento preventivo con intervalos de diferentes horas de trabajo del camión FMX, en las cuales están descritas las tareas a ejecutar.
- Se realizó la capacitación a todo el personal sobre el funcionamiento, la importancia y los costos de los repuestos del motor.



CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

En el siguiente capítulo presentaremos los resultados del análisis de los datos obtenidos en nuestra investigación, nuestros resultados mostraran la mejora que se obtuvo al aplicar el mantenimiento productivo total y el mantenimiento centrado en la confiabilidad en el volquete FMX de la Cooperativa Minera Santiago, también mostraremos la comparación de estos dos métodos y cuál será el que mejor se adapte para la Cooperativa Minera Santiago.

A continuación, empezaremos a desarrollar los resultados y discusiones que sirvan para consolidar lo obtenido, al mismo tiempo que esto supongo futuras investigaciones más detalladas.

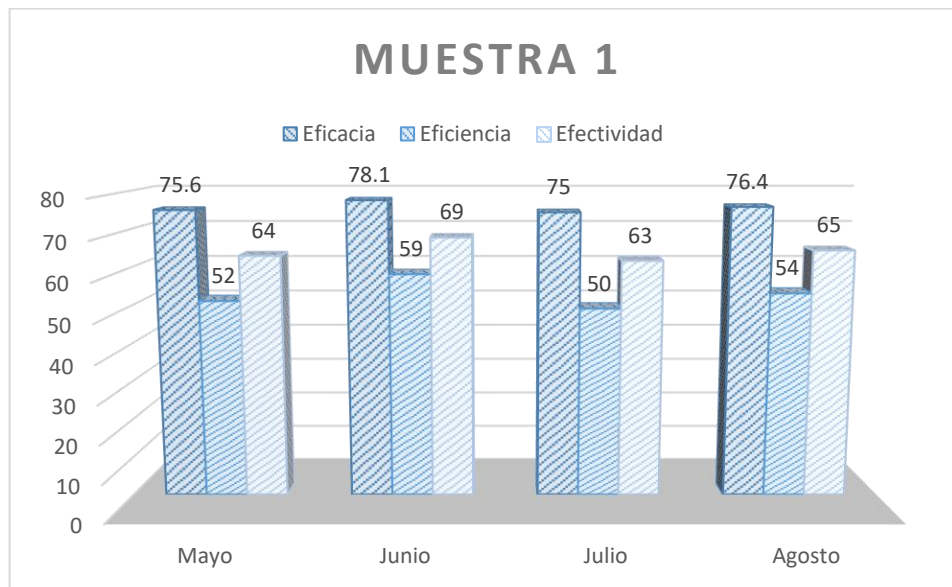
4.1 RESUMEN DE EFICACIA, EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD ANTES DE APLICAR EL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL

Tabla 22: Resumen de eficacia, eficiencia y efectividad antes de aplicar el mantenimiento productivo total

Volquete FMX D13*903644*A3* E (Muestra 1)	N° Fallas	Tiempo total de operación	Tiempo total de operaciones	Eficacia	Eficiencia	Efectividad
Mayo	271	360	88	75.6	52	64
Junio	228	360	79	78.1	59	69
Julio	237	360	90	75	50	63
Agosto	265	360	85	76.4	54	65

Elaboración Propia

Grafico 6: Resumen de Eficacia, Eficiencia y Efectividad V. FMX D13*903644*A3*E



Elaboración Propia

Como podemos apreciar en el grafico 6 se muestra el resumen de la eficacia, eficiencia y efectividad del camión D13*903644*A3*E antes que se aplique el mantenimiento productivo total, el cual nos muestra un promedio de efectividad de 66 % desde mayo hasta agosto del año 2020.

4.2 RESUMEN EFICACIA, EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD ANTES DE APLICAR EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD

Tabla 23: Resumen eficacia, eficiencia y efectividad antes de aplicar el mantenimiento centrado en la confiabilidad

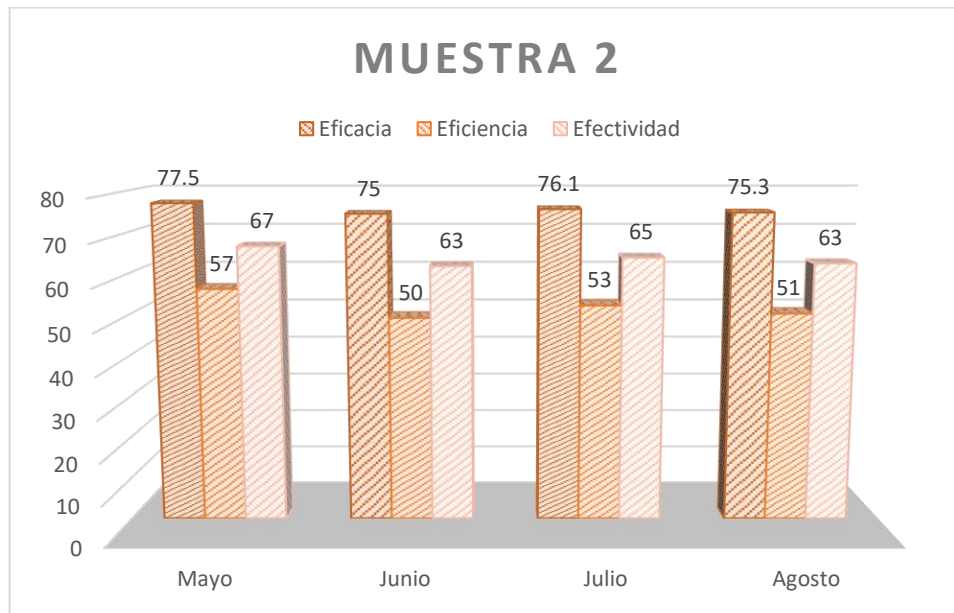
Volquete FMX D13*903647*A3* E (Muestra 2)	N° de fallas	Tiempo total de operación	Tiempo total de reparaciones	Eficacia	Eficiencia	Efectividad
Mayo	241	360	81	77.5	57	67
Junio	235	360	90	75	50	63

(continuación...)

