



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE
Laureate International Universities

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA
INCREMENTAR LA RENTABILIDAD EN LA OPERACIÓN CERRO CORONA DE
LA EMPRESA SAN MARTIN CONTRATISTAS GENERALES S.A.

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO INDUSTRIAL

AUTOR:
Bach. Edwin Fernando Yengle Medina

ASESOR:
Ing. Rafael Luis Alberto Castillo Cabrera

TRUJILLO – PERÚ
2016

DEDICATORIA

A nuestro Padre Celestial por darme la vida y la oportunidad de realizar mis metas.

A mi Padres, Hermanos y Tíos Por haberme apoyado, con sus consejos, por sus ejemplos de perseverancia y constancia, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien.

A mi Esposa e Hijos, Por siempre estar a mi lado, brindándome todo su amor, entrega, dedicación y sobre todo por tenerme mucha comprensión y paciencia durante estos años de mi vida. Ustedes siempre motivaron mi desarrollo profesional.

EPÍGRAFE

“No se puede llegar a la perfección sin haber cometido por lo menos un error”

(Anónimo)

AGRADECIMIENTO

Primeramente me gustaría agradecerle a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

A la empresa SMCG S.A. Por permitirme elaborar este trabajo.

A mi asesor y docentes que nos brindaron su incondicional apoyo.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que quisiera agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mi recuerdo y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darle las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

PRESENTACIÓN

Señores Miembros del Jurado:

De conformidad y cumpliendo lo estipulado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada del Norte, para Optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial, pongo a vuestra consideración la presente Proyecto intitulado:

PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA INCREMENTAR LA RENTABILIDAD EN LA OPERACIÓN CERRO CORONA DE LA EMPRESA SAN MARTIN CONTRATISTAS GENERALES S.A.

El presente proyecto ha sido desarrollado durante los primeros de Julio a Octubre del año 2016, y espero que el contenido de este estudio sirva de referencia para otras Proyectos o Investigaciones.

Bach. Edwin Fernando Yengle Medina

LISTA DE MIEMBROS DE LA EVALUACIÓN DE LA TESIS

Asesor:

Ing. Rafael Luis Alberto Castillo Cabrera

Jurado 1:

Ing. Marcos Baca López

Jurado 2:

Ing. Ramiro Mas McGowen

Jurado 3:

Ing. Miguel Ángel Rodríguez Alza

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo general el desarrollo de una propuesta de mejora en el área de operaciones en el proceso de carguío para incrementar la producción por ende la rentabilidad de la empresa San Martin Contratistas Generales S.A. En el proyecto Cerro Corona de la minera Gold Fields – Hualgayoc – Cajamarca.

En primer lugar se realizó un diagnóstico de la situación actual de la empresa del proceso de acarreo en la operación Cerro Corona de la empresa San Martin Contratistas Generales S.A. Puesto que se diagnosticó que eran las de mayor problemática en la empresa, ocasionando pérdidas considerables.

Después de concluir la primera etapa de identificación de problemas, se procedió a redactar el diagnóstico de la empresa, en el cual se tomó en cuenta la opinión de los trabajadores, y a su vez evidencias que demostraban lo mencionado anteriormente. Así mismo se realizó cálculos para determinar el impacto económico que genera en la empresa estas problemáticas representado en pérdidas monetarias.

A su vez posteriormente se implementó planes de mejora para reducir la baja disponibilidad y confiabilidad y por ende la baja producción. Obteniéndose una comparación favorable para la empresa (costos con propuesta & costos actuales). Finalmente se realizó una factibilidad económica de poner en marcha dicha propuesta, la cual se proyecta en todo el periodo de evaluación un total de beneficios de S/. 56, 941,140

De la evaluación económica se obtuvo un ahorro de S/. 1, 851,549, VAN de S/.36,202.293, TIR 37 % y un B/C de 3.38 significando una total viabilidad de la propuesta.

ABSTRACT

This work had as general objective the development of a proposal for improvement in the area of operations in the process to increase production cargo thus the profitability of the company San Martin General Contractors S.A. In the Cerro Corona mining project Gold Fields - Hualgayoc - Cajamarca.

First a diagnosis of the current situation of the company hauling process was carried out in the operation of the company Cerro Corona San Martin General Contractors S.A. Since it was diagnosed that were the most problematic in the company, causing considerable losses.

After completing the first stage of identifying problems, we proceeded to draft the diagnosis of the company, which took into account the views of workers, and to turn evidence showing the above. Also calculations were performed to determine the economic impact generated in the business these problems represented in monetary losses.

In turn later improvement plans to reduce low availability and reliability and therefore low production was implemented. Obtaining a favorable comparison to the company (with proposed cost & current costs). Finally an economic feasibility of implementing this proposal, which is projected throughout the evaluation period a total profit of S / was performed. 56, 941.140

Economic evaluation of savings S / was obtained. 1 851.549, NPV of S / 36202.293, IRR 37% and B / C of 3.38 signifying a full feasibility of the proposal..

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	iii
INDICE DE TABLAS	xii
LISTA DE ABREVIACIONES	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	3
GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.1 Realidad problemática	4
1.2 Formulación del Problema.....	7
1.3 Hipótesis.....	7
1.4 Objetivos.....	8
1.4.1 Objetivo General	8
1.5 Justificación.....	8
1.6 Tipo de Investigación.....	9
1.6.1 Por la orientación	9
1.6.2. Por el diseño	9
1.7 Diseño de la investigación	9
1.7.1 Localización de la investigación	9
1.7.3 Duración del proyecto	10
1.8 Variables.....	10
1.8.1 Variable dependiente	10
1.9 Operacionalización de variables	10
CAPÍTULO 2	12
MARCO REFERENCIAL.....	12
2.1 Antecedentes de la Investigación	13
2.2 Base Teórica	16
2.2.1 Introducción al Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad	16
2.2.2 Mantenimiento y RCM	23
2.2.3 RCM: Las siete preguntas básicas	24
2.2.4 Funciones	25
2.3 Definición de Términos	50

CAPÍTULO 3	52
DIAGNÓSTICO DE LA REALIDAD ACTUAL	52
3.1 Descripción general de la empresa	53
3.1.1 Historia	53
3.1.2 Misión	53
3.1.3 Visión.....	53
3.1.5 Unidades de negocio.....	57
3.1.6 ubicación de proyecto.....	59
3.1.7 Competidores.....	61
3.1.8 Clientes	61
3.1.9 Proveedores	62
3.2 Descripción particular del área de la empresa objeto de análisis	62
3.3 Identificación del problema e indicadores actuales.....	64
CAPÍTULO 4	68
SOLUCIÓN PROPUESTA.....	68
4 Desarrollo	69
4.1 Flujograma del proceso	70
4.2 Sistemas Principales del Volquete.....	71
4.3 Especificaciones de volquete VOLVO FMX440.....	73
4.4 Especificaciones de Motor	75
4.5 Especificaciones transmisión.....	76
4.6 Especificaciones de cardan	77
4.7 Especificaciones Diferenciales y coronas.....	78
4.8 Planes De Mantenimiento Actuales	79
4.9 Disponibilidad de volquetes	79
4.1.0 Confiabilidad de volquetes.....	80
4.1.1 Análisis de criticidad de equipo.....	81
4.1.2 Análisis de información de mantenimiento en volquetes	82
4.1.3 Reporte de fallas de volquetes	85
5 Aplicación RCM	92
5.1 Identificación de funciones	92
5.2 Identificación de fallas funcionales	92
5.3 Identificación de Modos de falla	92

5.4 Identificación de Efectos de falla	92
5.5 Matriz de riesgo	92
4.9 Análisis costo beneficios.....	126
CAPÍTULO 5	127
EVALUACIÓN ECONÓMICA FINANCIERA.....	127
5.1 Inversión	128
5.2 Egresos	129
5.3 Beneficios	134
5.4 Flujo De Caja	135
CAPÍTULO 6	136
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	136
6.1 Resultados.....	135
CAPÍTULO 7	138
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	138

INDICE DE GRÁFICOS

Grafico 1: Evolución de expectativas de mantenimiento.....	19
Grafico 2: Apreciaciones sobre fallas	20
Grafico 3: Evolución nuevas técnicas de mantenimiento	22
Grafico 4: Diagrama de flujo de proceso RCM	25
Grafico 5: Ejemplo fallas Funcionales	28
Grafico 6: Falla funcional	28
Grafico 7: Identificación y desarrollo de estrategia de mantenimiento para fallas ocultas.....	33
Grafico 8: Identificación y desarrollo de una estrategia de mantenimiento para una falla que afecta la seguridad o el medio ambiente.	34
Grafico 9: Identificación y desarrollo de una estrategia de mantenimiento para una falla que posee consecuencias operativas.	35
Grafico 10: Evaluación de las consecuencias de la falla.....	36
Grafico 11: Ilustración de intervalo fijo en fallas.....	37
Grafico 12: Patrones de fallas.	38
Grafico 13: Flujograma de implantación del RCM.....	43
Grafico 14: Grupo tipo RCM.	44
Grafico 15: Valores de la empresa.	55
Grafico 16: Organigrama operación Cerro Corona.	56
Grafico 17: Integración de valores Diagrama Ishikawa	64
Grafico 18: Diagrama de Pareto.....	66
Grafico 19: Flujograma del proceso.....	70
Grafico 20: Grafico de sistemas de volquete	72
Grafico 21: Grafico de tendencia disponibilidad 3 Últimos meses del año	79
Grafico 22: Porcentajes de Confiabilidad 3 Últimos meses del año.....	80
Grafico 23: Estadística de Modo Falla en Volquetes	87
Grafico 24: Estadística de Modo Falla en sistema eléctrico	88
Grafico 25: Estadística de Modo Falla en sistema suspensión.....	89
Grafico 26: Estadística de Modo Falla en sistema suspensión.....	90
Grafico 27: Estadística de Modo Falla en sistema suspensión.....	91
Grafico 28: Costos incurrido en cada sistema 3 últimos meses 2014	125
Grafico 29: Costos y Beneficios De las CR.....	135
Grafico 30: Costos y Beneficios Totales De las CR.	136
Grafico 31:% Costos y Beneficios Totales De las CR.....	136
Grafico 32:% De incrementos.....	137

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Relación flota de equipos.....	06
Tabla 2: Cronograma de trabajo	10
Tabla 3: Operacionalización de variables	11
Tabla 4: Descripción de funciones.....	27
Tabla 5: Descripción de fallas funcionales.....	29
Tabla 6: Modos de falla de una bomba.....	31
Tabla 7: Planilla informática de RCM.....	32
Tabla 8: Matriz de Priorización	65
Tabla 9: Pareto.....	65
Tabla 10: Matriz de Indicadores.....	67
Tabla 11: Lista de volquetes en C. Corona.....	69
Tabla 12: Especificaciones técnicas volquete.....	73
Tabla 13: Relación de transmisión.....	76
Tabla 14: Características diferenciales y corona.....	78
Tabla 15: Planes de mantenimiento.....	79
Tabla 16: Porcentaje acumulado de DM – MTBS	79
Tabla 17: Formato De Análisis De Criticidad	81
Tabla 18: Registro de generación de OT En Oracle	83
Tabla 19: Registro de materiales de OT En Oracle.....	83
Tabla 20: Registro de operaciones de OT En Oracle.....	84
Tabla 21: Registro de horas hombre de OT En Oracle	84
Tabla 22: Registro OTs Correctivas generadas en Oracle.....	85
Tabla 23: Función, Falla Funcional y Modos Fallas en Volquetes.....	86
Tabla 24: Estadísticas de Modo Falla en Volquetes	87
Tabla 25: Estadísticas de Modo Falla del sistema eléctrico	88
Tabla 26: Estadísticas de Modo Falla del sistema suspensión	89
Tabla 27: Estadísticas de Modo Falla del sistema chasis	90
Tabla 28: Estadísticas de Modo Falla del sistema tren de fuerza	91
Tabla 29: Funciones del sistema eléctrico del volquete FMX440.....	93
Tabla 30: Funciones y falla funcional del sistema eléctrico del volquete FMX440.....	94
Tabla 31: Modo de falla del sistema eléctrico del volquete FMX440.....	95
Tabla 32: Efectos falla del sistema eléctrico del volquete FMX440.....	96
Tabla 33: Matriz de riesgo del sistema eléctrico del volquete FMX440	97
Tabla 34: Tareas de mantenimiento en el sistema eléctrico del volquete FMX440.....	99

Tabla 35: Funciones del sistema suspensión del volquete FMX440	104
Tabla 36: Modos de falla del sistema suspensión del volquete FMX440	105
Tabla 37: Efectos falla del sistema suspensión del volquete FMX440	106
Tabla 38: Matriz de riesgo del sistema suspensión del volquete FMX440	107
Tabla 39: Tareas de mantenimiento en el sistema suspensión del volquete FMX440.....	109
Tabla 40: Funciones del sistema chasis del volquete FMX440.....	112
Tabla 41: Modos de falla del sistema de chasis del volquete FMX440	113
Tabla 42: Efectos falla del sistema de chasis del volquete FMX440.....	113
Tabla 43: Matriz de riesgo del sistema chasis del volquete FMX440	114
Tabla 44: Tareas de mantenimiento en el sistema chasis del volquete FMX440	115
Tabla 45: Funciones del sistema tren de fuerza del volquete FMX440	116
Tabla 46: Modos de falla del sistema tren de fuerza del volquete FMX440.....	117
Tabla 47: Efectos falla del sistema tren de fuerza del volquete FMX440	118
Tabla 48: Matriz de riesgo del sistema tren de fuerza del volquete FMX440	119
Tabla 49:Tareas mantenimiento en sistema tren de fuerza del volquete FMX440	121
Tabla 50: Costos incurridos en cada sistema en 3 últimos meses 2014	124
Tabla 51: Costos y beneficios obtenidos	126
Tabla 52: Inversión realizada en las 5CR	128
Tabla 53: Inversión realizada en alquileres y compra de volquetes	128
Tabla 54: Egresos generados inicio de proyectado	129
Tabla 55: Beneficios obtenidos.....	134

LISTA DE ABREVIACIONES

- VAN:** Valor actual neto o valor presente neto
- TIR:** Tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad
- B/C:** Beneficio – Costo
- RCM:** Mantenimiento centrado en la confiabilidad.
- TAMT:** Tapas de toberas
- SCP:** Cortes ambientales
- SCPE:** Cortes SCP
- SMCGSA:** San Martin Contratistas Generales S.A.
- BCM:** Metros cúbicos de banco
- DM:** Disponibilidad Mecánica
- MTBS:** Tiempo promedio entre reparaciones
- CODELCO:** Corporación Nacional del Cobre de Chile
- FODA:** Fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas
- CAT 390 DL:** Modelo de excavadora Caterpillar
- CR:** Causa raíz.
- NC:** No crítico
- MC:** Medio crítico
- C:** Crítico
- P:** Probabilidad
- FO:** Fallos ocultos
- SF:** Seguridad física
- MA:** Medio ambiente
- IC:** Imagen Corporativa
- OR:** Operaciones de reparación
- OC:** Efectos en cliente

INTRODUCCIÓN

De acuerdo a lo anterior, la presente investigación describe la desarrollada propuesta de un plan de mantenimiento basado en RCM para incrementar la rentabilidad en la operación cerro corona de la empresa San Martin Contratistas Generales S.A.

En el Capítulo I, se muestran las generalidades de la investigación, que enmarcan a la realidad problemática, la hipótesis, los objetivos del proyecto de implementación, justificación, variables y la Operacionalización de variables.

En el Capítulo II, se describen los planteamientos teóricos relacionados con la presente investigación, que contiene las más importantes investigaciones que se han realizado desde el punto de vista de su valor teórico sobre el presente proyecto.

En el Capítulo III, se describe el diagnostico actual de la empresa, descripción de la general de la empresa, descripción particular del área de la empresa objeto de análisis, identificación del problema e indicadores actuales.

En el Capítulo IV, se describe la metodología que se utilizara para el estudio de la investigación. (RCM) la cual identifica las función, funciones primarias y secundarias, fallas funcionales, modos de fallas, efectos de fallas y matriz de riesgos de cada de unos de los sistemas evaluados.

En el Capítulo V, se describe el análisis de los resultados obtenidos, después de una evaluación económica de la propuesta como VAN, TIR y B/C.

En el Capítulo VI, se muestran los resultados y discusiones de la investigación, como los beneficios como la reducción de costos incurridos por parada de equipos debidos a las 5 CR Principales causantes de bajo % en los indicadores de DM – MTBS. Los cuales se mejoró o se mejorara con las herramientas aplicada en un

aproximadamente - 62% del presupuesto actual. Además de incrementar la disponibilidad en un 90% y 75% en el MTBS.

Finalmente se plantean las conclusiones y recomendaciones como resultado del presente estudio.

Además, la presente investigación permitirá a los lectores conocer los resultados de la implementación de un sistema de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad en el sector minero.

.

Además la presente investigación permitirá a los lectores conocer las mejores prácticas a realizar en un sistema de mantenimiento preventivo de lubricación en el sector minero.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES DE LA

INVESTIGACIÓN

1.1 Realidad problemática

Durante los últimos 20 años, el mantenimiento en el Perú ha cambiado, quizás más que otra disciplina gerencial. Estos cambios se deben principalmente al importante aumento en número y variedad de los activos físicos (planta, equipos, edificaciones) que deben ser mantenidos, diseños más complejos y nuevos métodos de mantenimiento, y además de una óptica cambiante en la organización del mantenimiento y sus responsabilidades.

El mantenimiento responde a las expectativas de cambio, que incluyen una toma de conciencia para evaluar hasta qué punto las fallas en los equipos afectan a la seguridad y al medio ambiente; relación entre mantenimiento y la calidad del producto y de poder alcanzar una alta disponibilidad en la planta y mantener costos bajos.