Julio	217	360	86	76.1	53	65
Agosto	273	360	89	75.3	51	63

Elaboración Propia

Grafico 7: Resumen de eficacia, eficiencia y efectividad FMX d13*903647*a3*e



Elaboración Propia

Como podemos apreciar en el grafico 7 se muestra el resumen de la eficacia, eficiencia y efectividad del camión D13*903647*A3*E antes que se aplique el mantenimiento centrado en la confiabilidad, el cual nos muestra un promedio de efectividad de 65 % desde mayo hasta agosto del año 2020.

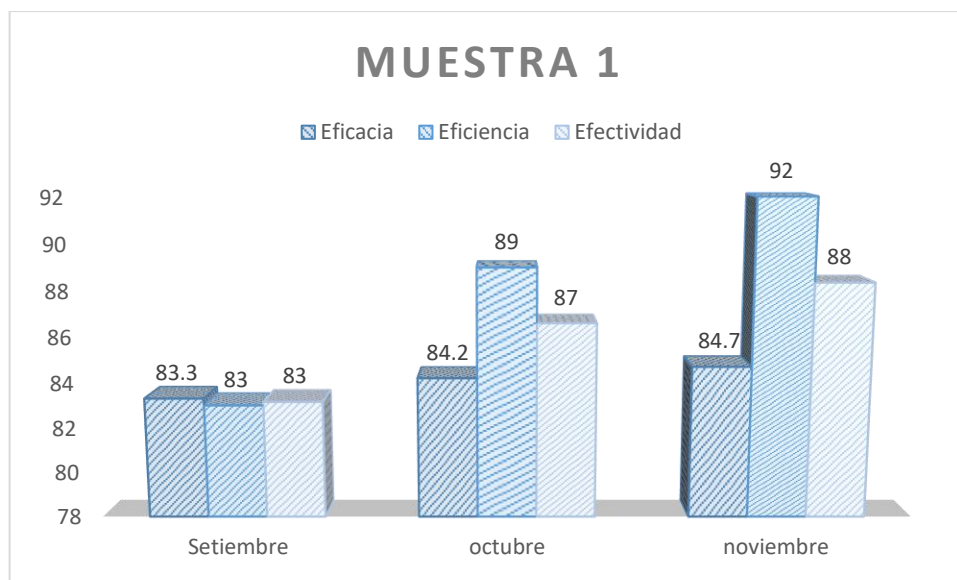
4.3 RESUMEN DE EFICACIA, EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD DESPUÉS DE APLICAR EL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL

Tabla 24: Resumen de eficacia, eficiencia y efectividad después de aplicar el mantenimiento productivo total

Volquete FMX D13*903644*A3* E (Muestra 1)	N° Fallas	Tiempo total de operación	Tiempo total de operaciones	Eficacia	Eficiencia	Efectividad
Setiembre	150	360	60	83.3	83	83
octubre	142	360	57	84.2	89	87
noviembre	133	360	55	84.7	92	88

Elaboración Propia

Grafico 8: Resumen de Eficacia, Eficiencia y Efectividad V. fMX D13*903644*A3*E



Elaboración Propia

El grafico 8 nos muestra los resultados obtenidos después que se aplicó el mantenimiento productivo total al volquete D13*903644*A3*E el cual nos muestra una mejora en la

eficacia, eficiencia y efectividad, la eficiencia mejoro de un promedio de 66% a un promedio de 86% en los meses de setiembre, octubre y noviembre.

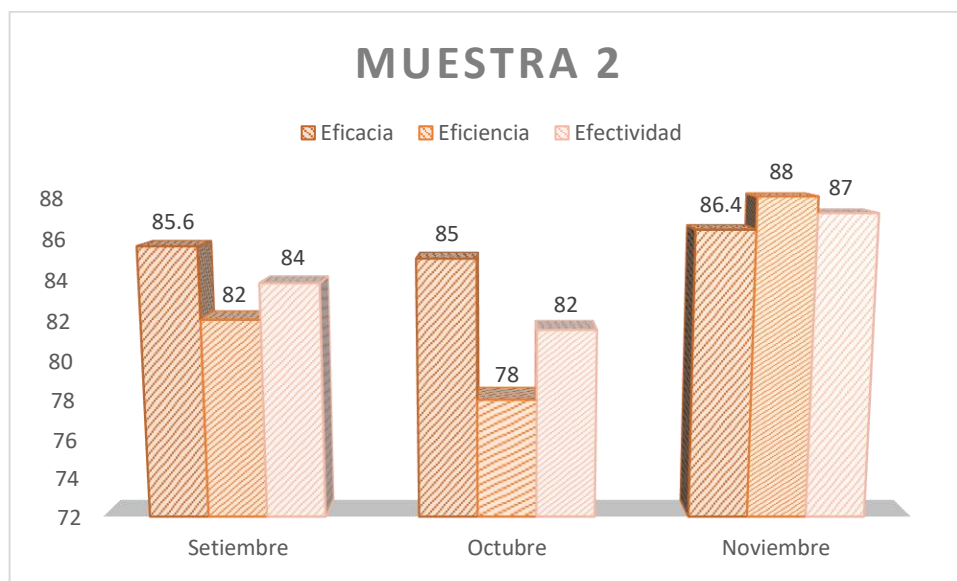
4.4 RESUMEN DE EFICACIA, EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD DESPUÉS DE APLICAR EL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL

Tabla 25: Resumen de eficacia, eficiencia y efectividad después de aplicar el mantenimiento productivo total

Volquete FMX D13*903647*A3* E (Muestra 2)	N° de fallas	Tiempo total de operación	Tiempo total de reparaciones	Eficacia	Eficiencia	Efectividad
Setiembre	155	360	52	85.6	82	84
Octubre	137	360	54	85	78	82
Noviembre	128	360	49	86.4	88	87

Elaboración Propia

Grafico 9: Resumen de eficacia, eficiencia y efectividad V.FMX d13*903647*a3*e



Elaboración Propia



El grafico 8 nos muestra los resultados obtenidos después que se aplicó el mantenimiento centrado en la confiabilidad al volquete D13*903647*A3*E el cual nos muestra una mejora en la eficacia, eficiencia y efectividad, la eficiencia mejoro de un promedio de 65% a un promedio de 84% en los meses de setiembre, octubre y noviembre.

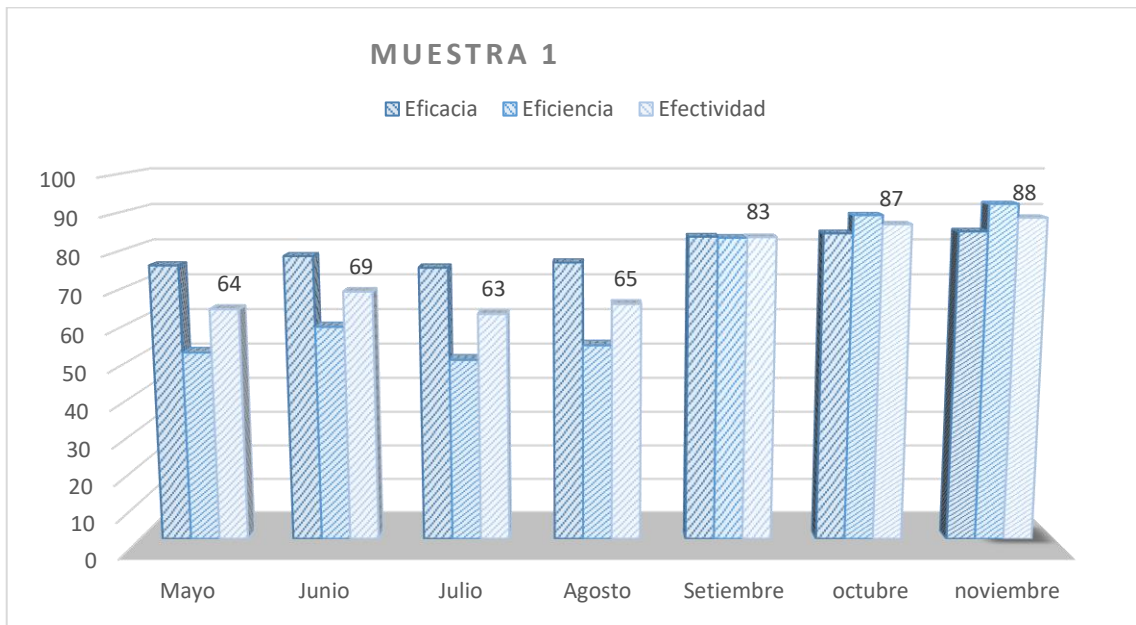
4.5 RESUMEN DE EFICACIA, EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD DE MAYO A NOVIEMBRE DEL VOLQUETE FMX D13*903644*A3*E

Tabla 26: Resumen de Eficacia, Eficiencia y Efectividad de mayo a noviembre del volquete FMX D13*903644*A3*E

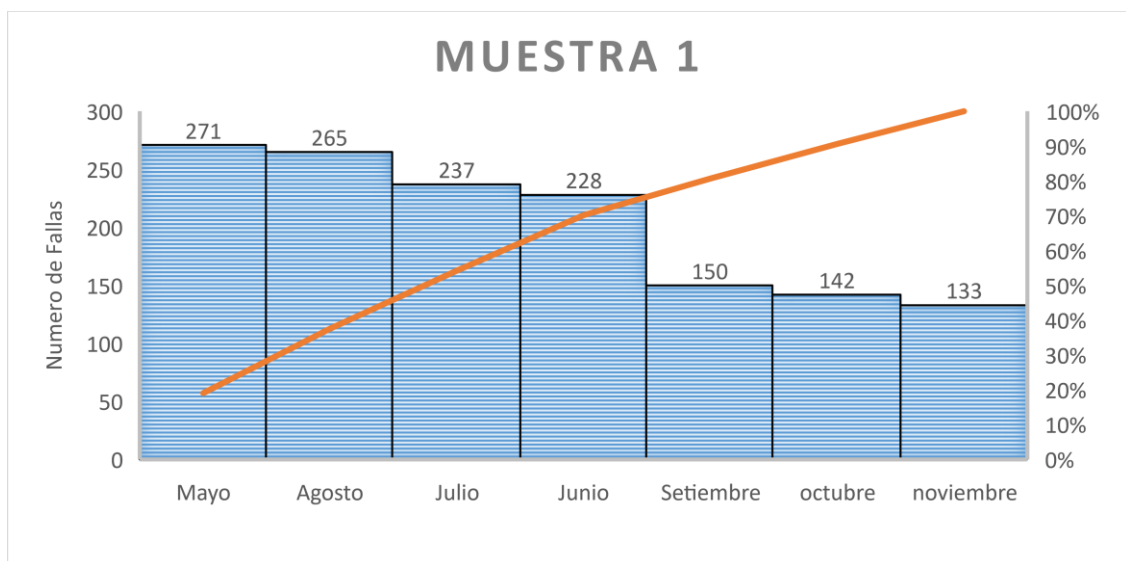
Volquete FMX D13*903644*A3* E (Muestra 1)	N° Fallas	Tiempo total de Operación	Tiempo total de Reparación	Eficacia	Eficiencia	Efectividad
Mayo	271	360	88	75.6	52	64
Junio	228	360	79	78.1	59	69
Julio	237	360	90	75	50	63
Agosto	265	360	85	76.4	54	65
Setiembre	150	360	60	83.3	83	83
octubre	142	360	57	84.2	89	87
noviembre	133	360	55	84.7	92	88

Elaboración Propia

Gráfico 10: Resumen de eficacia, eficiencia y efectividad antes y después de aplicar el TPM



Elaboración Propia



Elaboración propia

En el gráfico 10 vemos el resumen completo de la eficacia, eficiencia y efectividad del volquete D13*903644*A3* desde el mes de mayo hasta el mes de noviembre del 2020, como se aprecia se ve una mejora de 24% en la efectividad después de haber aplicado el mantenimiento productivo total, (Villena, 2019) con su investigación “Propuesta de implementación de un plan de mantenimiento de equipos bajo las técnicas de TPM en



una empresa constructora”, obtuvo una mejora del 18% corroborando así lo efectivo de este método, igual que (Clará et al., 2013) con su investigación “Sistema de gestión de mantenimiento productivo total para talleres automotrices del sector público” obtuvo mejoras hasta en un 66.73%.