En la actualidad, la minería está sufriendo una expansión sin precedentes en los anales de esta actividad. Pero ese avance al ser tan abrupto y repentino, muchas veces no es acompañado por el de las actividades de apoyo como las constituyen mantenimiento, y sus ligadas, logística y abastecimiento. Es acá donde debe ponerse la mayor atención, pues el mantenimiento en minería (en especial la gran minería) es en muchos casos el primer presupuesto de la empresa y por lo tanto debe ser manejado de manera muy cuidadosa con una estrategia clara a través de un plan altamente estructurado que evite paradas, accidentes, problemas ecológicos, desviaciones en el presupuesto, etc.

En la Corporación Nacional del Cobre de Chile (Codelco) con la aplicación estructurada de la metodología RCM logo beneficios como el aumento de su producción en 14% logrando un impacto entre \$ 600 mil y un millón \$ anuales, reducción de costos de mantenimiento identificados entre 170 a 310 K \$/año, también se eliminó una de las 2 paradas de mantenimiento semanales de 4 horas. En la implantación de un mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) a los hornos convertidores de la fundición de cobre de Southern Perú en el año se logró un incremento del índice de disponibilidad operacional del 1.89%, que involucra un ahorro inicial de 4'241.807.40 US\$ al año, ya que el precio del cobre aumento en un 7.3% en el primer trimestre del año.

Se propuso que para cuando se realice la implantación del primer proyecto RCM a las Grúas Puente de Hornos CPS en la fundición, un incremento de su disponibilidad en un 1.5% y 3.5%, sin embargo lo real obtenido fue del 1.81% en la Grúas Puente y 3.69% en los Hornos Convertidores PS.

El RCM aplicado a cargadores KOMATSU WA1200-3 de la operación minera Barrick Pierina logro los incrementar su disponibilidad de 72.6% a 88.3 % y confiabilidad (Promedios entre 2 equipos) de 80.5% a 88.1%, promedios obtenidos en meses de En – Julio y Ago. – Nov. 2012.

La industria minera en el Perú presenta crecimiento acelerado. Sin embargo este avance muchas veces no es acompañado por la actividad de apoyo como las que constituye la gestión adecuada de mantenimiento. Es en este punto donde debe ponerse la mayor atención, pues el mantenimiento en minera equivale a un gran porcentaje del presupuesto de la empresa y por lo tanto debe ser manejado de manera estratégica y clara a través de un plan altamente estructurado para evitar paradas que causen desviaciones en el presupuesto por accidentes, problemas ecológicos, etc.

La confiabilidad depende de factores intrínsecos al sistema de los equipos y de factores propios de la organización de m mantenimiento. Entre estos factores externos al sistema de los equipos, está el personal ejecutor su nivel de especialización, procedimiento y recursos disponibles para la ejecución de actividades (talleres, infraestructura, equipos especializados, herramientas, instrumentos, repuestos etc.)

Entre los factores intrínsecos a los equipos está el diseño de sistema o de los componentes que lo conforma, para los cuales el diseño determina los procedimientos de mantenimiento y la duración las reparaciones realizadas.

La confiabilidad tiene que ver con la con tiempo promedio entre reparaciones y la efectividad del reparación realizada.

MTBS= Horas De Operación / N° De Paralizaciones

Actualmente la empresa SMCGSA se encuentra en la operación de Cerro Corona de la minera Gold Fields. Esta tiene como contrato la perforación y voladura , carguio y acarreo en el area de operaciones mina, para este contrato la empresa tiene como flota de equipos los siguientes.

Tabla 1: Relación flota de equipos

EQUIPOS - SEDE CERRO CORONA						
ITEM	DESCRIPCION	CODIGO MSM	EQUIPO			CAPACIDAD
			MARCA	MODELO	SERIE	
CARGADORES						
01	Cargador Frontal	C-46	CAT	CAT 988H	BXY00736	
02	Cargador Frontal	C-62	CAT	980H	JMS06437	4.40m3 / 3.75 yr3
03	Cargador Frontal	C-63	CAT	980H	JMS06468	4.40m3 / 3.75 yr3
04	Cargador Frontal	C-66	CAT	992K	H4C00537	12.3 m3
05	Cargador Frontal	C-68	CAT	980H	JMS06139	
PERFORADORAS						
01	Perforadora	EP-19	ATLAS	IR DM45E	8292	
2	Perforadora	EP-30	ATLAS	ROC L8 30	AVO11A1573	
03	Perforadora	EP-22	ATLAS	DM45E/HP	8484	
04	Perforadora	EP-28	INGERSOLL RAND	DML45E	T2307N174	
TRACTORES DE ORUGA						
01	Tractor de Orugas	T-41	CAT	D6T	OSMC01593	
02	Tractor de Orugas	T-42	CAT	D6T	OSMC01582	
EXCAVADORAS						
01	Excavadora	RE-24	CAT	374DL	PAS00137	
02	Excavadora	RE-32	CAT	374DL	PAS00734	
03	Excavadora	RE-33	CAT	374DL	PAS00730	
VOLQUETES						
1	Volquete	V-199	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G4BE778262	20M³
2	Volquete	V-200	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G6BE775378	20M³
3	Volquete	V-201	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G3B5775306	20M³
4	Volquete	V-202	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G3BE775305	20M³
5	Volquete	V-203	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G6BE775301	20M³
6	Volquete	V-204	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G6BE775587	20M³
7	Volquete	V-205	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G8BE775588	20M³
8	Volquete	V-206	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G8BE775655	20M³
9	Volquete	V-207	VOLVO	FM8X4R	93KJS02GXBE775656	20M³
10	Volquete	V-208	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G1BE775657	20M³
11	Volquete	V-209	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G3BE775658	20M³
12	Volquete	V-210	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G5BE775659	20M³
13	Volquete	V-211	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G1BE775660	20M³
14	Volquete	V-212	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G3BE775661	20M³
15	Volquete	V-213	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G6BE775654	20M³
16	Volquete	V-214	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G4BE775586	20M³
17	Volquete	V-215	VOLVO	FM8X4R	93KJS02GXBE775589	20M³

18	Volquete	V-216	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G1BE775304	20M³
19	Volquete	V-217	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G6BE777260	20M³
20	Volquete	V-222	VOLVO	FM8X4R		
21	Volquete	V-146	VOLVO	FM8X4R	93KAS02G3AE765100	20M³
22	Volquete	V-148	VOLVO	FM8X4R	93KAS02G8AE764945	20M³
23	Volquete	V-164	VOLVO	FM8X4R		
24	Volquete	V-960-AL	IVECO	ASTRA-HHD88648	ZCNH88648BP516852	24M³

Fuente: Elaboración propia

La empresa cuenta con área de mantenimiento de equipos que se encarga de mantener en buen estado los equipos del proceso, el área de mantenimiento cuenta con 80 colaboradores entre mecánicos línea amarilla, mecánicos línea blanca, electricista, mecánicos perforistas, soldadores, y llaneros los cuales el resultado de su participación principal es mantener los equipos operativos para que se puedan producir diariamente 20 000 BCM de mineral.

En esta operación nos centraremos en la confiabilidad de los equipos de carguío ya que en esta flota de equipos se está obteniendo una confiabilidad baja por ende la disponibilidad también es baja (Promedio DM = 75 % - MTBS = Promedio 45 Horas (56.3%) lo que hace imposible poder alcanzar de producción diaria (20 000 BCM) y mensual (600 000 BCM) ocasionando una pérdida de producción mensual de (160,171.00 BCM) reflejada en una pérdida mensual de \$ 1, 752,270.74.

1.2 Formulación del Problema

¿Cuál es el impacto de la propuesta de un plan de mantenimiento basado en RCM sobre la rentabilidad en la operación Cerro Corona de la empresa San Martin Contratistas Generales S.A.?

1.3 Hipótesis

La propuesta de un plan de mantenimiento basado en RCM incrementa la rentabilidad en la operación Cerro Corona de la empresa San Martin Contratistas Generales S.A.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Incrementar la rentabilidad en la operación Cerro Corona de la empresa San Martin Contratistas Generales S.A. con la propuesta de un plan de mantenimiento basado en RCM.

1.4.2. Objetivos específicos

Realizar un diagnóstico de la situación actual de los volquetes para identificar las causas de la baja confiabilidad en el proceso de acarreo.

Desarrollar el plan de mantenimiento basado en RCM.

Evaluar la factibilidad económica financiera de la propuesta.

1.5 Justificación.

1.5.1 Justificación cualitativa

El presente estudio se justifica las cualidades y efectividad del método RCM que contribuye a mejorar siguientes modos

Mayor seguridad e integridad medioambiental, Desempeño operativo optimizado, Mejor relación costo-efectividad: Lo que es más, si RCM se aplica correctamente a los sistemas de mantenimiento existentes, disminuye la cantidad de trabajo de rutina (en otras palabras, las tareas de mantenimiento se llevaran a cabo en una base cíclica) destinando en cada periodo, generalmente entre el 40% y el 70%. Si RCM es utilizado para desarrollar un nuevo programa de mantenimiento, la carga de trabajo es sumamente menor que si dicho programa se basa en cualquier otro método.

1.5.2 Justificación académica

El presente estudio se justifica con la aplicación de un programa de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, con lo cual se modificara su Programa de Mantenimiento Preventivo, simplificándolo, y haciéndole aportes de Mantenimiento Predictivo y Mantenimiento Autónomo. El rediseño de la

función Mantenimiento lograra reducir la Carga de trabajo de Mantenimiento, sin reducir la disponibilidad de los equipos.

1.5.3 Justificación económica

El presente estudio tendrá como beneficio económico el incremento de la rentabilidad por la reducción en los costos de mantenimiento y no afecto a otros costos como, costo de parada de equipos, costo por daños a la propiedad, al medio ambiente, a la persona.

1.5.4 Justificación social

El presente estudio presenta información que aporta para futuros trabajos que se inclinen por la gestión de mantenimiento tomando como referencia la confiabilidad

1.6 Tipo de Investigación

1.6.1 Por la orientación

Aplicada.

1.6.2. Por el diseño

Pre experimental.

1.7 Diseño de la investigación

1.7.1 Localización de la investigación

Distrito: Hualgayoc

Provincia: Hualgayoc

Departamento: Cajamarca

1.7.2 Alcance

La presente investigación se llevará a cabo en dos espacios: El trabajo de campo o aplicación (recopilación de información etc.) se desarrollará en área de equipos de la empresa San Martin C.G.S.A. en proyecto Cerro Corona y las tareas de gabinete (procesamiento y análisis de la información, etc.) en las

instalaciones de la Carrera Profesional de Ingeniería Industrial de la Universidad Privada del Norte.

1.7.3 Duración del proyecto

La presente investigación se realizara en un tiempo a cordado de 10 semanas el cual se trabajara de la siguiente manera.

1.7.4 Cronograma de trabajo (Diagrama de Gantt)

Tabla 2: Cronograma de trabajo

ITEM	ACTIVIDADES	JULIO			AGOSTO				SEPTIEMBRE			
		PREVIO	SEM 01 27-07-16	SEM 02 07-16	SEM 03 06-08-16	SEM 04 13-08-16	SEM 05 20-08-16	SEM 06 27-08-16	SEM 07 03-09-16	SEM 08 10-09-16	SEM 09 17-09-16	SEM 10 24-09-16
1	Plan de tesis											
2	Metodología + Revisión capítulos 1,2,3											
3	Avance capítulos 1,2,3											
4	Aprobación de capítulos 1,2,3 + Avance capítulo 4											
5	Sustentación preliminar											
6	Revisión capítulo 4											
7	Avance capítulo 4 y 5											
8	Aprobación capítulo 4 + Revisión capítulo 5 + Avance capítulo 6 y 7											
9	Aprobación capítulo 5 + Revisión capítulo 6 y 7 + Revisión jurados											
10	Levantamiento de observaciones + Aprobaciones capítulos 6 y 7											
11	Sustentación final											

Fuente: Elaboración propia

1.8 Variables

1.8.1 Variable dependiente

Rentabilidad en la Operación Cerro Corona.

1.8.2 Variable independiente:

Propuesta de un plan de mantenimiento basado en RCM.

1.9 Operacionalización de variables

Tabla 3: Operacionalización de variables

VARIABLE	METODO	DEFINICIÓN	INDICADORES	FORMULA
Variable independiente: Propuesta de un de mantenimiento basado en RCM	RCM	Es un proceso usado para determinar que debe hacerse para asegurar que todo activo continúe funcionando como sus usuarios lo desean en el presente contexto operativo	Disponibilidad	$D(\%): \frac{\text{MTBS}}{\text{MTBS} + \text{MTTR}}$
			Mantenibilidad	$\text{MTTR}: \frac{\text{Total tiempo de aradas}}{\text{Número de paradas}}$
	MTSB	Es el tiempo de operación promedio entre paradas de equipo , la cual es expresada en horas	Confiability	$\text{MTBS}: \frac{\text{Horas operadas}}{\text{Número de paradas}}$
Variable dependiente: Rentabilidad	Rentabilidad	Mide los ingresos obtenidos del mineral explotado.	Ingresos mensuales	$\text{ROI}: \frac{\text{Ingreso} - \text{Inversión}}{\text{Inversión}} \times 100$

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 2

MARCO REFERENCIAL

2.1 Antecedentes de la Investigación

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Título:

Modelo de Mantenimiento Centrado En Confiabilidad en la flota de equipos de oruga D11N.

Año

2011 – Bucaramanga - Colombia

Autor

Jose Elias Arzuaga Churio

Resumen

El proceso de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM Realizado conjuntamente con el personal de producción y mantenimiento constituye una herramienta fundamental para definir la 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 a taller se le realicen solamente las tareas de mantenimiento mínimas necesarias, optimizando así mismo los recurso de la flota.

El análisis de modos de falla y sus efectos del RCM permite tener una información precisa de las causas de fallas y sus importancia, en el caso de los tractores D11N las fallas de motor y las fallas en sistema eléctrico son las que más impactan en la confiabilidad de estos equipos, el analizar cuáles son las causas de estas fallas es lo que permite con el diagrama lógico de decisiones de RCM definir tareas de mantenimiento específicas para poder eliminarlas

Además el proceso de RCM se definieron indicadores de gestión que permitan medir la calidad de los trabajos de mantenimiento, el mejor indicador para medir la confiabilidad es el tiempo promedio entre paradas MTBS, un incremento en el MTBS indica un incremento en la confiabilidad del equipo y una mejora en la calidad de los trabajo de mantenimiento.

El proceso de RCM por si solo asegura el logro de las metas de mantenimiento se hace necesario involucrar a todas las personad del grupo de

mantenimiento, líderes, planeadores, supervisores y técnicos para con una visión clara de los objetivos y unas auditorias constantes a cada una de las estrategias implementadas para que se puedan alcanzar los objetivos propuestos.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Título:

Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) A los hornos convertidores de la fundición de cobre

Año

2015 – Lima – Perú

Autor

Carlos Roberto Cordova Morales

Resumen

Mediante la implantación del segundo proyecto RCM a los Hornos Convertidores PS, se propone un incremento del índice de disponibilidad operacional del 1.89%, que involucra un ahorro inicial de 4'241.807.40 US\$ al año, ya que el precio del cobre ha aumentado en un 7.3% en el primer trimestre del año. Reducción del código de falla MPRM de reparaciones mayores u overhauls, a 9 y 11 días las reparaciones parciales y generales respectivamente.

Reducción de tiempo del 50% del código de falla TATM de tapas de toberas, se justifica mediante el benchmarking realizado en la fundición de cobre de la compañía minera Codelco de Chile, mediante la operación de un nuevo diseño de toberas, el cual permitió la reducción del 50% de las fallas en los hornos convertidores PS.

Para el año 2006, se propone la misma distribución de tiempos para los Hornos Convertidores PS; y para el año 2007, cuando comience a operar la nueva fundición el índice de disponibilidad será de aproximadamente 95.1%, incremento del 14.9%, debido a que se eliminará los tiempos por SCP.

El incremento de disponibilidad de los Hornos Convertidores PS obtuvo un ahorro entre los 6'337,105.83 y 8'225,563.36 US\$ al año debido al incremento del precio del cobre del 29.8%, durante todo el año 2004.

Mediante la jerarquización de equipos y la formulación de los criterios necesarios para el análisis, se incrementó la importancia de la seguridad operacional y la protección ambiental, como primeros factores a tomar en cuenta en las nuevas tareas y procedimientos de trabajo.

Al reunir toda la información necesaria de operación y mantenimiento de los Hornos Convertidores PS, los ingenieros de las áreas involucradas establecieron los requerimientos reales de mantenimiento de dicho equipos, aprovechando al máximo el recurso humano y tecnológico existente, para la realización de las actividades de mantenimiento, en forma efectiva y racional.

La implantación del RCM, fomentó el trabajo en equipo, convirtiéndolo en algo rutinario; donde las reuniones fueron dinámicas, logrando sinergia al interior del grupo natural de trabajo y ayudando al personal a comprender la labor de su compañero.

De acuerdo a la metodología de registro del RCM, éste facilita el proceso de normalización (ISO 9000) a través del establecimiento de procedimientos de trabajo y un manejo adecuado de la información.

La metodología de trabajo del RCM asigna responsabilidades a todo el personal que está involucrado con la organización, desde la alta gerencia hasta los trabajadores de la planta, mejorando la efectividad.

2.1.3 Antecedentes Locales

Título:

Propuesta de mejora de la Gestión De Mantenimiento Basado En La Mantenibilidad De Equipos De Acarreo.

Año

2012 – Cajamarca – Perú

Autor

Miguel Angel Rodriguez Del Aguila

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo general la mejora de la gestión de mantenimiento basado en la Mantenibilidad de equipos de acarreo de una empresa minera de Cajamarca permitiendo lograr incrementar la disponibilidad mecánica en dichos equipos.