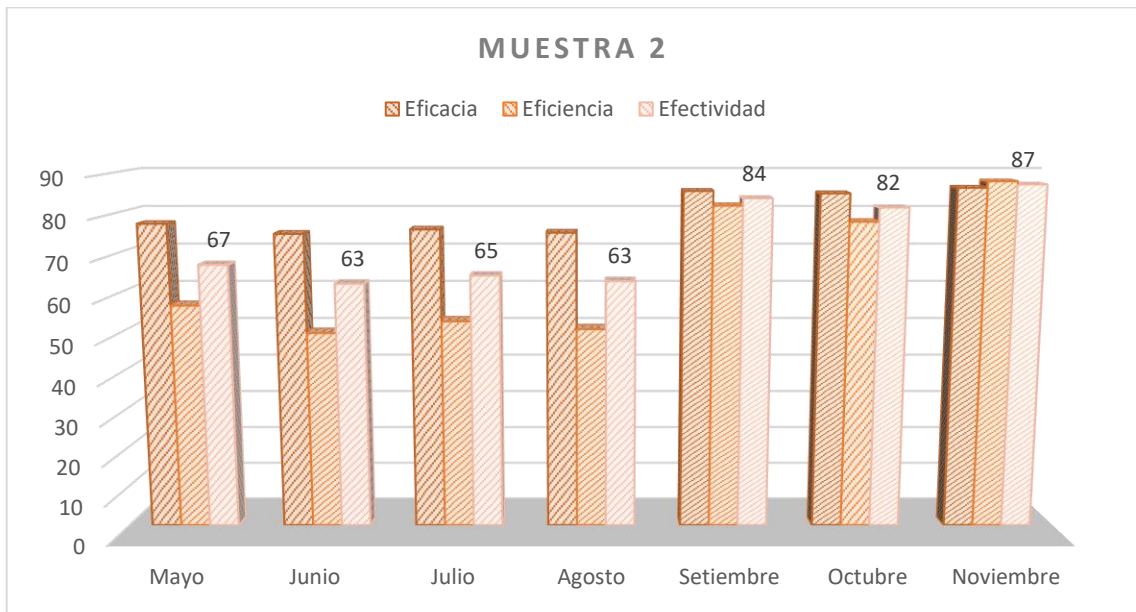
4.6 RESUMEN DE EFICACIA, EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD DE MAYO A NOVIEMBRE DEL VOLQUETE FMX D13*903647*A3*E

Tabla 27:Resumen de Eficacia, Eficiencia y Efectividad de mayo a noviembre del volquete FMX D13*903647*A3*E

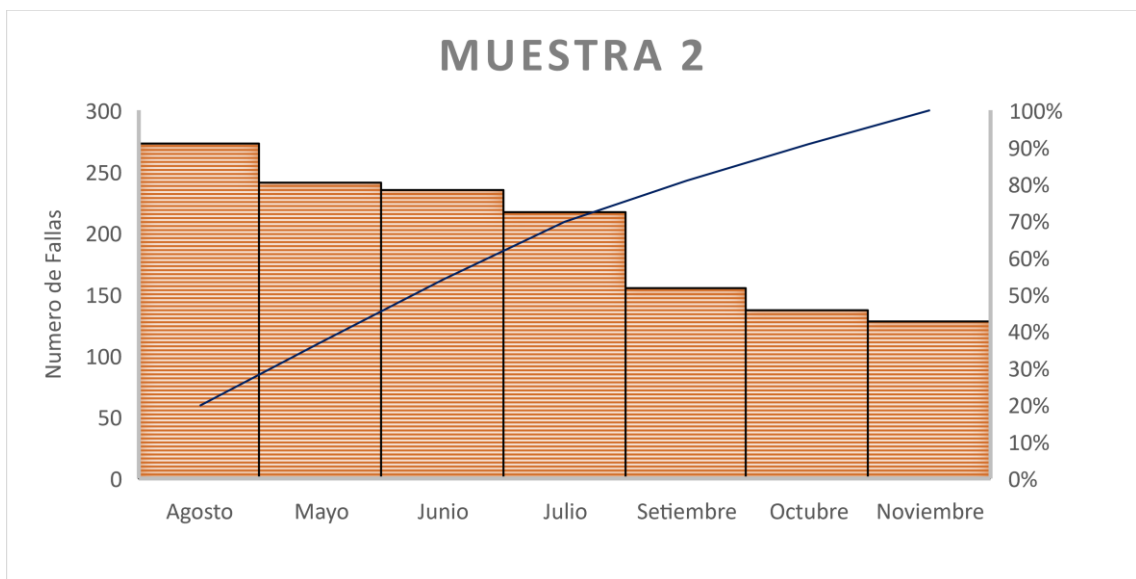
Volquete FMX D13*903647*A3* E (Muestra 2)	N° de fallas	Tiempo total de operación	Tiempo total de reparaciones	Eficacia	Eficiencia	Efectividad
Mayo	241	360	81	77.5	57	67
Junio	235	360	90	75	50	63
Julio	217	360	86	76.1	53	65
Agosto	273	360	89	75.3	51	63
Setiembre	155	360	52	85.6	82	84
Octubre	137	360	54	85	78	82
Noviembre	128	360	49	86.4	88	87

Elaboración Propia

Grafico 11: Resumen de eficacia, eficiencia y efectividad antes y después de aplicar el RCM



Elaboración Propia



En el grafico 11 vemos el resumen completo de la eficacia, eficiencia y efectividad del volquete D13*903647*A3* desde el mes de mayo hasta el mes de noviembre del 2020, como se aprecia se ve una mejora del 20 % en la efectividad después de haber aplicado el mantenimiento centrado en la confiabilidad. (Casachagua, 2017) en su investigación “ Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo basado en el RCM para mejorar la disponibilidad mecánica de la excavadora CAT 336 de la empresa ECOSEM SMELTER

S.A” obtuvo una mejora del 9%, de 81% a 90%, al igual que (Hung, 2009) en su investigación “Mantenimiento centrado en confiabilidad como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en la planta Oscar A. Machado EDC” obtuvo mejoras en el proceso de fabricación que aseguraron el desempeño de sus funciones en su contexto operacional real.

4.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS RESULTADOS

Para interpretar los resultados de la investigación usamos el coeficiente de correlación Rho de Spearman ya que los datos no son menores a 30, estos datos nos ayudan a ver si existe relación entre nuestras variables.

4.7.1 Resultados de correlación en el volquete D13*903644*A3*E

Tabla 28:Resultados de correlación en el volquete D13*903644*A3*E

Correlaciones del volquete D13*903644*A3*E (Muestra 1)					
			Tiempo total de reparaciones	Eficacia	Eficiencia
Rho de Spearman	Tiempo total de reparaciones	Coeficiente de correlación	1.000	-1.000**	-1.000**
		Sig. (bilateral)	.	.	.
		N	7	7	7
	Eficacia	Coeficiente de correlación	-1.000**	1.000	1.000**
		Sig. (bilateral)	.	.	.
		N	7	7	7

(continuación...)

	Eficiencia	Coefficiente de correlación	-1.000**	1.000**	1.000
		Sig. (bilateral)	.	.	.
		N	7	7	7
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).					

Elaboración Propia

Los resultados obtenidos con el método estadístico de correlación de Pearson entre la eficacia y el tiempo total de reparaciones son -1.000. la relación entre estas variables es negativa, lo que nos indica que a medida que el tiempo total de reparaciones disminuye la eficacia aumenta.

La correlación de Pearson que existe entre la eficiencia y el tiempo total de reparaciones es -1.000, la relación entre estas variables es negativa, lo que nos indica que a medida que el tiempo total de reparaciones disminuye la eficiencia aumenta.

4.7.2 Resultados de correlación en el volquete D13*903647*A3*E

Tabla 29: Resultados de correlación en el volquete D13*903647*A3*E

Correlaciones del volquete D13*903647*A3*E (Muestra 2)				
		Tiempo total de reparaciones	Eficacia	Eficiencia
Tiempo total de reparaciones	Correlación de Pearson	1	-1.000**	-.995**
	Sig. (bilateral)		.000	.000
	N	7	7	7
Eficacia	Correlación de Pearson	-1.000**	1	.995**



(continuación...)

	Sig. (bilateral)	.000		.000
	N	7	7	7
Eficiencia	Correlación de Pearson	-.995**	.995**	1
	Sig. (bilateral)	.000	.000	
	N	7	7	7
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).				

Elaboración Propia

Los resultados obtenidos con el método estadístico de correlación de Pearson entre la eficacia y el tiempo total de reparaciones son -1.000. la relación entre estas variables es negativa, lo que nos indica que a medida que el tiempo total de reparaciones disminuye la eficacia aumenta.

La correlación de Pearson que existe entre la eficiencia y el tiempo total de reparaciones es -0.995, la relación entre estas variables es negativa, lo que nos indica que a medida que el tiempo total de reparaciones disminuye la eficiencia aumenta.



V. CONCLUSIONES

1. El mantenimiento productivo total es más efectivo en volquetes FMX en la Cooperativa Minera Santiago de Ananea, obteniendo una mejora del 86%, mejorando de 62% a 86% con una mejora de efectividad del 24%, con respecto al mantenimiento centrado en la confiabilidad que obtuvo una mejora del 84% de efectividad, de 64% a 84% mejorando un 20% en la efectividad.

2. Con la participación de los mecánicos y operarios de mantenimiento, realizando acciones correctivas y haciéndoles partícipes de las decisiones que tomaba la cooperativa y creando una cultura basada en el mejoramiento continuo en todos los niveles de la empresa el mantenimiento productivo total mejora la eficiencia del volquete FMX en 34%, se logró mejorar la eficiencia de 54% a 88%.

3. Con capacitaciones constantes a mecánicos y operarios, mejorando el ambiente de trabajo, identificando fallas críticas con responsabilidad y logrando el compromiso de todo el personal involucrado el mantenimiento centrado en la confiabilidad mejora la eficiencia del volquete FMX en 30%, Se logro mejorar la eficiencia de 53% a 83% mejorando la vida útil de este.



VI. RECOMENDACIONES

1. El mantenimiento productivo total posee innumerables aplicaciones en la industria, las pequeñas y medianas empresas de la región de Puno podría adecuarlo y adaptarlo a sus necesidades, creando nuevas formas de pensamiento y trabajo que involucren a todas las personas promoviendo la información e innovación, para lograr mejores resultados y continuar con el mejoramiento continuo en la región.

2. Se sugiere aplicar el mantenimiento productivo total a toda la planta, ya que la aplicación requerirá de tiempo y esfuerzo para que exista resultados positivos e involucrar a la gerencia y la participación de todos los trabajadores en todos los niveles, logrando así mejoras en la eficiencia de equipos, productos de alta calidad, reducción de accidentes y crecimiento de la capacidad profesional.