Se inició con el diagnóstico de la situación actual de la empresa y de la gestión de Mantenimiento para llegar a conocer los puntos débiles dentro del proceso y poder formular propuestas para mejorar y reducir costos relacionados al mantenimiento. Así mismo, la propuesta de mejora será aplicada en el área involucrada con la gestión de mantenimiento.

Al comprobar la factibilidad de la propuesta de mejora con un VAN de \$ 15'402,040.02 siendo mayor que cero, permite afirmar que el proyecto rinde una tasa mayor que la exigida y por ende el proyecto es aceptable luego de haber comparado el ahorro que tendríamos aplicando los indicadores con la situación actual y lo óptimo que tendría que medir la empresa.

Algunos otros resultados que se lograron son:

Que el área de mantenimiento tenga un diagnóstico para identificar sus debilidades y poder retroalimentar el proceso

Se establecieron los indicadores para asegurar una adecuada gestión de mantenimiento y asegurar la disponibilidad de equipos de acarreo

Acciones de mejora valorizada

Análisis FODA del área de mantenimiento para establecer las estrategias de mantenimiento.

2.2 Base Teórica

2.2.1 Introducción al Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

Durante los pasados 20 años, el mantenimiento cambió, quizás mucho más que cualquier otra disciplina de gerenciamiento. El cambio se debe a un enorme incremento en el número y variedad de bienes físicos (plantas, equipos, edificios) que deben ser mantenidos alrededor del mundo, diseños mucho más complejos, nuevas técnicas de mantenimiento, y cambiante ideología con respecto a la organización y responsabilidades del mantenimiento.

El mantenimiento también responde a expectativas variables. Estas incluyen el hecho de advertir cada vez más el alto grado en el que las fallas en equipos afectan la seguridad y el medioambiente, una conciencia creciente de la conexión entre mantenimiento y calidad del producto, y una presión cada vez mayor de alcanzar un alto rendimiento de las plantas y controlar los costos.

Estos cambios están poniendo a prueba al máximo actitudes y capacidades en todas las ramas de la industria. El personal de mantenimiento se ve obligado a adoptar un nuevo modo de pensar y actuar, como ingenieros y como gerentes. Al mismo tiempo las limitaciones de los sistemas de mantenimiento se están haciendo más evidentes, no importa cuán computarizados estén.

Ante la evidencia de esta avalancha de cambios, los jefes de las diversas áreas, están buscando un nuevo método de mantenimiento. Quieren evitar los falsos comienzos y callejones sin salidas que suelen conducir a mayores catástrofes. En cambio persiguen una estructura estratégica que sintetice los nuevos desarrollos en un patrón coherente, de manera que puedan ser evaluados sensiblemente, permitiendo escoger aquellos que más se adapten a ellos y a sus empresas.

Este libro describe una filosofía que provee justamente esa estructura ideológica. Se denomina mantenimiento centrado en la Confiabilidad. (RCM)

Si se aplica correctamente, el RCM transforma la relación entre la empresa que lo usa, sus bienes físicos existentes y el personal que opera y mantiene esos bienes. Además, permite que nuevos bienes sean puestos eficientemente en servicio, con gran velocidad, confianza y precisión.

Este capítulo provee una breve introducción al RCM, comenzando con un vistazo en cómo el mantenimiento ha evolucionado durante los últimos 60 años.

Desde 1930, la evolución del mantenimiento se puede trazar a través de tres generaciones. El RCM se está convirtiendo rápidamente en el cimiento de la tercera generación, pero ésta solo puede ser vista en perspectiva, a la luz de la primera y segunda generación.

La Primera Generación.

La primera generación cubre el periodo hasta la segunda guerra mundial. En esa época la industria no era altamente mecanizada, de modo que los tiempos

de inactividad no tenían demasiada importancia. Esto significa que la prevención de fallas en equipos no era una prioridad en la mente de la mayoría de los gerentes. Al mismo tiempo la mayoría de los equipos eran simples y muy bien diseñados esto los hacia confiables y fáciles de reparar.

Como consecuencia, no había necesidad de mantenimiento sistemático de ningún tipo, más allá que la limpieza, control y lubricación de rutina. La necesidad de habilidades específicas era inclusive menor de lo que es ahora.

La Segunda Generación.

Todo cambió dramáticamente desde la segunda guerra mundial. Las presiones de la guerra aumentaron la demanda de todo tipo de provisiones, mientras que la disponibilidad de mano de obra disminuyó notablemente. Esto llevo a una mayor mecanización. Para 1950, las maquinarias de todo tipo se habían multiplicado en número y complejidad. La industria estaba comenzando a depender de ellas.

A medida que esta independencia creció, la inactividad tuvo un enfoque más cercano. Esto trajo la idea de que las fallas técnicas podían y debían ser prevenidas, lo que trajo a su vez el concepto de mantenimiento preventivo. En 1960 éste consistía principalmente en el reacondicionamiento de los equipos, que se llevaba a cabo en intervalos fijos.

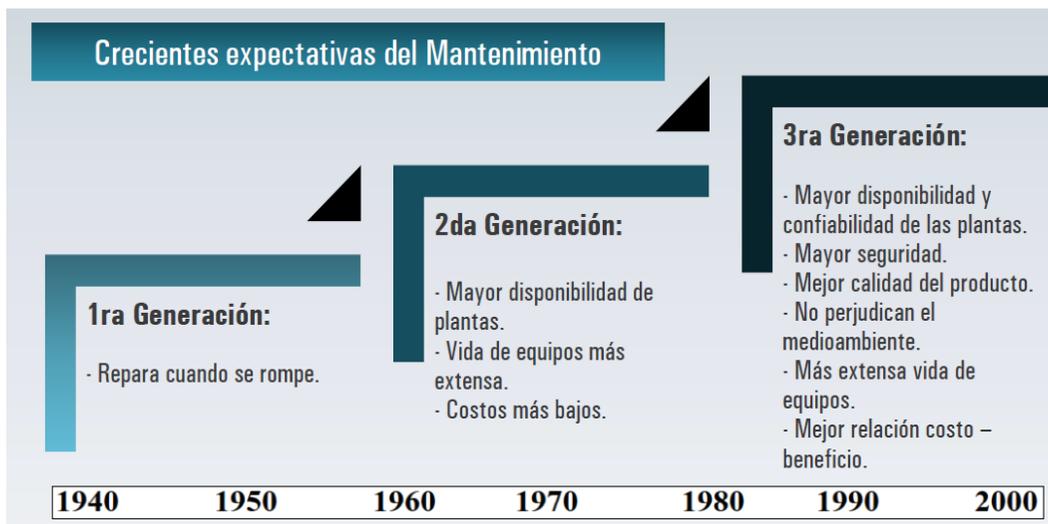
El costo de mantenimiento comenzó a incrementarse notablemente en comparación con otros costos operativos. Esto llevo al crecimiento de la planificación de mantenimiento y programas de control. Estos fueron una enorme contribución para comenzar a controlar el mantenimiento, y actualmente forman parte oficial de las prácticas de éste.

Finalmente la cantidad de capital invertido en bienes físicos y los costos crecientes, llevo a que los propietarios buscaran el modo de maximizar la vida de esos bienes.

La Tercera Generación

Desde mediados de 1970, el proceso de cambio en la industria ha conjugado un momentum aún mayor. Los cambios pueden clasificarse bajo los títulos de nuevas expectativas, nuevas investigaciones y nuevas técnicas.

Grafico 1: Evolución de expectativas de mantenimiento



Fuente: Mantenimiento Centrados en la confiabilidad (2º Edición – John Moubray)

El tiempo de inactividad afecta la capacidad productiva de los bienes físicos, reduciendo su rendimiento, incrementando los costos operativos y afectando el servicio al cliente. Esto ya era un problema de gran envergadura en 1960 y 1970, que perjudicaba a los sectores fabriles, mineros y de transporte. Los efectos de la inactividad se agravan aún más por la tendencia mundial a adoptar sistemas de exactitud, donde al reducirse la cantidad de material a través de la cadena de provisión, trae aparejado el hecho de que un número mínimo de fallas tienden a interferir con la operación general de la planta. Recientemente, el crecimiento de la mecanización y automatización trajo a aparejado que la garantía de funcionamiento y disponibilidad se conviertan en planteamientos claves en sectores tan diversos como cuidado de la salud, procesamiento de datos, telecomunicaciones y administración de edificios. Una mayor automatización significa también que cada vez fallas afectan nuestra capacidad de mantener los estándares elevados de calidad. Esto se aplica tanto a los servicios como a la calidad del producto. Por ejemplo, las fallas en equipos pueden afectar la climatización imprescindible en edificios, y la puntualidad de las redes de transportes puede ser clave en el cumplimiento de fechas específicas de fabricación.

Estas fallas tienen series consecuencias medioambientales y de seguridad, en una época cuando los estándares en estos aspectos son cada vez más elevados. En algunos sectores del mundo se está llegando al punto donde una

organización tiene que garantizar la seguridad de la sociedad y el medioambiente, o en su defecto debe dejar de operar. Esto agrega aún más a la magnitud de nuestra dependencia en la integridad de nuestros bienes físicos- hace que esto vaya más allá de los costos, y se convierta simplemente en una cuestión de supervivencia organizacional.

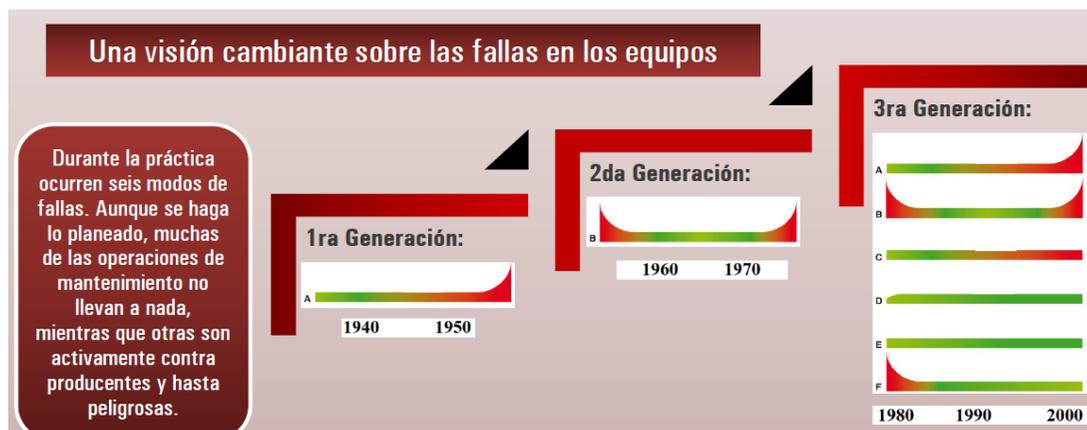
Al mismo tiempo que nuestra dependencia en los bienes materiales está creciendo, también lo se incrementan sus costos- de operación y de adquisición. Para asegurar el máximo retorno en la inversión que ellos representan, debemos lograr que trabajen eficientemente durante la vida útil que nosotros esperamos tengan. Finalmente el costo de mantenimiento en si mismo esta también aumentando, en forma equitativa y como una proporción de los gastos generales.

Para algunas industrias, este representa el segundo o hasta inclusive el mayor gasto entre los costos operativos. Como consecuencia en los últimos treinta años se posiciono desde el lugar prácticamente sin importancia que ocupaba, a formar hoy en día parte de las prioridades de los sistemas de control de costos.

Nueva Investigación

Difiriendo con expectativas mayores, las nuevas investigaciones están modificando muchos de nuestros principios más arraigados sobre la relación entre antigüedad y fallas. En particular, hay aparentemente cada vez una menor conexión entre la edad operativa de la mayoría de los bienes y que tan propensos son a fallar.

Grafico 2: Apreciaciones sobre fallas



Fuente: Mantenimiento Centrados en la confiabilidad (2º Edición – John Moubray)

El grafico 2 muestra como las primeras apreciaciones sobre las fallas estaban totalmente basadas en el principio de que a medida de que los bienes envejecen, tiene una mayor tendencia a fallar. La advertencia creciente de “mortalidad infantil” llevo a que se expandiera la idea de la Segunda Generación en la curva de “la bañera’.

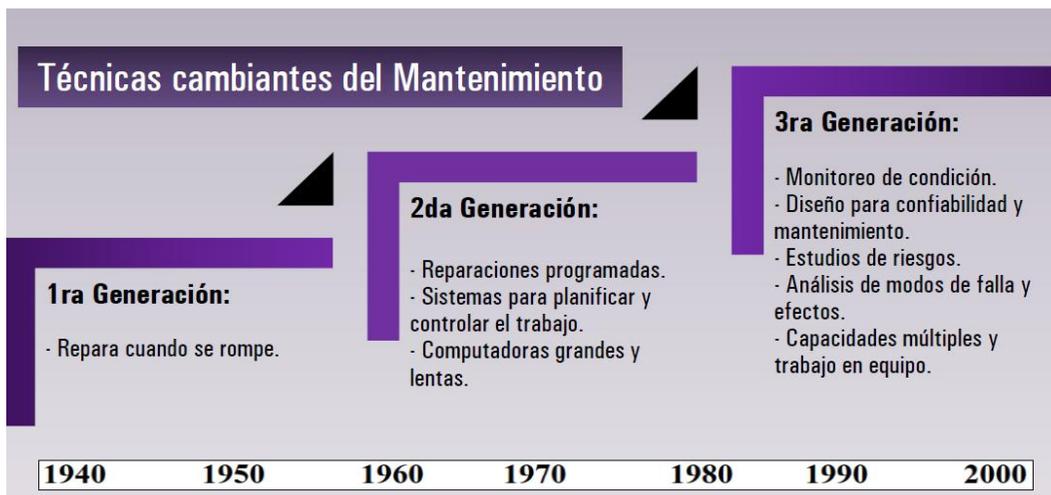
Sin embargo, las investigaciones de la tercera generación revelaron que no uno o dos, sino seis modos de fallas ocurren durante la práctica. Como se discute más detalladamente adelante en este capítulo, una de las conclusiones más importantes que emergen de este estudio es el convencimiento de que, aunque se halla hecho exactamente lo planeado, un enorme número de las operaciones tradicionales de mantenimiento no llevan a absolutamente nada, mientras que otras son activamente contraproducentes y hasta peligrosas. Esto es particularmente verídico en muchas acciones realizadas bajo nombre de mantenimiento preventivo. Por otro lado, muchas tareas de mantenimiento que son esenciales para la operación segura de sistemas industriales modernos y complejos, no figuran en los programas asociados de mantenimiento.

En otras palabras, la industria en general está poniendo una gran atención en realizar los trabajos de mantenimiento en forma correcta, (hacer correctamente el trabajo), pero se necesita hacer mucho más para asegurar que los trabajos planificados, son los trabajos que deben realizarse (hacer el trabajo correcto).

Nuevas Técnicas.

Hubo un crecimiento explosivo en los nuevos conceptos y técnicas de mantenimiento. Se desarrollaron cientos de ellos en los últimos 20 años y cada semana emergen nuevos.

Grafico 3: Evolución nuevas técnicas de mantenimiento



Fuente: Mantenimiento Centrados en la confiabilidad (2º Edición – John Moubray)

El grafico 3 muestra como el clásico énfasis en las reparaciones y el sistema administrativo creció, hasta incluir muchos nuevos proyectos en los diferentes campos.

Los nuevos proyectos incluyen:

Herramientas de toma de dediciones. Como ser los estudios de riesgos, tipos de fallas y análisis de los efectos y sistemas especializados.

Nuevas técnicas de mantenimiento, como ser monitoreo del estado

El diseño de equipos poniendo gran énfasis en la confiabilidad y mantenibilidad.

Un cambio mayor e el pensamiento organizacional, a través de la participación, trabajo en equipo y flexibilidad.

Como mencionamos anteriormente el mayor desafío que enfrenta el personal de mantenimiento hoy en día, no es solo interiorizarse en estas técnicas, sino decidir cuáles son útiles y valederas y cuáles no, para sus respectivas organizaciones. Si tomamos las decisiones correctas, es posible mejorar el funcionamiento de los equipos y al mismo tiempo, mantener y hasta reducir los costos de mantenimiento. Si tomamos las decisiones incorrectas, surgirán nuevos problemas y los ya existen solo empeoraran.

Los desafíos que enfrenta el mantenimiento

La primera industria en enfrentar estos desafíos sistemáticamente fue la industria de aviación comercial. Un elemento crucial de su respuesta fue el

darse cuenta de que se debía poner tanto esfuerzo en asegurar que el personal de mantenimiento esté haciendo el trabajo en forma correcta, como en garantizar que se está haciendo el trabajo correcto. Este proceso llevo a su vez al desarrollo del método de toma de dediciones comprensivo, conocido dentro de la aviación como MSG3, y afuera de ésta como Mantenimiento Centrado en la garantía de Funcionamiento o RCM.(Reliability – Centered Maintenance)

En prácticamente cualquier rama del esfuerzo humano organizado, el RCM se está volviendo tan fundamental para la protección de los bienes materiales, como los libros de doble contabilidad lo son para los bienes financieros. No existe ninguna técnica similar para identificar el menor número de actividades específicas y seguras que se deben realizar para preservar el funcionamiento de los bienes físicos, especialmente en situaciones críticas y riesgosas. El reconocimiento cada vez mayor a nivel mundial del rol fundamental del RCM en la formulación de estrategias de manejo de bienes físicos- y de la importancia de aplicarlo correctamente- llevó a la Sociedad Americana de Ingenieros Automotrices 1999, a publicar SAE Standar JA1011: “Criterios de Evaluación para los procesos de mantenimiento Centrado en la garantía de funcionamiento.”