3. Para lograr mejores resultados en el mantenimiento de volquetes FMX con el mantenimiento productivo total se debe seguir evaluando las fallas constantemente que se presenten para así poder evitar paradas repentinas, el historial de los equipos deberá ser actualizada constantemente para reducir costos en el mantenimiento.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Apaza, R. (2017). *El modelo de mantenimiento Productivo total TPM y su influencia en la productividad de la empresa minera chama Peru E.I.R.L ANANEA - 2015*. Repositorio Uancv. Universidad Andina "Nestor Caceres Velasquez." Retrieved from <http://190.116.50.20:8080/xmlui/bitstream/handle/UANCV/284/TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arzuaga, J. (2011). *Modelo de Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en la flota de equipos de oruga D11N de la empresa Minera DRUMMOND LTD*. Universidad Industrial de Santander.
- Cárcel, F. (2016). Características de los sistemas TPM y RCM en la ingeniería del mantenimiento. *3C Tecnología*, 55(Edición 19), 68–75. <https://doi.org/10.17993/3ctecno.2016.v5n3e19.68-75>
- Casachagua, C. (2017). *Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo basado en el RCM para mejorar la disponibilidad mecánica de la excavadora CAT 336 de la empresa ECOSEM SMELTER S.A*. Universidad Nacional del Centro del Peru.
- Castillo, A. (2017). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para mejorar la disponibilidad mecánica del camion volquete volvo FMX-440 en el proyecto el Toro*. Universidad Nacional del centro del Peru.
- Clará, O., Domínguez, R., & Pérez, E. (2013). " *Sistema De Gestión De Mantenimiento Productivo Total Para Talleres Automotrices Del Sector Público* ." Universidad de el Salvador.
- Dounce, E. (2006). *Gestion del mantenimiento - Tecsup*. Mexico: Editorial Continental.
- Garcia, O. (2006). El Mantenimiento General. *Universidad Pedagogica Y Tecnologia De Colombia, I*, 86. Retrieved from http://virtual.uptc.edu.co/drupal/files/133_mantenimiento.pdf
- Hernandez, Roberto; Fernandez, Carlos; Baptista, L. (2014). *Metodología de la investigación*. *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Hung, A. (2009). Mantenimiento centrado centrado en confiabilidad confiabilidad como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en la Planta Oscar A. Machado EDC. *Ingeniería Energética*, XXX(2), 13–19.
- Jimenez, J. (2010). *Tacticas de Mantenimiento*. Universidad EAFIT. <https://doi.org/10.1093/occmmed/kqq062>
- Labra, E. (2018). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM para la maquinaria pesada para movimiento de tierra, de la municipalidad provincial de Canchis - Cuzco*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Mamani, L. (2016). *Implementacion de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para el sistema hidraulico en la excavadora hidraulica PC-350LC-8 del gobierno regional Puno*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Mantenimiento Productivo Total. (2014). *Universidad de Piura, tesis*(14417610295),



21. Retrieved from
http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_44_176_10_295.pdf
- Mescua, Raul; Li, C. (2016). *Propuesta de plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad a una flota de camiones fuera de carretera en una mina de tajo abierto*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Retrieved from
https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/619973/LI_GC.pdf?sequence=14&isAllowed=y
- Montilla Montaña, C., Arroyave Londoño, J., & Silva M., C. (2007). Caso De Aplicación De Mantenimiento Centrado En La Confiabilidad RCM, Previa Existencia De Mantenimiento Preventivo. *Scientia et Technica*, 5(37), 273–278.
- Moubray, J. (2004). *Rcm II Mantenimiento centrado en confiabilidad*.
- Muñoz, B. (2015). *Mantenimiento Industrial*. Universidad Carlos III de Madrid. Retrieved from <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/teoria-de-maquinas/lecturas/MantenimientoIndustrial.pdf>
- Quezada Banchón, M. A. (2014). Plan para la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad en plantas de tratamiento de agua potable.
- Rojas, M. (2011). IMPLEMENTACIÓN DE LOS PILARES TPM (Mantenimiento Total Productivo) DE MEJORAS ENFOCADAS Y MANTENIMIENTO AUTÓNOMO, EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN OFIXPRES.
- Silva, E. (2005). *Implantación del TPM en la zona de enderezadoras de Aceros Arequipa*. Universidad de Piura. Retrieved from
http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_44_176_10_295.pdf
- Villena, A. (2019). *Propuesta de implementación de un plan de mantenimiento de equipos bajo las técnicas del TPM en una empresa constructora*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). Retrieved from
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/622200>
- VOLVO. (2016). Volvo Trucks. Driving Progress, 1–24. Retrieved from
www.volvotrucks.es
- Volvo FMX. (2015). Volvo FM a medida, 1–18. Retrieved from
WWW.MAQUINARIASPESADAS.ORG



ANEXOS

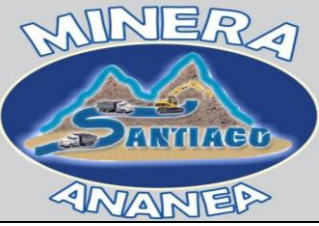
Anexos 1: Tabla de comparación entre TPM y RCM

TPM	RCM
Se involucra a los altos mandos de la empresa para empezar el TPM.	No es necesario la intervención de altos mandos de la empresa para empezar su implementación.
La implementación del TPM obtiene mejores resultados a un largo plazo.	La aplicación del RCM es más sencilla y fácil de aplicar lo que no necesita demasiado tiempo para obtener buenos resultados.
Existe una participación continua de los trabajadores en la toma de decisiones que realiza la Cooperativa, logrando un cambio de mentalidad y actitud por parte de los trabajadores.	Los trabajadores involucrados reciben constantes capacitaciones mejorando el ambiente de trabajo y logrando un mejor compromiso con la Cooperativa.
Al contar con un plan de mantenimiento definido se permite identificar fallas en equipos más fácil y rápido.	La cantidad de tiempo invertido en el mantenimiento rutinario disminuye hasta en un 30%.
Tiene como objetivo mejorar la eficiencia en equipos y operaciones de sistemas.	Tiene como objetivo aumentar la fiabilidad de la instalación.
El TPM se enfoca a empresas que tienen problemas con la producción, mantenimiento y deficiencias en el clima organizacional.	El RCM se enfoca en empresas que exigen altos niveles de confiabilidad, como industria alimenticia, farmacéutica, etc.
La combinación de ambas tácticas de mantenimiento se complementan y fortalecen las debilidades, pero su implementación en toda la planta requiere de un alto costo y tiempo para obtener resultados viables.	