2.2.2 Mantenimiento y RCM

Desde el punto de vista de la ingeniería, existen dos elementos para el manejo de cualquier bien físico. Este debe ser mantenido y cada tanto ser modificado. Los principales diccionarios definen Mantener, como causa de continuidad (Oxford) o Conservar en el estado actual (Webster). Esto sugiere que mantener significa preservar algo. Por otro lado, concuerdan en que modificar algo significa cambiar en algún aspecto. Esta distinción entre mantener y modificar tiene profundas implicancias que son discutidas ampliamente en capítulos siguientes. Sin embargo, nos concentramos en mantenimiento.

Cuando nos referimos a mantener algo, que es lo que pretendemos que continúe? Cuál es el estado actual existente que queremos preservar? La respuesta a este planteo puede encontrarse en el hecho de que todo bien físico se pone en servicio porque alguien desea que cumpla realice una tarea. En otras palabras, esperan que este cumpla una o más funciones. Entonces sucede que cuando nosotros mantenemos un bien, lo que remos preservar es

un estado en el que este siga cumpliendo con las funciones deseadas por el usuario.

Mantenimiento: Asegurar que los bienes físicos continúen cumpliendo las funciones que sus usuarios esperan.

Lo que los usuarios quieren dependerá en exactamente dónde y cómo el bien está siendo usado (el contexto operativo). Esto lleva a la siguiente definición formal de mantenimiento basado en la Garantía de Funcionamiento.

Mantenimiento Centrado en la garantía de funcionamiento: Un proceso usado para determinar que debe hacerse para asegurar que todo bien físico continúe funcionando como sus usuarios lo desean en el presente contexto operativo.

2.2.3 RCM: Las siete preguntas básicas

El proceso de RCM incita a responder las siguientes siete preguntas sobre el bien o sistema bajo revisión:

¿Cuáles son las funciones y respectivos estándares de desempeño de este bien en su contexto operativo presente?

¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?

¿Que ocasiona cada falla funcional?

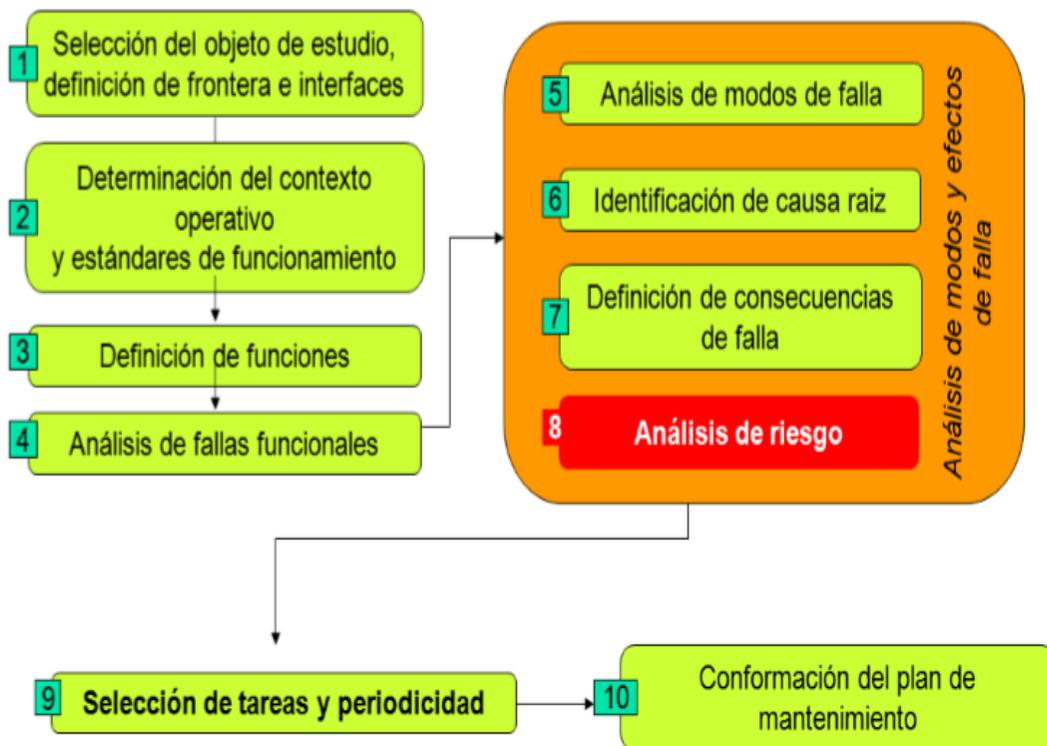
¿Qué sucede cuando se produce cada falla en particular?

¿De qué modo afecta cada falla?

¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?

¿Qué debe hacerse si no se encuentra el plan de acción apropiado?

Grafico 4: Diagrama de flujo de proceso RCM



Fuente: Tesis Modelo de Mantenimiento Centrado En Confiabilidad en la flota de equipos de oruga D11N - Jose Elias Arzuaga Churio

2.2.4 Funciones

Antes de que sea posible aplicar un proceso, utilizado para determinar qué debe hacerse para asegurar que todo bien físico continúe cumpliendo con su desempeño, del modo en que sus usuarios esperan dentro de su contexto operativo presente, necesitamos hacer dos cosas:

* **Determinar cuál es la función que los usuarios quieren que cumpla.**

* **Asegurar que el bien es capaz de comenzar con lo que los usuarios esperan.**

Es por esto que el primer paso del RCM es definir las funciones de cada bien en su contexto operativo, como así también los estándares de desempeño deseados. Las funciones que los usuarios pretenden que sus bienes desempeñen pueden dividirse en dos categorías:

Funciones primarias: Que sintetizan porque el bien fue adquirido en primer lugar. Esta categoría de funciones cubren temas tales como ***velocidad, rendimiento, capacidad de transportación o almacenamiento, calidad del producto y servicio al cliente.***

Funciones secundarias: Que indican que se espera que todo bien produzca más que simplemente su función primaria. Los usuarios también tienen expectativas en áreas como ***ser seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia de operación, cumplimiento con las normas medioambientales, y hasta la estética o apariencia del bien.***

Los usuarios de estos bienes se encuentran en la posición más óptima para saber exactamente como aporta cada bien al bienestar físico y financiero de la organización como un todo, de modo que es esencial que estén involucrados con el proceso de RCM desde un principio.

Si se realiza apropiadamente, este paso generalmente absorbe casi un tercio del tiempo necesario para un análisis de RCM completo. También implica que el personal llevando a cabo este análisis aprenda una cantidad considerable, que puede hasta ser atemorizante sobre cómo los equipos trabajan verdaderamente.

Como se deben alistar las funciones

Una especificación funcional escrita apropiadamente, especialmente si está cuantificada en su totalidad, define precisamente los objetivos de una empresa. Esto asegura que todos los involucrados conocen a la perfección lo que se desea, lo que a su vez garantiza que las actividades de mantenimiento permanecen enfocadas en las necesidades reales del usuario. (O “clientes”). También esto permite absorber más fácilmente los cambios desatados por nuevas expectativas sin descarrilar la empresa en su totalidad.

Las funciones están alistadas en las planillas de trabajo de RCM en la columna de la izquierda, las funciones primarias están enunciadas primero, y están ordenadas numéricamente, como se muestra en el grafico 2.9 (estas funciones se aplican al sistema de escape de una turbina de 5 mega watts)

Tabla 4: Descripción de funciones

PLANILLA INFORMATIVA RCM II

	<u>SISTEMA</u>
	<u>SUBSISTEMA</u>
	<u>FUNCION</u>
<u>1</u>	<u>Canalizar todos los gases de escape de la turbina de aire caliente sin restricción a un punto fijo de 10 metros sobre el techo de la antecámara de la turbina</u>
<u>2</u>	<u>Reducir los niveles de ruido de escape a Nivel de Ruido ISO de 30 a 50 metros.</u>
<u>3</u>	<u>Asegurar que la temperatura de la superficie del conducto interno del hall de la turbina no excede los 60° C.</u>
<u>4</u>	<u>Transmitir una señal de alarma al sistema de control de la turbina si la temperatura del gas de escape excede los 475 °C, y una señal de apagado si excede los 500° C a un punto de cuatro metros de la turbina.</u>
<u>5</u>	<u>Permitir el movimiento libre del conducto en respuesta a los cambios de temperatura.</u>

Fuente: Mantenimiento Centrados en la confiabilidad (2° Edición – John Moubray)

2.2.5 Fallas funcionales.

Los objetivos de mantenimiento son determinados por las funciones y respectivas expectativas de desempeño del bien bajo consideración. Pero ¿cómo se alcanzan estos objetivos?

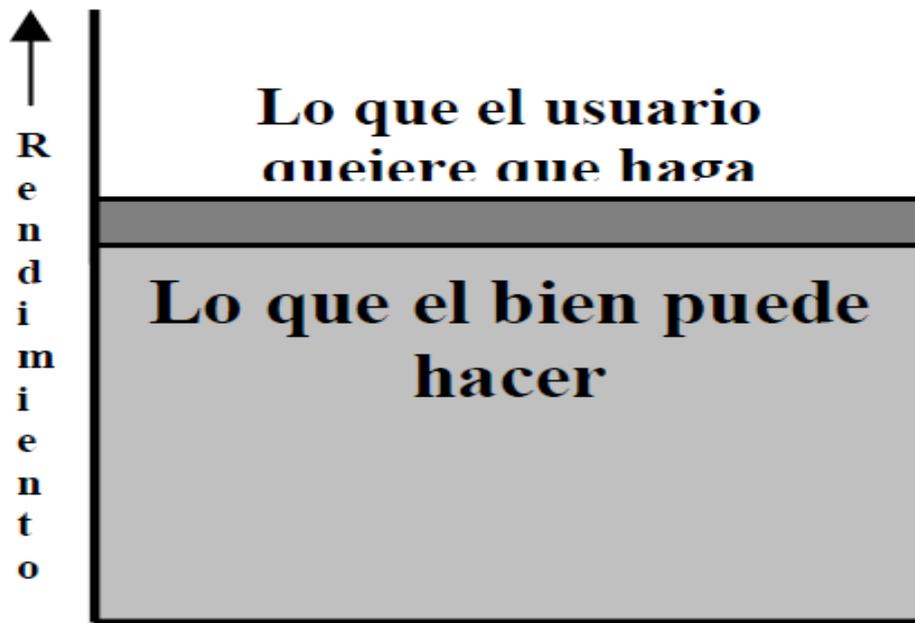
El único suceso que puede hacer que un bien deje de funcionar al nivel requerido es algún tipo de falla. Esto sugiere que el departamento mantenimiento alcanza sus objetivos, al adoptar un acercamiento acertado al manejo de las fallas. Sin embargo, antes de que podamos aplicar la conjunción de herramientas apropiadas, necesitamos identificar el tipo de fallas que pueden presentarse.

Esto lleva a una definición básica de falla y falla funcional”

“Se define “falla” como la incapacidad de un bien de cumplir con las funciones que el usuario espera realice”.

Por ejemplo si la bomba que se muestra en el grafico no fuera capaz de bombear 800 litros por minuto, no podrá mantener el tanque lleno, por lo que sus usuarios la consideraran “fallada”.

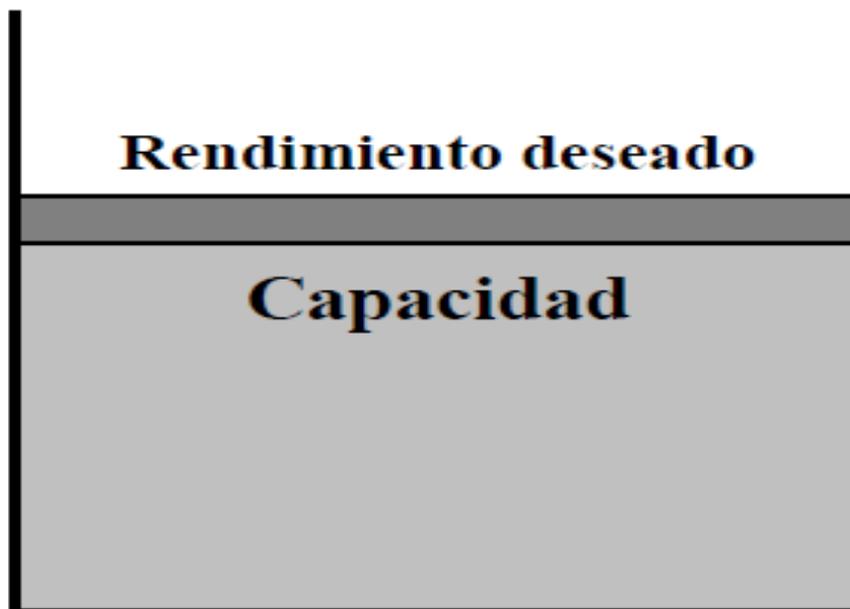
Grafico 5: Ejemplo fallas Funcionales



Fuente: Mantenimiento Centrados en la confiabilidad (2º Edición – John Moubray)

“Una falla funcional se define como la incapacidad de todo bien de cumplir una función a un nivel de desempeño aceptable por el usuario.”

Grafico 6: Falla funcional



Fuente: Mantenimiento Centrados en la confiabilidad (2º Edición – John Moubray)

El proceso de RCM realiza esto en dos niveles:

Primero, identificando qué circunstancias llevaron a un estado fallido

Luego investigando qué situaciones son las causantes de que un bien caiga en ese estado de falla.

En el mundo de RCM, los estados de falla son conocidos como fallas funcionales, porque ocurren cuando un bien es incapaz de cumplir una función a un nivel de desempeño que sea aceptable por el usuario. En adición a la incapacidad total para funcionar, esta definición abarca fallas parciales, donde el bien todavía funciona, pero a nivel inaceptable de desempeño, (incluyendo también los casos donde no se alcanza el nivel de precisión o calidad). Pero éstas solo pueden ser identificadas una vez que las funciones y desempeño estándares hayan sido definidas con claridad.

Como se deben detallar las fallas funcionales:

Las fallas funcionales se listan en la segunda columna d la planilla informativa de RCM.

Están codificadas alfabéticamente, como se muestra en el cuadro 4

Tablas 5: Descripción de fallas funcionales

<u>PLANILLA INFORMATIVA RCM II</u>	
SISTEMA	TURBINA 5
SUBSISTEMA	Mw. SISTEMA DE ESCAPE
FUNCION	FALLA FUNCIONAL
1	<p><u>Canalizar todos los gases de escape de la turbina de aire caliente sin restricción a un punto fijo de 10 metros sobre el techo de la antecámara de la turbina</u></p> <p>A Incapaz de canalizar el gas</p> <p>B Flujo de Gas restringido</p>
2	<p><u>Reducir los niveles de ruido de escape a Nivel de Ruido ISO de 30 a 50 metros.</u></p> <p>C Falla la contención de Gas.</p>
3	<p><u>Asegurar que la temperatura de la superficie del conducto interno del hall de la turbina no excede los 60° C.</u></p> <p>D Falla en transportar el gas a un punto de 10 metros sobre el techo</p>
4	<p><u>Transmitir una señal de alarma al sistema de control de la turbina si la temperatura del gas de escape excede los 475 °C, y una señal de apagado si excede los 500° C a un punto de cuatro metros de la turbina.</u></p> <p>A El nivel de Ruido excede el Nivel de Ruido ISO de 30 a 150 metros.</p> <p>A La temperatura de la superficie del conducto excede los 60°</p>
5	<p><u>Permitir el movimiento libre del conducto en respuesta a los cambios de temperatura.</u></p> <p>A Incapaz de enviar una señal de Alarma si la temperatura de escape excede los 500 ° C</p> <p>A No permite el movimiento libre del conducto.</p>

Fuente: Mantenimiento Centrados en la confiabilidad (2° Edición – John Moubray)

2.2.6 Modos De Falla

Como se menciona en los párrafos anteriores, una vez que hemos identificado cada falla funcional, el próximo paso es tratar de identificar todas las posibles causas de este estado de error. Estos eventos se conocen como modos de fallas. Los modos de falla “razonablemente similares” incluyen aquellas fallas que ocurrieron en el mismo equipo o en similares, operando en el mismo contexto, fallas que actualmente están siendo prevenidas por regímenes de mantenimiento ya existentes, y aquellas fallas que no ocurrieron aun, pero que se consideran como posibilidades muy reales en el contexto en cuestión.

Las listas de modos de fallas más tradicionales, incorporan fallas causadas por el deterioro o el uso y desgaste normal. Sin embargo también puede incluir fallas causadas por errores humanos (en parte por operarios y personal de mantenimiento) o por desperfectos de diseño de modo que los posibles causantes de fallas en equipos pueden ser identificados y manejados apropiadamente. Es también de suma importancia identificar la causa en detalle de modo que no se desperdicien tiempo ni esfuerzo en tratar síntomas en lugar de causas. Por otro lado, Es también de suma importancia asegurar que el tiempo no se desperdicia en el análisis mismo, por concentrarse en demasiados detalles.

Que es un modo de falla?

Un modo de falla puede ser definido como cualquier evento que causa que un bien (sistema o, proceso) puedan fallar. Sin embargo, vimos que es muy vago y simplista aplicar el término “falla” a un bien como un todo. Es mucho más preciso distinguir entre “falla funcional” (estado fallido) y “modo de falla” un evento que podría causar un estado de falla). Esto lleva una definición de falla más precisa:

“Un modo de falla es cualquier suceso que cause una falla funcional”

Tabla 6: Modos de falla de una bomba.

PLANILLA INFORMATIVA RCM II

SISTEMA		<u>SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE AGUA</u>	
SUBSISTEMA			
	<u>FUNCION</u>	<u>Falla Funcional</u>	<u>MODOS DE FALLA</u>
I	<u>Transferir Agua del Tanque X Al tanque Y a no menos de 800 litros por minuto.</u>	<p><u>A</u> Incapaz de transferir Agua</p> <p><u>B</u> Transfiere menos de 800 litro Por minuto.</p>	<p>1 Rodamiento falla</p> <p>2 El propulsor se suelta</p> <p>3 Propulsor atascado por un objeto extraño</p> <p>4 Campana de enganche falla por fatiga.</p> <p>5 Se quema el motor</p> <p>6 Válvula de entrada tapada</p> <p>7 Propulsor desgastado</p> <p>8 Línea de succión Parcialmente bloqueada.</p>

Fuente: Mantenimiento Centrados en la confiabilidad (2° Edición – John Moubray)

2.2.7 Efectos de las fallas

El cuarto paso en el proceso de RCM implica enlistar los efectos de las fallas, que describen lo que sucede cuando se presenta cada modo de falla. Esta descripción debe incluir toda la información necesaria para respaldar la evaluación de las consecuencias de las fallas, como ser,

- * *Evidencias, (si las hubiera), de que la falla ocurrió*
- * *En qué manera, (si las hubiera), representa una amenaza para la seguridad del medioambiente.*
- * *De qué modo, (si los hubiera) afecta la producción u operaciones.*
- * *Que debe hacerse para reparar la falla.*

El proceso de identificar funciones, fallas funcionales, modos y efectos de las fallas trae aparejadas oportunidades sorprendentes de mejorar el desempeño y seguridad, y de eliminar lo innecesario.

Tabla 7: Planilla informática de RCM

PLANILLA INFORMATIVA RCM II

SISTEMA Turbina de Gas 5 MW		Sistema N° 216-05	Facilitador: N. Smith	Fecha: 7-07-1996	Hoja N° 1
SUBSISTEMA Sistema de Escape		Subsistema N° 216-05-011	Auditor: P Jones	Fecha 07-08-1996	De 3
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)	MODOS DE FALLA (Causa de la Falla)		EFECTO DE LA FALLA (Que sucede cuando falla)	
1	Canalizar todo el as de la turbina de calefacción sin restricción a un punto fijo de 10 m. por encima del techo del hall de la turbina.	1	Monturas silenciadoras corroidas	Montaje del silenciador colapsa y cae al fundo de la torre. La presión trasera causa que la turbina surja violentamente y se apague a altas temperaturas de gas de escape. El tiempo de inactividad para reemplazar el silenciador. Dependiendo de la naturaleza del bloqueo, la temperatura de escape puede aumentar hasta apagar la turbina. El despojos podría afectar partes de la turbina. El tiempo de inactividad para reparar el silenciador es de 4 semanas.	
		1	Parte del silenciador falla por fatiga.		

Fuente: Mantenimiento Centrados en la confiabilidad (2° Edición – John Moubray)

2.2.8 Consecuencias De Las Fallas

Un análisis detallado de una empresa industrial promedio, tiende a arrojar entre tres y diez mil posibles modos de fallas. Cada una de estas fallas afectan a la organización en alguna escala, pero en cada caso los efectos son diferentes. Pueden afectar la operatividad. También pueden afectar la calidad del producto, servicio al cliente, seguridad del medioambiente. Todas significaran el gasto de tiempo y dinero para repararlas.

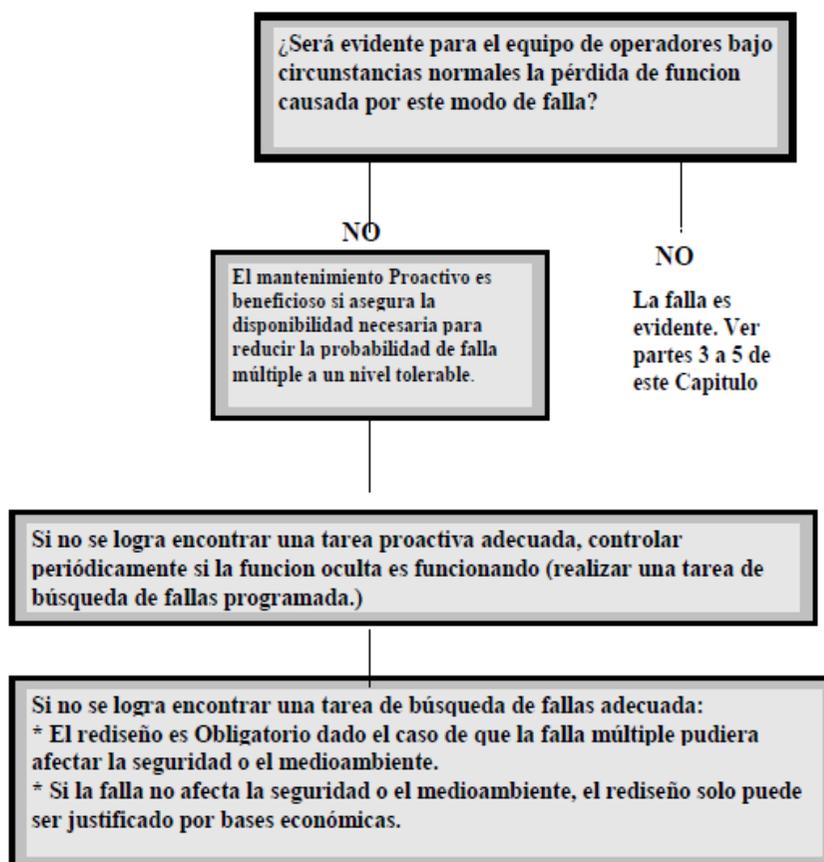
Son esas consecuencias las que ejercen la mayor influencia para que tratemos de prevenir cada falla. En otras palabras, si una falla trae consecuencias serias, tenderemos a hacer todo lo posible para tratar de evitarla. Por otro lado, si esta no afecta o afecta en un grado mínimo, entonces quizás decidamos no hacer un mantenimiento de rutina que vaya más allá de la limpieza y lubricación.

Uno de los puntos fuertes de RCM es que este reconoce que las consecuencias de las fallas son mucho más importantes que sus

características técnicas, en realidad reconoce que la única razón de hacer cualquier tipo de mantenimiento proactivo no es para evitar las fallas en si, si no evitar o al menos reducir las consecuencias que estas traen. El proceso de RCM clasifica estas consecuencias en los siguientes cuatro grupos.

Consecuencias de fallas ocultas: Las fallas ocultas no causan un impacto directo, pero exponen a la empresa a fallas múltiples, con consecuencias serias y frecuentemente catastróficas. (La mayoría de estas fallas están asociadas con sistemas de protección no libres de fallas)

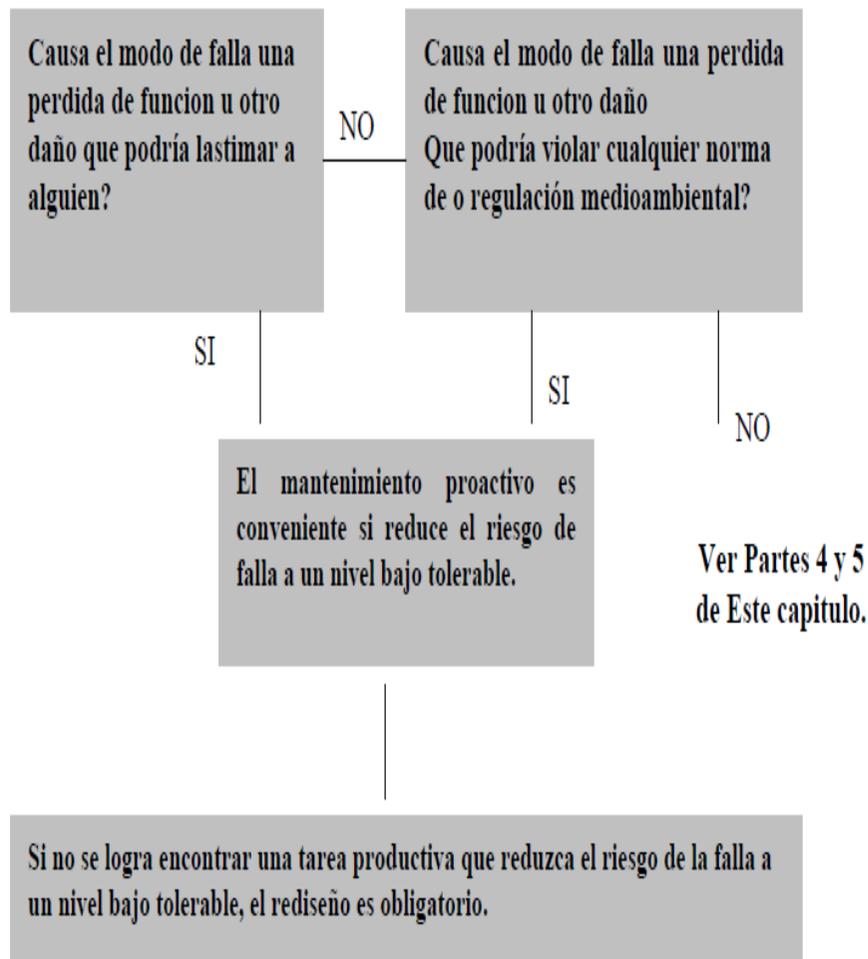
Grafico 7: Identificación y desarrollo de estrategia de mantenimiento para fallas ocultas



Fuente: Mantenimiento Centrados en la confiabilidad (2º Edición – John Moubray)

Consecuencias medioambientales y de seguridad: Una falla trae consecuencias de seguridad si potencialmente puede dañar o causar la muerte. Tiene consecuencias medioambientales si provoca la violación de cualquier norma medioambiental corporativa, regional, nacional o internacional.

Grafico 8: Identificación y desarrollo de una estrategia de mantenimiento para una falla que afecta la seguridad o el medio ambiente.

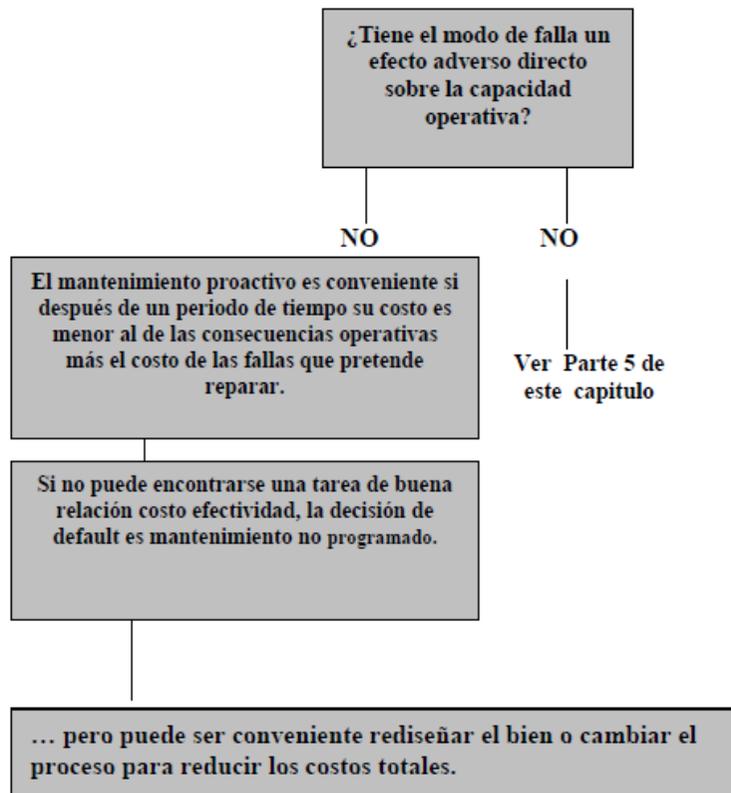


Fuente: Mantenimiento Centrados en la confiabilidad (2° Edición – John Moubray)

Consecuencias operativas: Una falla trae consecuencias operativas cuando afecta la producción (rendimiento, calidad del producto, servicio al cliente o costos operativos, además del costo directo de reparación)

“Una falla tiene consecuencias operativas si tiene un efecto adverso directo en la capacidad operativa”

Grafico 9: Identificación y desarrollo de una estrategia de mantenimiento para una falla que posee consecuencias operativas.



Fuente: Mantenimiento Centrados en la confiabilidad (2º Edición – John Moubray)

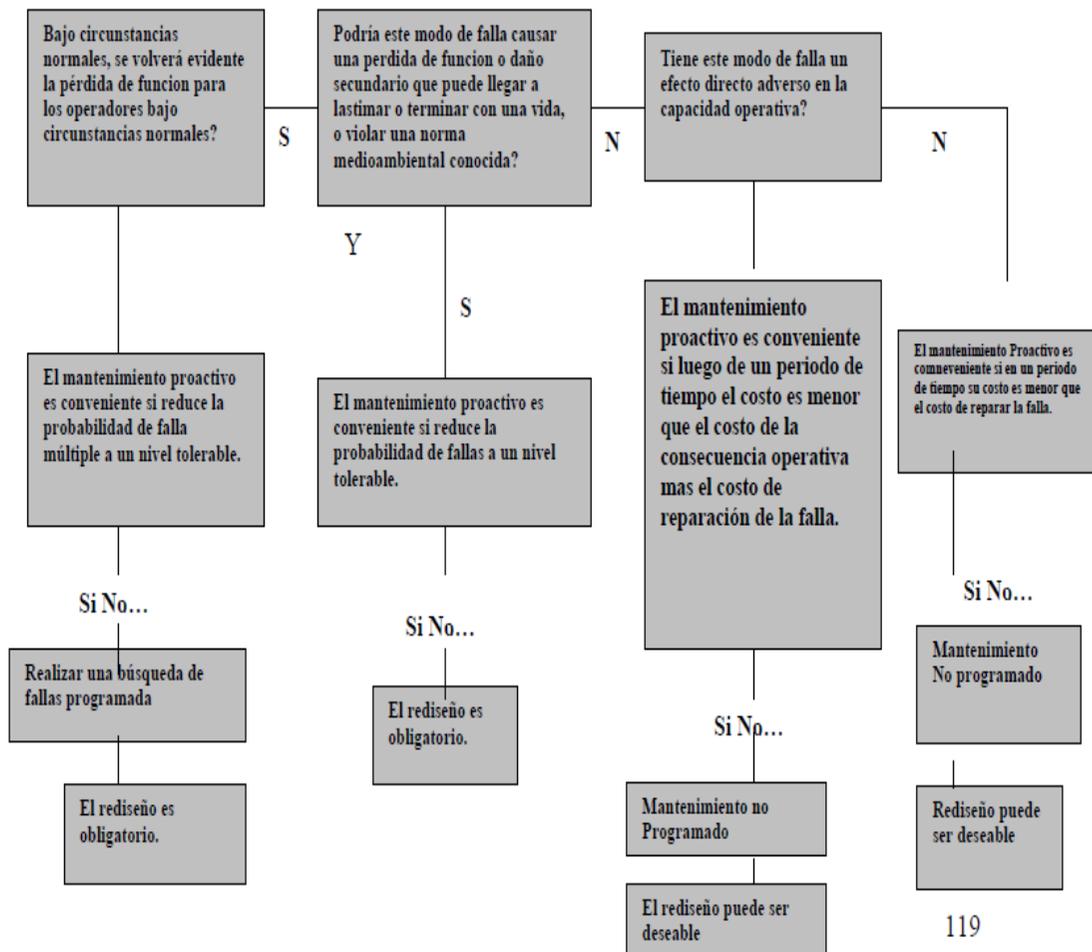
Consecuencias no operativas: Las fallas evidentes que conforman esta categoría, no tienen consecuencias ni de seguridad, ni de protección, de modo que solo implican el costo de reparación.

Veremos más adelante como los procesos de RCM usan estas categorías como la base de un marco estratégico para la toma de decisiones de mantenimiento. Forzando una revisión estructurada de las consecuencias de cada tipo de fallas, de acuerdo con las categorías antes descritas, integra los objetivos operativos, medioambientales y de seguridad; que son base de la función de mantenimiento. Esto ayuda a poner la seguridad y el medioambiente en la corriente principal del manejo de mantenimiento.

El proceso de evaluación de consecuencias quita énfasis a la creencia de que todas las fallas son malas y deben ser prevenidas. De este modo enfoca la atención en las actividades de mantenimiento que tienen mayor efecto en el desempeño de la organización, y no desgasta energía en aquellas que tienen

un menor o ningún efecto. También nos impulsa a pensar más en la prevención. Las técnicas del manejo de fallas se dividen en dos categorías

Grafico 10: Evaluación de las consecuencias de la falla.



Fuente: Mantenimiento Centrados en la confiabilidad (2° Edición – John Moubray)

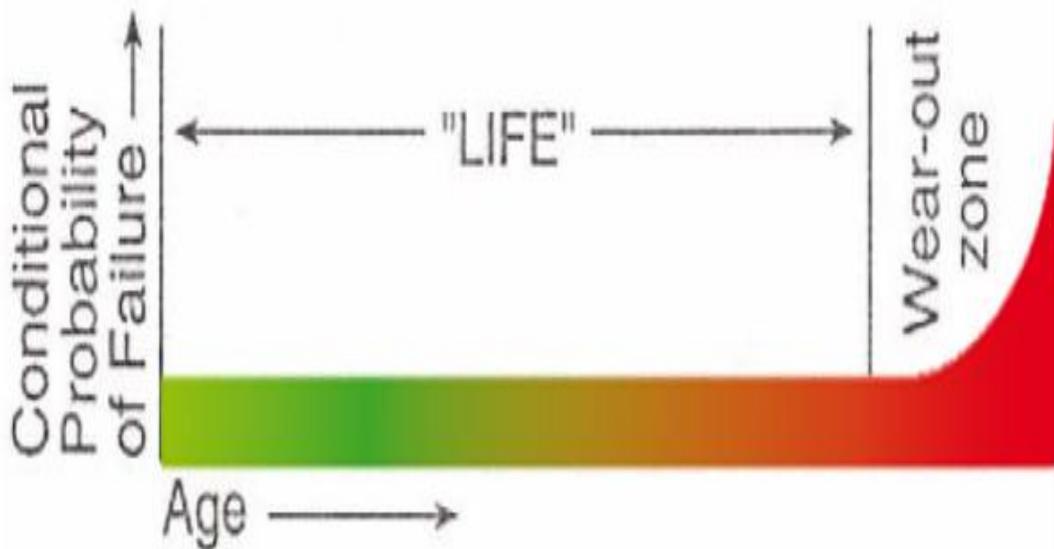
Tareas proactivas: Son los trabajos realizados antes de que la falla ocurra, para prevenir que el equipo llegue a un estado de falla. Esto abarca lo que se conoce tradicionalmente como mantenimiento “predictivo” o “preventivo”. Aunque veremos más adelante que RCM utiliza los términos *restauración programada*, *descarte programado* o *mantenimiento en condición*.