Elaboración propia



Anexos 3: Formato Check List Camiones Volquetes

		<p align="center">Check List Camiones Volquetes Fecha: 01 Enero 2020</p>		
Placa camión-volquete				
Actividad				
Fecha de inspección		Hora De Inspección		
Fecha de arranque		Hora de arranque		
N°	Ítems a ser verificados	Bueno	Malo	Obs.
Sistema Eléctrico				
1	Luces			
2	Luz de emergencia			
3	Luces Intermitentes			
4	Faros			
5	Faro de retroceso			
6	Baterías			
7	Claxon			
8	Alarma de retroceso			
9	Tablero Eléctrico			
Sistema De Transmisión Y Frenos				
11	Nivel de aceite hidráulico			
12	Nivel de aceite de transmisión			
13	Nivel de aceite de dirección			
14	Nivel de líquido de embrague			
15	Nivel de líquido de frenos			
Sistema De Motor				
17	Nivel de aceite del motor			
18	Fajas de alternador			
19	Fajas de ventilador			
20	Nivel de combustible			
21	Filtro de aire			
22	Nivel de agua de radiador			
Sistema De Suspensión				
23	Neumáticos			
24	Muelles			
Encargados de la inspección				
Apellidos y nombres:		DNI:	Firma:	



Anexos 4: Formato de Almacén

		ALMACEN				
		Fecha: 01 Enero 2020				
Ítem	Código	Nombre del repuesto	Cantidad	Placa	Mecánico	Fecha
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						



Anexos 5: Formato de Mantenimiento de Equipo

Placa/cód		Mes											Año			
Fecha	Total Kilómetros u horas	Petróleo (Gls)	Gasolina (Gls)	Líquido de Freno	Aceite Motor	Aceite Transmisión	Aceite Hidráulico	Filtro Aceite motor	Filtro Combustible	Filtro Aire	Filtro Aire	Filtro Transmisión	Grasa	Servicio Lavado	Servicio Engrase	inicial
Horometro o Kilometraje inicial																
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																





Anexos 6: Parte Diario de Volquete

Hrs. Trab.		Cód. Equipo			Fecha:		Turno		D	N
		Horometro Inicial			Kilometraje Inicial					
		Horometro Final			Kilometraje Final					
		Frente	Origen	Destino	Hora Inicio	Hora Fin	Actividad/ Descripción	Total/ Min.	Paradas operativas	
							Par.	Hr. Inicio	Hr. Fin	
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										



Anexos 8: Formato de reporte de fallas

		FORMATO DE REPORTE DE FALLAS	
		Fecha: 01 Enero 2020	
EQUIPO	Placa: N° V6B-898.		
COMPONENTE	CHASIS.		
FECHA DE PARADA	22/09/20	HORA DE PARADA :	14:30
FECHA DE ARRANQUE	—	HORA DE ARRANQUE	—
FALLAS DEL VEHICULO			
1	- Se encontraron grietas en la parte		
2	trasera del vehículo.		
3			
4	- Posible deformación del chasis a		
5	causa de la carga excesiva cargada		
6	- por el vehículo.		
7			
8			
9			
10			
11			
12			
ENCARGADOS DE LA INSPECCION			
APELLIDOS Y NOMBRES		DNI	FIRMA
OPERADOR: Jorge Jora M.		44054900	
MECANICO:			
OBSERVACIONES:			



Anexos 9: Check List Camiones Volquetes

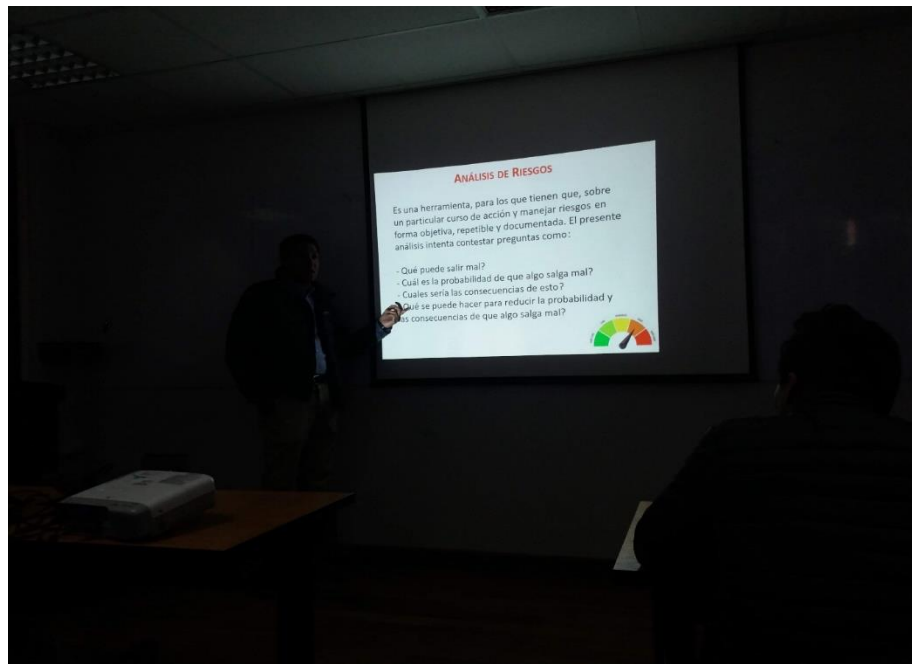
MINERA SANTIAGO ANANEP		Check List Camiones Volquetes		
		Fecha: 01 Enero 2020		
Placa camión-volquete	V6B-762			
Actividad	Acarreo Material			
Fecha de inspección	03/08/2020	Hora De Inspección	6:30 am	
Fecha de arranque	03/08/2020	Hora de arranque		
N°	Ítems a ser verificados	Bueno	Malo	Obs.
Sistema Eléctrico				
1	Luces	✓		
2	Luz de emergencia	✓		
3	Luces Intermitentes	✓		
4	Faros	✓		
5	Faro de retroceso	✓		
6	Baterías	✓		
7	Claxon	✓		
8	Alarma de retroceso			N/A
9	Tablero Eléctrico	✓		
Sistema De Transmisión Y Frenos				
11	Nivel de aceite hidráulico	✓		
12	Nivel de aceite de transmisión	✓		
13	Nivel de aceite de dirección	✓		
14	Nivel de líquido de embrague	✓		
15	Nivel de líquido de frenos	✓		
Sistema De Motor				
17	Nivel de aceite del motor	✓		
18	Fajas de alternador	✓		
19	Fajas de ventilador	✓		
20	Nivel de combustible	✓		
21	Filtro de aire	✓		
22	Nivel de agua de radiador	✓		
Sistema De Suspensión				
23	Neumáticos	✓		
24	Muelles	✓		
Encargados de la inspección				
Apellidos y nombres:	Conroya Bravo Edward	DNI: 42152750	Firma:	