Acciones de omisión: estas se encargan del estado de falla, y son utilizadas cuando no es posible identificar una consigna proactiva efectiva. Las acciones de omisión incluyen *búsqueda de la falla*, *rediseño*, y *acudir a la falla*.

2.2.9 Tareas Proactivas

Muchas personas siguen sosteniendo que el mejor modo de optimizar la capacidad de una planta es tener una determinada rutina de mantenimiento proactivo. La sabiduría de la segunda generación sostiene que esta debería consistir en la reparación o reemplazo de componentes en intervalos fijos.

Gráfico 11: Ilustración de intervalo fijo en fallas.



Fuente: Mantenimiento Centrados en la confiabilidad (2° Edición – John Moubray)

El gráfico 9 se basa en la convicción de que la mayoría de los ítems operan confiablemente por un X periodo. El pensamiento clásico sugiere que los registros detallados de las fallas nos permitirán determinar la vida del equipo y de ese modo hacer planes para tomar acciones preventivas antes de que el ítem comience a fallar en el futuro.

Este modelo es útil para ciertos tipos de equipos simples, y para algunos más complejos con modos de fallas dominantes. En particular las características de durabilidad se encuentran cuando el equipo tiene contacto directo con el producto. Las fallas relacionadas a la edad se asocian con frecuencia con la fatiga, corrosión, abrasividad y evaporación.

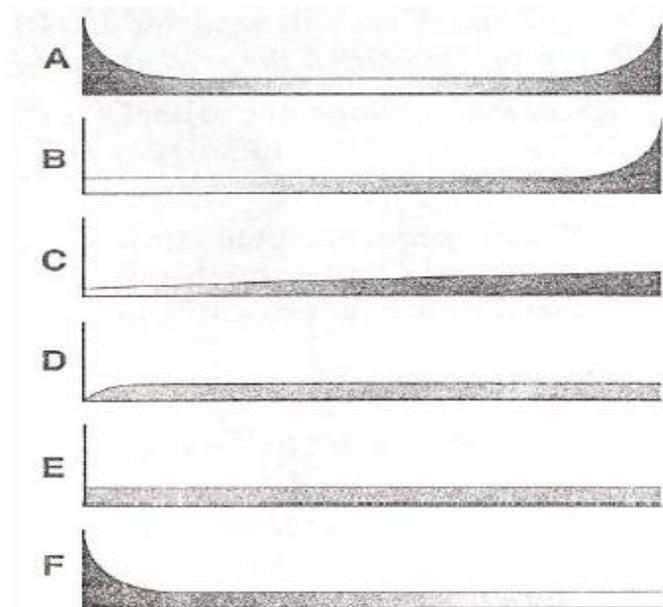
Sin embargo los equipos en general son mucho más complejos que veinte años atrás. Esto llevó a cambios iniciales en los patrones de falla, como se muestra en el gráfico 1.5. Los gráficos muestran la probabilidad condicional de

falla versus la edad operativa, en un número de equipos eléctricos y mecánicos.

El patrón A es la tan conocida “curva de la bañera”. Comienza con una incidencia alta de falla (conocida como mortalidad infantil) seguida por una probabilidad de falla condicional en lento o constante crecimiento, luego por la zona de desgaste.

El patrón B muestra una probabilidad de falla creciente, finalizando en una zona de desgaste similar al grafico 9

Grafico 12: Patrones de fallas.



Fuente: Mantenimiento Centrados en la confiabilidad (2º Edición – John Moubray)

El patrón C muestra una probabilidad de falla creciente pero no hay una edad de desgaste identificable. El patrón D muestra una baja probabilidad de falla cuando el equipo es nuevo o recién comprado, y luego una suba rápida a un nivel constante, mientras que el patrón E muestra una permanente probabilidad condicional de fallas a cualquier edad, (fallas casuales) El patrón F comienza con una mortalidad infantil alta, que disminuye eventualmente a una probabilidad condicional de falla muy lenta.

Los estudios realizados a una aeronave civil mostraron que un 2% de los ítems respondían al Patrón A, 2% al B, 5% al C, 7% al D, 14% al E y no menos del 68% al patrón F. (El número de veces que estos patrones se presentan en aeronaves, no es necesariamente el mismo que para la industria. Pero no hay duda de que a medida que los equipos se vuelven más complejos, se pueden observar más y más patrones E y F.

Estos descubrimientos contradicen la creencia de que siempre hay una conexión entre confiabilidad y edad operativa. Esta creencia lleva a la idea que cuanto más frecuentemente se examine un ítem, tendrá menos probabilidades de fallar. Hoy en día, esto es cierto muy de vez en cuando. A menos que haya una probabilidad de fallas por desgaste dominante, los límites de edad hacen poco y nada para mejorar la confiabilidad de ítems complejos. En realidad las restauraciones programadas pueden aumentar las fallas generales, introduciendo la mortalidad infantil en sistemas que de otro modo serían más estables.

Muchas organizaciones, al observar esto, optaron por abandonar la idea de mantenimiento proactivo en su totalidad. En realidad esto podría ser lo correcto para fallas con consecuencias menores. Pero cuando las consecuencias de las fallas son significantes, debe hacerse algo para prevenir o predecir esas fallas, o al menos para reducir las consecuencias.

Esto nos trae otra vez a la cuestión de las tareas proactivas. Como se menciona anteriormente, el RCM divide las tareas proactivas en tres categorías:

* *Tareas de restauración programadas*

* *Tareas de descarte programadas*

* *Tareas en condición programadas.*

Tareas de restauración y de descarte programadas.

Las tareas de restauración abarcan la refabricación de un componente, o la restauración de un montaje antes de que termine su vida útil programada, sin tener en cuenta su condición en ese momento. Del mismo modo, el descarte programado implica deshacerse de un ítem al, o antes del tiempo programado, sin importar su condición en ese momento.

Colectivamente, estas tareas se conocen como mantenimiento preventivo. Solían ser por lejos la forma de mantenimiento proactivo más utilizada. Sin embargo, por las causas detalladas anteriormente, se las utiliza notablemente menos que 20 años atrás.

Tareas en condición:

La necesidad continua de prevenir ciertos tipos de fallas, y la creciente incapacidad de las técnicas clásicas para lograrlo, están muy por detrás del crecimiento de nuevos tipos de manejos de fallas. La mayoría de estas técnicas se basan en que gran parte las fallas, dan algún tipo de aviso de que están por ocurrir. Estos avisos se conocen como fallas potenciales, y se definen como *condiciones físicas identificables que indican que una falla funcional, está por ocurrir o está en proceso de ocurrir.*

Las nuevas técnicas se usan para detectar fallas potenciales de manera que se pueda tomar acción para evitar las consecuencias que traerán si degeneran en fallas funcionales. Se las denomina tareas en condición por que los ítems son controlados bajo la condición de que estén dentro de sus patrones normales de funcionamiento. *(El mantenimiento en-condición incluye el mantenimiento preventivo, mantenimiento basado en la condición, y monitoreo de condición.)* Si se los usa apropiadamente, las tareas en condición son una muy buena forma de manejar las fallas, pero también pueden ser un gasto de tiempo muy costoso. RCM permite que se tomen dediciones en esta área con confianza particular.

Acciones de omisión:

El RCM reconoce tres categorías principales:

* **Descubrimiento de fallas:** las tareas de detección de fallas implican controlar las funciones encubiertas periódicamente para determinar si es que hubo fallas (mientras que las tareas en condición implican chequear si algo está fallando.

* **Rediseño:** implica realzar cambios en la capacidad interna del sistema. Esto implica modificaciones en el hardware y cubre los cambios de procedimientos.

* **Mantenimiento no programado:** Como es nombre lo implica, esta omisión implica no realizar ningún esfuerzo en anticipar o prevenir los modos de fallas

a los que se aplica, de modo que se permite que las fallas sucedan y luego se reparan. Este default también se conoce como acudir a la falla.

Proceso de selección de tareas de RCM.

Una de las grandes fortalezas de RCM es el modo en que ofrece un criterio simple, preciso y fácilmente entendible, para decidir cuál de las tareas proactivas (si las hubiere) es la realizable en cualquier contexto, y de ser así para decidir qué tan seguido deben realizarse y quien debe hacerlas.

Si las tareas proactivas son técnicamente viables o no, depende de las características técnicas de la tarea, y de la falla que se supone prevenga. Si es conveniente hacerlo depende de que tan bien se manejen las consecuencias de las fallas. Si una tarea proactiva no cumple con los requisitos de ser viable y productiva, entonces debe tomarse las acciones de default correspondientes.

A continuación se detalla la esencia del proceso de selección de tareas.

Para fallas ocultas, vale la pena realizar una tarea proactiva si esta va a reducir el riesgo de fallas múltiples asociadas con esa función, a un nivel tolerablemente bajo. Si hay seguridad en elegir la tarea adecuada, entonces se debe llevar un proceso de detección de fallas. Si el proceso adecuado para esto no se puede determinar, la decisión secundaria de omisión es que el ítem, deba ser rediseñado (dependiendo de las consecuencias de fallas múltiples).

Para fallas con consecuencias medioambientales y de seguridad, solo es válido realizar una tarea proactiva, si esta reduce el riesgo de ese problema en sí mismo, a un nivel muy bajo, de no eliminarlo directamente. Si no se encuentra una solución que disminuya el riesgo a un nivel tolerablemente bajo, el ítem debe ser rediseñado, o se debe cambiar de proceso.

Si la falla trae consecuencias operativas, solo vale la pena realizar una tarea proactiva si el costo total de realizarla durante un periodo de tiempo determinado, es menor que los costos de las consecuencias operativas y de reparación durante el mismo periodo. En otras palabras, la tarea debe tener un justificativo económico. Si no tiene esta justificación, la decisión de default inicial es mantenimiento no programado (Si esto ocurre, y las consecuencias operativas son aun inaceptables, entonces la segunda decisión de default es nuevamente el rediseño.)

Si una falla tiene consecuencias no operativas, solo vale la pena realizar una tarea proactiva, si el costo de ésta sobre un determinado periodo de tiempo es menor, al costo de reparación durante el mismo periodo. De modo que estas tareas también deben tener un justificativo económico. Si no lo tuviera, la decisión va a ser nuevamente un mantenimiento no programado, y si los costos de reparación fueran demasiado altos, la decisión de default secundaria es nuevamente el rediseño.

Esto significa que las tareas proactivas, se especifican únicamente para las fallas que inevitablemente lo requieran, lo que a su vez lleva a una reducción sustancial en la carga laboral de rutina. Menos trabajo de rutina trae aparejado, que el resto de las tareas pueden ser realizadas con mayor precisión. Esto, junto a la eliminación de tareas contraproducentes, lleva a un mantenimiento más efectivo.

Comparen esto con el método tradicional del desarrollo de políticas de mantenimiento. Tradicionalmente, los requerimientos de mantenimiento de cada bien, se evalúan en relación a sus características técnicas reales, sin considerar las consecuencias de las fallas. Los programas resultantes son aplicables para todos los bienes que poseen características similares, nuevamente sin considerar que las consecuencias serán diferentes de acuerdo al contexto operativo. Esto trae aparejado el desperdicio de un gran número de programas, no porque estén equivocados, sino porque no logran sus objetivos. Se debe tener también en cuenta que el proceso de RCM considera las necesidades de mantenimiento de cada bien, antes de plantear la posible necesidad de un rediseño. Esto sucede simplemente por el hecho de que el Ingeniero de mantenimiento que esta de turno hoy, 19 tiene que procurar el mantenimiento del equipo existente en su estado actual, no como podría o debería encontrarse en el futuro.

2.2.1.0 Aplicación Del Proceso De RCM

Antes de establecer y analizar los requisitos de mantenimiento de cualquier organización, necesitamos conocer sus bienes, y decidir cuáles de ellos serán los sometidos al proceso de revisión de RCM. Esto significa que se debe preparar un registro de la planta si es que no hubiere uno. En realidad la gran mayoría de las organizaciones industriales hoy en día poseen registros de

plantas, que se adecuan a este propósito, este manual solo abarca uno de los atributos más deseados.

Grafico 13: Flujograma de implantación del RCM

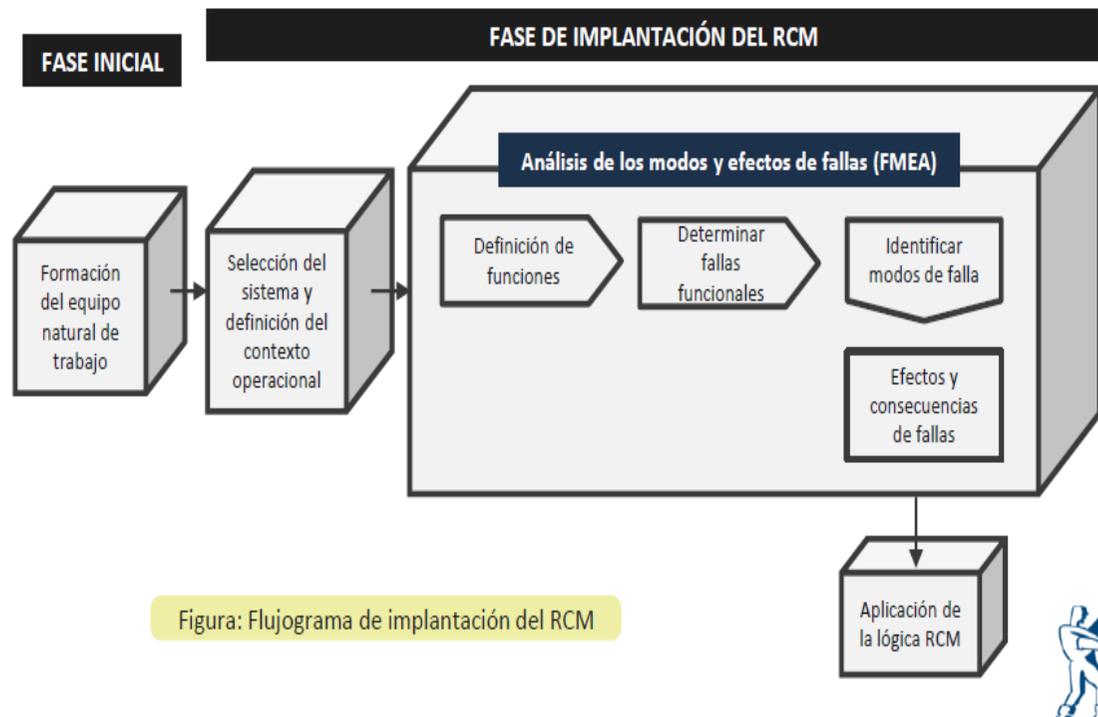


Figura: Flujograma de implantación del RCM

Fuente: Mantenimiento Centrados en la confiabilidad (2° Edición – John Moubray)

Planificación

Si se aplica correctamente, el RCM brinda mejoras remarcables en la efectividad del mantenimiento, y generalmente lo logra a una velocidad sorprendente. Sin embargo la aplicación exitosa de RCM depende de una preparación y planificación meticulosas. Los elementos claves para este proceso de planificación son:

Decidir qué bienes son lo que obtendrán un mayor beneficio del proceso de RCM, y como exactamente se verán beneficiados.

Evaluar los recursos necesarios para aplicar el proceso a los bienes seleccionados.

En los casos donde los posibles beneficios justifican la inversión, decidir detalladamente quién llevara a cabo el proceso y quién auditara cada análisis,

dónde y cómo, y hacer todos los arreglos para que reciban el entrenamiento necesario.

Asegurar que el contexto operativo del bien, se entienda con claridad.

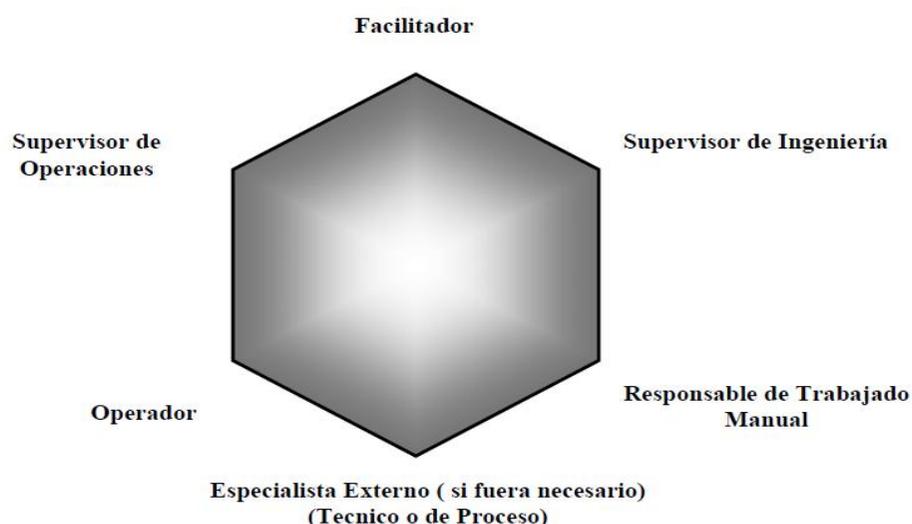
Grupos de revisión

Vimos anteriormente como el proceso de RCM da forma a 7 preguntas básicas. En la práctica, el personal de mantenimiento, simplemente no puede responder todas esas preguntas por si solos. Esto es porque muchas de las respuestas solo pueden ser provistas por personal de operación o producción. Esto se aplica especialmente a preguntas con respecto a funciones, desempeño deseado, efectos y consecuencias de las fallas.

Por esta razón se debe realizar una revisión de los requisitos de mantenimiento, esto debe ser realizado por grupos pequeños, que incluyan al menos una persona responsable de mantenimiento y una persona de la función operativa. La categoría de los miembros del grupo es menos importante que el real conocimiento que posean de cómo funciona el equipo. Cada miembro debe además haber sido capacitado en RCM. En el Grafico 1.6 se puede observar la organización de un grupo típico de revisión:

El trabajo en equipo no solamente permite a los gerentes conocer y absorber la experiencia de cada miembro en una base sistemática, sino que aporta a cada uno un entendimiento mucho más completo del funcionamiento del bien en su contexto operativo.

Grafico 14: Grupo tipo RCM.



Fuente: Mantenimiento Centrados en la confiabilidad (2º Edición – John Moubray)

Facilitadores:

Los grupos de revisión de RCM trabajan bajo la guía de especialistas altamente capacitados, conocidos como facilitadores. Los facilitadores son las personas más importantes en el proceso de RCM, su rol es garantizar que:

El análisis de RCM se lleva a cabo al nivel correcto, que los límites del sistema están claramente definidos, que los ítems de importancia no son pasados por alto, y que los resultados del análisis son registrados apropiadamente.

Que todos los miembros del grupo comprenden y aplican correctamente el proceso de RCM.

El grupo concuerda en general de un modo convincente, mientras se retiene el entusiasmo y compromiso individual de los miembros.

El análisis progresa con una rapidez razonable, y termina a tiempo.

Los Facilitadores trabajan a menudo con los jefes de proyecto de RCM o con los sponsors, para asegurar que cada análisis es planeado correctamente y goza del manejo y apoyo logístico necesario.

2.2.1.1 Resultados De Análisis De RCM

Si es aplicado del modo sugerido anteriormente, el análisis de RCM aporta tres resultados tangibles:

Rutinas de mantenimiento a seguir por el sector competente.

Procedimientos operativos seguros para los operadores del bien.

Una lista de áreas donde deban realizarse cambios, ya sean de diseño o del *modo operativo, para revertir las situaciones en las que no se están logrando los niveles productivos deseados con la configuración actual.*

Dos resultados menos tangibles son los conocimientos que los participantes adquieren y el hecho en mejoran sus técnicas de trabajo en equipo.

Auditorías e implementación.

Inmediatamente después de haber concluido la revisión de cada bien, los managers senior, con responsabilidad superior en el área deben estar satisfechos de que las decisiones tomadas por el grupo son sensibles y defendibles.

Después de que se aprueba cada revisión, las recomendaciones se implementan incorporando rutinas de mantenimiento en las planificaciones y sistemas de control, cambios en los procedimientos operativos del bien, y proveyendo recomendaciones de modificaciones de diseño a las autoridades del sector correspondiente.

2.2.1.2 Que Logra El RCM

Los resultados descritos anteriormente, deberían ser solo considerados como los medios para un fin. Específicamente, estos deberían permitir que las funciones de mantenimiento completen todas las expectativas detalladas. Cómo lo realizan se resume en los siguientes párrafos.

Mayor seguridad e integridad medioambiental.: el RCM considera las implicaciones medioambientales y de seguridad de cada falla, antes de considerar sus efectos en las operaciones. Esto significa que se siguen determinados pasos para minimizar los riesgos ambientales, y la seguridad relativa a los equipos, de no lograrse eliminarlos por completo. Al integrar el aspecto seguridad en la corriente de toma de decisiones de mantenimiento, RCM también logra mejorar las actitudes en este punto.

Desempeño operativo optimizado: (rendimientos, calidad y servicio al cliente): RCM reconoce que todo tipo de mantenimiento es valedero, y proporciona reglas para decidir cuál es el más aplicable en cada situación. De este modo, asegura que se escogen los métodos más apropiados de mantenimiento para cada bien en particular, y que se llevan a cabo las acciones necesarias en los casos en los que el mantenimiento no pueda ser de ayuda. Este esfuerzo de mantenimiento que presenta un enfoque más centrado conduce a una mejora productiva de los bienes existentes donde se la requiere.

RCM fue desarrollado para ayudar a las aerolíneas a diseñar un programa de mantenimiento para nuevas aeronaves antes de que entren en servicio. Como resultado, demostró ser un sistema ideal para desarrollar programas para nuevos bienes, especialmente equipos complejos de los cuales no se posee información histórica. Esto ahorra gran parte del sistema de prueba y error, tan

utilizado en los programas de mantenimiento; - la prueba, que implica frustración y consumo de tiempo, y error, que puede ser sumamente costoso.

Mejor relación costo-efectividad: RCM enfoca la atención continuamente en las actividades de mantenimiento que producen en mayor efecto en el desempeño de la planta. De este modo se asegura que lo invertido en mantenimiento, se utilizó de la manera prioritaria.

Lo que es más, si RCM se aplica correctamente a los sistemas de mantenimiento existentes, disminuye la cantidad de trabajo de rutina (en otras palabras, las tareas de mantenimiento se llevaran a cabo en una base cíclica) destinando en cada periodo, generalmente entre el 40% y el 70%. Si RCM es utilizado para desarrollar un nuevo programa de mantenimiento, la carga de trabajo es sumamente menor que si dicho programa se basa en cualquier otro método.

Mayor vida útil en equipos de costos elevados: debido al énfasis centrado el uso de técnicas de manutención en condición.

Un banco de datos comprensible: Todo reporte de RCM termina con un registro completo y totalmente documentado de los requisitos de mantenimiento de todos los bienes significativos utilizados por la organización. Esto hace posible adaptarse a circunstancias cambiantes (como ser rotaciones o nueva tecnología) sin tener que reconsiderar todas las políticas de mantenimiento desde la base. Esto también permite a los operadores, demostrar que sus programas de mantenimiento están basados en fundamentos racionales (las auditorias son requeridas por cada vez más entes reguladores). Finalmente la información almacenada en las planillas de RCM reducen los efectos de la rotación de personal, que trae aparejada una pérdida de experiencia.

También provee una visión mucho más clara de las herramientas requeridas para el mantenimiento de cada bien, y para decidir sobre los repuestos que deben conservarse en stock. Un producto derivado de gran valor son también los gráficos y manuales mejorados.

Mejoras en la motivación individual: especialmente de las personas involucradas en las revisiones. Esto lleva un entendimiento mucho más claro del equipo en su contexto operativo, conjuntamente con una mayor propiedad

de los problemas de mantenimiento y sus soluciones. También significa que estas soluciones tenderán a una mayor duración.

Mejora en el trabajo en equipo: RCM provee un lenguaje perfectamente entendible para toda persona involucrada con mantenimiento. Esto da a los operadores y personal de mantenimiento un claro entendimiento de que se puede o no realizar para mejorar el desempeño.

Todas estas características, forman parte de la corriente principal de la administración de mantenimiento, y muchas son actualmente el objetivo de programas mejorados. Una de las ventajas principales de RCM es que provee una estructura efectiva de seguimiento paso a paso, para abarcar a todas al mismo tiempo, y para hacer partícipes a toda aquella persona que tenga que ver con el equipo durante el proceso.

RCM otorga resultados inmediatamente. En realidad si son enfocados y aplicados correctamente, RCM cubre sus propios gastos en cuestión de unos meses o hasta de unas semanas.

La revisión transforma tanto la percepción que la organización tiene de los requisitos de mantenimiento de un determinado equipo, como también la percepción general que se tiene de los programas de mantenimiento. Los resultados son una mejor relación costo- efectividad, mayor armonía, y un mantenimiento mucho más exitoso.

2.3 Indicadores De Gestión En Mantenimiento.

El desempeño último de cualquier equipo minero depende de tres factores críticos, el diseño del producto, la aplicación donde es usado y el mantenimiento que recibe durante toda su vida de servicio. El mantenimiento es el factor que ofrece a la gerencia de mantenimiento la mejor oportunidad para influir y controlar el desempeño de los equipos debido a que los fabricantes cuando diseñan un equipo lo hacen para una particulares condiciones de operación y hacen una recomendación es genéricas de las tareas de mantenimiento a realizar además la aplicación de los equipos es muy variable incluso en una misma mina las condiciones de los equipos es muy variable incluso en una misma mina la condiciones de operación cambian con el tiempo de trabajo , generalmente estas condiciones de operación se

vuelven más severas a medida que la mina crece y se hace más profunda por lo tanto el usuario final es el que tiene una enorme capacidad de influenciar en el desempeño de los equipos mineros para cuantificar el desempeño de los equipos se deben tener criterio de medición claramente establecidos debido a que sin estos parámetros de medición la gerencia de mantenimiento se basaría en la intuición, las mediciones que se deben hacer en el mantenimiento de equipo minero son . Tiempo promedio entre paradas (Mean Time Between Shutdowns MTBS) Tiempo promedio para reparar (Mean Time To Repair MTTR) y Disponibilidad (Availability A) .Sin el manejo adecuado de estos indicadores no se pueden mejorar los procesos de mantenimiento.

“No se puede administrar lo que no se puede controlar, No se puede controlar lo que no se puede medir, No se puede medir sin un objetivo y sin un objetivo No se puede mejorar”

Tiempo Promedio entre Paradas (MTBS). Es el más importante parámetro de medición de la gerencia de mantenimiento de equipos, se obtiene dividiendo el total de las horas operadas sobre el número de paradas. La más exitosa operaciones que administran y mantienen equipos tienen es la frecuencia promedio de eventos de paradas de los equipos expresados en horas largos periodos de operación ininterrumpidas o MTBS Alto, el MTBS es una medida que combina los efectos de confiabilidad inherente de la máquina y la efectividad de la gerencia de mantenimiento, la fórmula del MTBS es la siguiente.

$$\text{MTBS} = \frac{\text{Horas Operadas}}{\text{Número de paradas.}}$$

La horas operadas se toman de horómetros de la máquina y el número de paradas se obtiene de la historia de las ordenes de trabajo, el punto de referencia o Benchmark de MTBS para los equipos es de acarreo es de 60 a 80 Horas

Tiempo Promedio Para Reparar (MTTR). Es el tiempo promedio de las paradas de los equipos, se expresa en horas. Las reparaciones planeadas, la

administración y la ejecución son todos los factores que contribuyen a la duración de la para de un máquina, el MTTR es un indicar que cuantifica el tiempo de la reparación, que tan rápidas o lentas son las reparaciones en la parada de un equipo. El MTTR combina los efectos de la Mantenibilidad inherente de la máquina y la eficiencia de la organización de mantenimiento, se calcula de la siguiente forma.

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Total Tiempo De Paradas}}{\text{Número de paradas.}}$$

El Benchmarck de MTTR para los equipos mineros varía también según los tipos y modelos de máquinas para camiones de acarreo y es de 3 a 6 Horas.

Disponibilidad (A). Es la relación entre el MTBS (Frecuencia promedio de paradas) y la suma de MTBS y MTTR (Duración promedio de paradas) y se expresa en porcentaje, se calcula con la siguiente formula

$$A (\%) = \frac{\text{MTBS}}{\text{MTBS} + \text{MTTR}} \times 100$$

El Benchmarck de la disponibilidad para los equipos mineros según los tipos y modelos de máquinas pueden ser de 88%.

2.3 Definición de Términos

Disponibilidad (A): Es la relación entre el MTBS (Frecuencia promedio de paradas) y la suma de MTBS y MTTR (Duración promedio de paradas) y se expresa en porcentaje.

Tiempo Promedio Para Reparar (MTTR): Es el tiempo promedio de las paradas de los equipos

Tiempo Promedio entre Paradas (MTBS): Es la frecuencia promedio de eventos de paradas de los equipos expresados en horas

Funciones: Por qué el bien fue adquirido

Funciones primaria: Características principales de operación

Funciones secundaria: Características de confort, seguridad. Ambiente

Mantenimiento: Asegurar que los bienes físicos continúen cumpliendo las funciones que sus usuarios esperan

Modos De Falla Es cualquier evento que causa que un bien (sistema o, proceso) puedan fallar

SAE Standar JA1011: Norma internacional para criterios de evaluación para procesos RCM

RCM: Mantenimiento centrado en la confiabilidad

CAPÍTULO 3

DIAGNÓSTICO DE LA REALIDAD ACTUAL

3.1 Descripción general de la empresa

3.1.1 Historia

San Martín es una compañía que presta servicios de minería y construcción desde la década de los noventa. A través de los años, hemos participado de importantes obras tanto en el sector privado como en el público, ejecutando proyectos de gran envergadura en todo el país.

El objetivo de San Martín es satisfacer las exigencias de sus clientes, entregándoles un servicio de calidad en los plazos establecidos y dentro del presupuesto acordado.

Somos la principal contratista de minería del Perú, nuestros años de experiencia y la satisfacción de nuestros clientes nos respaldan; además, contamos con maquinaria propia de última generación, lo que asegura una operación segura y exitosa.

Los servicios que ofrecemos en construcción están relacionados al planeamiento, ejecución, supervisión y control de obras de infraestructura, como por ejemplo la construcción de carreteras, Pads, intercambios viales, puentes, entre otros. También obras civiles en centrales hidroeléctricas tales como presas, bocatomas, desarenadores, túneles, diques, canales, etc.

3.1.2 Misión

Brindar soluciones en operación minera, construcción e infraestructura para generar valor a nuestros clientes, colaboradores, accionistas y la sociedad.

3.1.3 Visión

Ser reconocidos en el mercado iberoamericano como el socio estratégico de nuestros clientes.

3.1.4 Valores

Excelencia:

Lograr los objetivos mediante la gestión eficiente de los recursos.

Sustentabilidad:

Actuar en armonía con el medio ambiente y las comunidades de nuestra zona de influencia, promover la seguridad y cuidar la salud de nuestros colaboradores.

Integridad:

Actuar siempre de forma ética y transparente.

Innovación:

Fomentar una cultura de mejora continua y el desarrollo de nuevas soluciones.

Trabajo en equipo:

Trabajar de forma coordinada sobre la base de relaciones de confianza con un objetivo común.

Orientación al cliente:

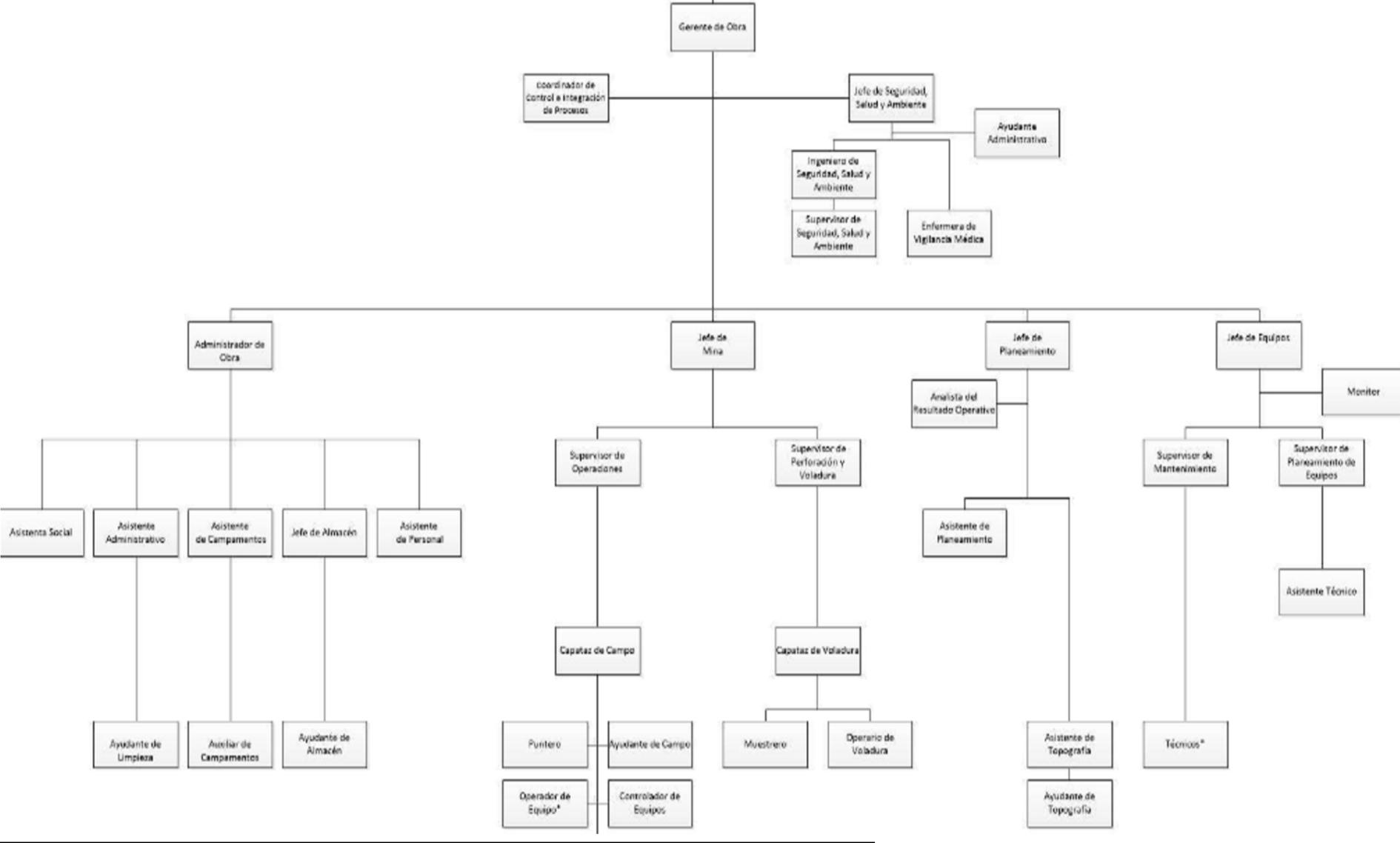
Entender las necesidades de nuestros clientes y buscar altos niveles de satisfacción.