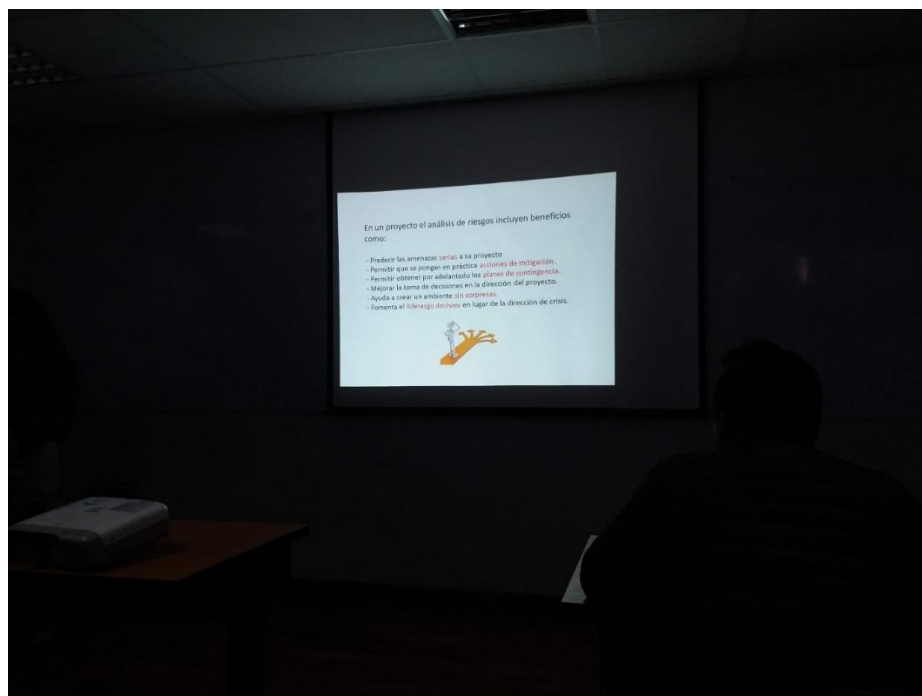
Anexos 10: Parte Diario de Volquete

Hrs. Trab.		Cód. Equipo			Fecha: 18/08/20		Turno	D	N		
		V6B-762			Kilometraje						
		Horometro Inicial			Inicial						
		Horometro Final			Kilometraje Final						
	Fren te	Orig en	Desti no	Hor a Inici o	Hor a Fin	Actividad/ Descripción	Tota l/ Min.	Paradas operativas			Tota l/ Min
								Pa r.	Hr. Inicio	Hr. Fin	
1	D	C	-	6:00	19:00	T. Material	-	x	-	-	-
2	D	C	-	6:00	19:00	T. Material	-	x	-	-	-
3	D	C	-	6:00	19:00	T. Material	-	x	-	-	-
4	D	C	-	6:00	19:00	T. Material	-	x	-	-	-
5	D	C	-	6:00	19:00	T. Material	-	x	-	-	-
6	H	C	-	6:00	19:00	T. Material	-	✓	10:35	11:10	-
7	H	C	-	6:00	19:00	T. Material	-	x	-	-	-
8	H	C	-	6:00	19:00	T. Material	-	✓	-	-	-
9	S	C	-	6:00	19:00	T. Material	-	x	-	-	-
10	S	C	-	6:00	19:00	T. Material	-	✓	-	-	-
11	S	C	-	6:00	19:00	T. Material	-	x	-	-	-
12	S	C	-	6:00	19:00	T. Material	-	✓	14:15	16:30	-
13	S	C	-	6:00	19:00	T. Material	-	x	-	-	-
14	E	C	-	6:00	19:00	T. Material	-	x	-	-	-
15	E	C	-	6:00	19:00	T. Material	-	x	-	-	-
16	E	C	-	6:00	19:00	T. Material	-	x	-	-	-
17	E	C	-	6:00	19:00	T. Material	-	✓	13:45	15:24	-
18	E	C	-	6:00	19:00	T. Material	-	x	-	-	-
19	E	C	-	6:00	19:00	T. Material	-	x	-	-	-
20	E	C	-	6:00	19:00	T. Material	-	x	-	-	-
21	D	C	-	6:00	19:00	T. Material	-	x	-	-	-
22	D	C	-	6:00	19:00	T. Material	-	x	-	-	-
23	D	C	-	6:00	19:00	T. Material	-	x	-	-	-
24	D	C	-	6:00	19:00	T. Material	-	x	-	-	-

Anexos 11: Capacitación sobre TPM y RCM



Anexos 12: Capacitación sobre TPM y RCM



Anexos 13: Volquetes FMX de la Cooperativa Minera Santiago



Anexos 14: Volquete FMX



Anexos 15: Volquete FMX en Cantera D



Anexos 16: Carguío de Volquete FMX





Anexos 17: Cooperativa Minera Santiago LTDA