Grafico 15: Valores de la empresa.



Fuente: Pagina Web: San Martin C.G.S.A

Grafico 16 Organigrama operación Cerro Corona.



3.1.5 Unidades de negocio

En San Martín desarrollamos nuestros proyectos en dos grandes unidades de negocio, Minería y Construcción; cada una de ellas se encuentra especializada en los requerimientos de cada cliente, siguiendo siempre nuestra filosofía de entregar los proyectos con la calidad requerida, respetando el presupuesto y el tiempo pactado.

-  **Minería**

Foto 1 Proyecto Cerro Corona – Gold Fields – Hualgayoc - Cajamarca.



Fuente: Pagina Web: San Martin C.G.S.A

Desde la década de los ochenta brindamos servicios de operación minera y explotación de canteras de manera exitosa. Nuestras operaciones han llegado a acumular hasta 23 años de trabajo ininterrumpido, lo cual es muestra del reconocimiento de los clientes a nuestra calidad y vocación por lograr su mayor satisfacción. Esta experiencia nos ha posicionado como la mejor y más grande empresa del Perú en este rubro, tanto en términos de seguridad, como toneladas de material movilizado, flota de equipos y facturación.

- Voladura
- Carguío
- Acarreo
- Chancado
- Perforación

- Selección óptima de equipos
- Desarrollo de la ingeniería de minado

•  **Construcción**

Foto 2 Equipo Tractor D6T – Gold Fields – Hualgayoc - Cajamarca.



Fuente: Pagina Web: San Martin C.G.S.A

Somos reconocidos en el mercado por brindar servicios de construcción con los más altos estándares de seguridad y calidad, lo cual nos ha posicionado como una de las contratistas líderes. Contamos con permanentes reconocimientos otorgados por nuestros Clientes; quienes luego de comprobar nuestra performance han seguido depositando su confianza en nosotros llegando incluso a quintuplicar los alcances adjudicados.

- Puentes
- Presas
- Diques
- Centrales hidroeléctricas
- Servicios de montaje de tuberías y estructuras
- Carreteras
- Construcción de PADs
- Movimiento de tierras a gran escala
- Preparación de sitios
- Instalación de campamentos

3.1.6 ubicación de proyecto

Foto 3 Proyecto Cerro Corona – Gold Fields – Hualgayoc - Cajamarca.



Fuente: Pagina Web: San Martin C.G.S.A

Operación Minera a tajo abierto para extracción del mineral (Cu-Au) y eliminación de desmonte. Se ejecutan los trabajos de Perforación, Voladura, Remoción, Carguío y Transporte; así como la construcción y mantenimiento de vías.

Cliente: Gold Fields La Cima S.A.

Ubicación y altura: Oeste Hualgayoc Cajamarca (3,890 msnm.)

Unidad de Negocio: Minería

Clasificación: Minería a tajo abierto

Producción: 18MM Tn/Año

Equipo: Tractores 5.3M3, Perforadoras S/Orugas Rotativa 5-9 PULG, Excavadoras S/Orugas 3.60M3, Tractores S/Orugas 18.5M3, Volquetes 20M3.

Operación Desde el 2006, a la fecha

Foto 4 Proyecto Cerro Corona – Gold Fields – Hualgayoc - Cajamarca.



Fuente: Pagina Web: San Martin C.G.S.A

Foto 5 Proyecto Cerro Corona – Gold Fields – Hualgayoc - Cajamarca.



Fuente: Pagina Web: San Martin C.G.S.A

Foto 6 Proyecto Cerro Corona – Gold Fields – Hualgayoc - Cajamarca.



Fuente: Pagina Web: San Martin C.G.S.A

3.1.7 Competidores

- Graña y Montero.
- Mota- Engil Perú.
- Stracon GYM
- Odebrecht Perú | Ingeniería y Construcción
- Cosapi

3.1.8 Clientes

Minería

- Alimentación de la Planta de Chancado, Carguío y Acarreo de Tailing - España
- Desarrollo de Mina Cerro Corona - Operación Tajo Abierto
- Explotación de Canteras Atocongo, Pucará y Las Dunas - Operación a Tajo Abierto
- Desarrollo de Mina Shougang - Operación a Tajo Abierto
- Explotación de Cantera Cerro de Palo - Operación a Tajo Abierto
- Construcción de Presa de Relaves - Cerro Corona

- Upstream Containment Blanket (UCB) - Cerro Corona
- Operación Minera a Tajo Abierto Alpamarca
- Operación Minera a Tajo Abierto Tantahuatay

Construcción

- Planta de Procesos del proyecto Tambomayo
- Planta de bolas de molino de Moly Cop
- Construcción de Cobertura de Canal de Uchusuma
- Remoción de bofedales, preparación, botaderos y haul roads - Toromocho
- K163 – DRYING BEDS & LANDFILL FOR DISPOSAL OF BIOSOLIDS
- Proyecto Movimientos de Tierras Masivo - Proyecto Constancia
- Construcción de Plintos, Perforaciones e Inyecciones de la Fase V de la - Presa de Relaves
- Construcción de PAD de Lixiviación Fase 2A Y 2B - Proyecto Pucamarca
- Instalaciones para exportación e importación de concentrado Fase I - Patio Puerto Ilo
- Preparación de sitio Toromocho

3.1.9 Proveedores

- Ferreyros S.A
- Atlas Copco.
- Volvo Perú
- Divemotor
- Motored
- ICC Perú S.A.C
- Fundición Central S.A.
- Komatsu

3.2 Descripción particular del área de la empresa objeto de análisis

Actualmente la empresa SMCGSA se encuentra en la operación de Cerro Corona de la miner GF. Esta tiene como contrato la perforación y voladura , carguio y acarreo en el area de operaciones mina, para este contrato la empresa tiene como flota de equipos los siguientes.

La empresa cuenta con área de mantenimiento de equipos que se encarga de mantener en buen estado los equipos del proceso, el área de mantenimiento

cuenta con 40 colaboradores entre mecánicos línea amarilla, mecánicos línea blanca, electricista, mecánicos perforistas, soldadores, y Llantero los cuales el resultado de su participación principal es mantener los equipos operativos para que se puedan producir diariamente 18 BCM de mineral.

Para realizar el proceso de acarreo continuo en el proyecto se tiene o se cuenta con tres guardias en un régimen de 10 x 5 días, en las guardias de operaciones se encuentran los operadores de perforadoras, operadores de excavadoras, operadores de cargador frontal, operadores de tractor, operadores de camionetas, operadores de cisternas, operadores de volquetes, vigías, punteros, etc.

En el proceso de carguío y acarreo intervienen excavadoras de CAT 390 DL, CAT 374 DL y Volquetes FMX 440 VOLVO.

En problema central de este proceso es la baja confiabilidad en los equipos de acarreo (Volquetes) los cuales podrían ser causados por.

Técnicos sin experiencia y operadores sin experiencia para reparar y operar de manera adecuada estos equipos de acarreo, esto probablemente por el mal reclutamiento de personal.

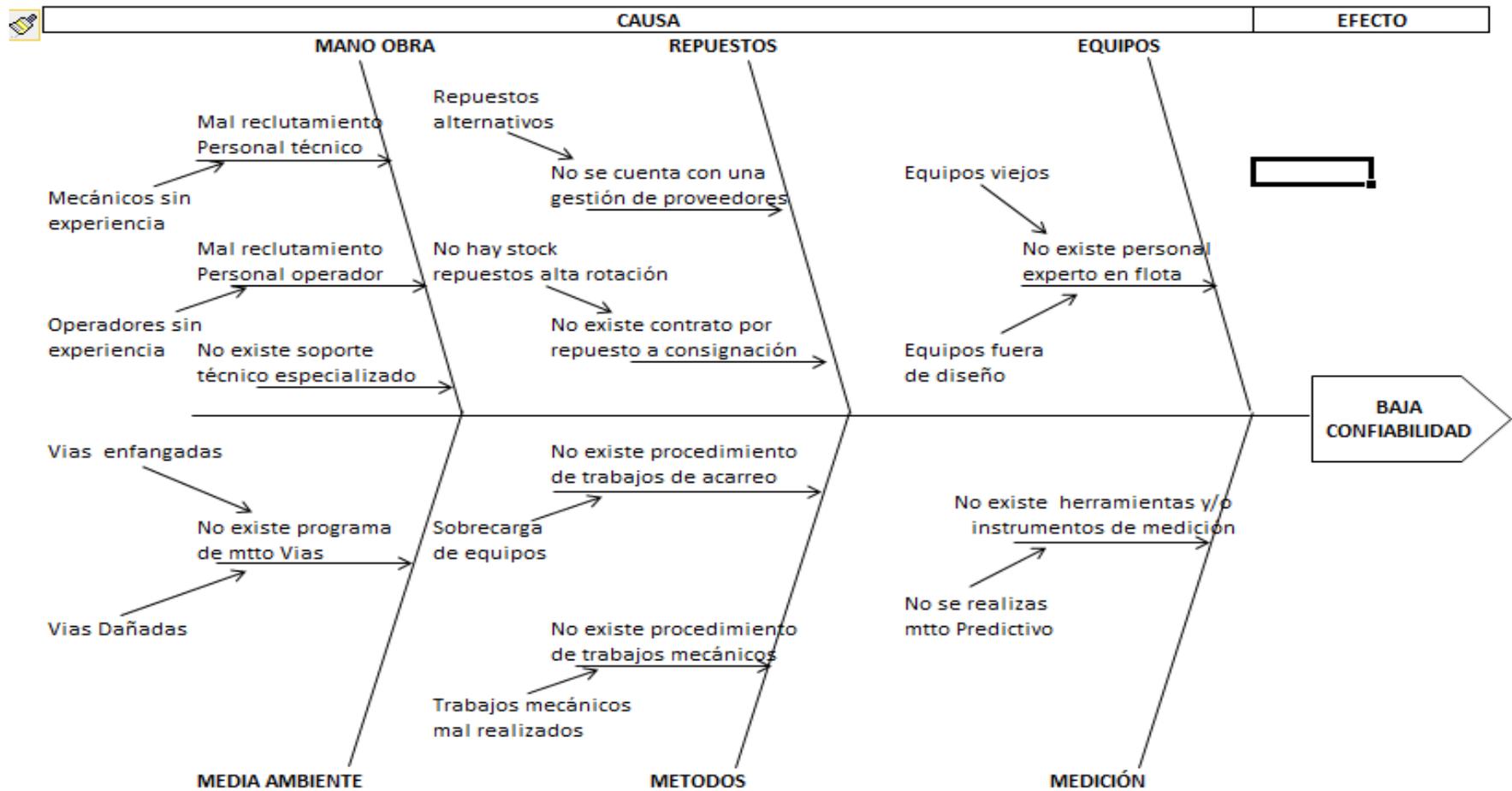
Otras de las probables causas podrían ser la mala calidad de repuestos o el uso de repuestos alternativos, falta de repuestos de alta rotación o soporte inadecuado de logística por parte de la marca del equipo, también se podría decir que los equipos tienen una baja confiabilidad por la antigüedad o el diseño de estos los cuales no cumplirían con la exigencia del proceso. A esto se suma las condiciones de operación de estos equipos (Vías dañadas, enfangadas, sin mantenimiento) los cuales sumaran para que este equipo presente averías cada más seguidas y severas, afectando la confiabilidad por ende la disponibilidad de estos equipos.

La falta de métodos o procedimientos, herramientas o instrumentos de medición para poder realizar un trabajo predictivo o preventivo que evite tener una falla mecánica en estos equipos.

3.3 Identificación del problema e indicadores actuales

3.3.1 Diagrama Ishikawa

Grafico 17: Integración de valores Diagrama Ishikawa



Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Matriz de Priorización (resultados de la encuesta)

Para poder realizar la matriz de priorización se utiliza las causas raíz obtenidas del diagrama de Ishikawa, estas se utilizan en como cuestionario para la encuesta realizada a personal involucrado en la operación y reparaciones de los equipos en mención. Con un total 30 encuestados, entre ellos mecánicos de área de equipos, personal de planeamiento de equipos, operadores de equipos y monitor de equipos se obtuvo lo detallado en cuadro 7.

Tabla 8: Matriz de Priorización

ITEM	CAUSAS RAIZ	FRECUENCIA
CR1	MAL RECLUTAMIENTO DE PERSONAL TECNICO	30
CR2	MAL RECLUTAMIENTO DE PERSONAL OPERADOR	114
CR3	NO EXISTE SOPORTE TECNICO ESPECIALIZADO	30
CR4	NO SE CUENTA CON UNA GESTIÓN DE PROVEEDORES	120
CR5	NO EXISTE CONTRATO POR RESPUESTO A CONSIGNACIÓN	30
CR6	NO SE CUENTA CON PERSONAL EXPERTO EN FLOTA	115
CR7	NO EXISTE PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE VIAS	120
CR8	NO EXISTE PROCEDIMIENTOS DE TRABAJOS DE ACARREO	30
CR9	NO EXISTE PROCEDIMIENTOS DE TRABAJOS MECANICOS	30
CR10	NO EXISTE HERRAMIENTAS Y/O INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	111

Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Diagrama de Pareto.

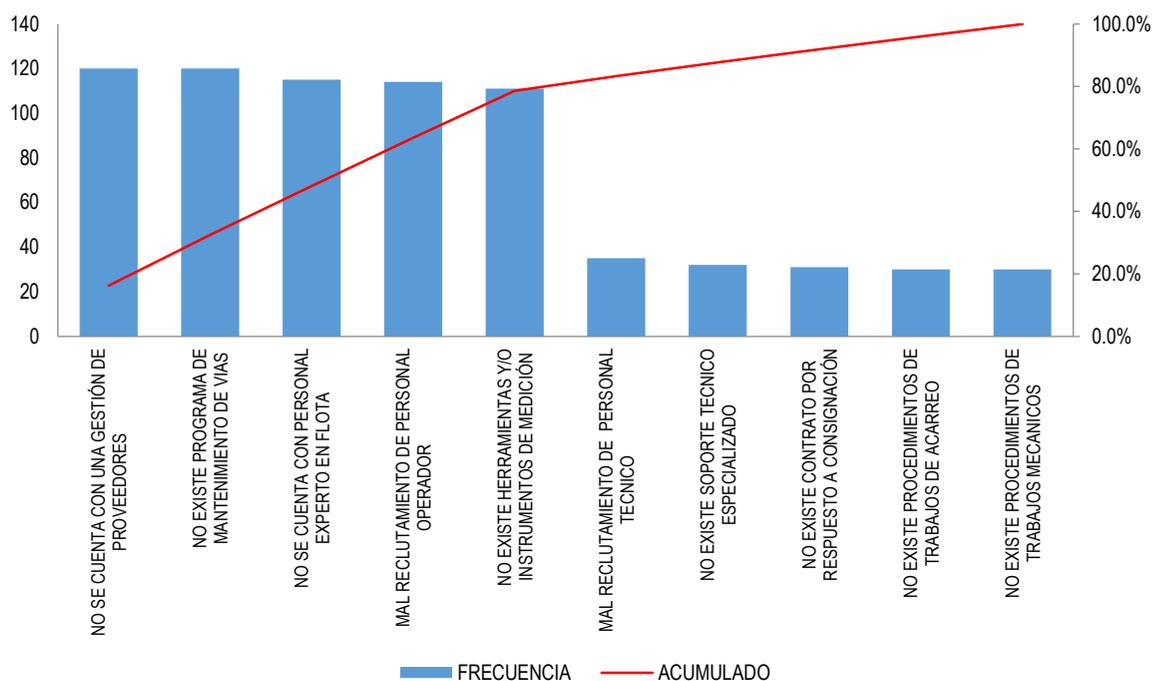
En cuadro 8 adjunto muestra los resultados en porcentaje obtenidos por la encuesta en el cual obtuvimos que le 16% de encuestados indica que la CR 4 y CR 7 Son los que más afectan en la confiabilidad de los volquetes seguido por la CR 6, CR 2 y CR 10 con 15 %, los cuales indican en los puntos a trabajar y realizar un mejora y poder atacar el 20% que causa el 80% de las paradas causando una confiabilidad baja.

Tabla 9: Pareto

ITEM	CAUSAS RAIZ	FRECUENCIA	%	ACUMULADO
CR4	NO SE CUENTA CON UNA GESTIÓN DE PROVEEDORES	120	16.3%	16.3%
CR7	NO EXISTE PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE VIAS	120	16.3%	32.5%
CR6	NO SE CUENTA CON PERSONAL EXPERTO EN FLOTA	115	15.6%	48.1%
CR2	MAL RECLUTAMIENTO DE PERSONAL OPERADOR	114	15.4%	63.6%
CR10	NO EXISTE HERRAMIENTAS Y/O INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	111	15.0%	78.6%

Fuente: Elaboración propia

Grafico 18: Diagrama de Pareto



Fuente: Elaboración propia

3.3.4 Matriz de indicadores.

En el cuadro 9 podremos encontrar las principales causa raíz según la priorización hallada aplicando Pareto. El cual podemos indicar el estado actual en la CR4 es que los repuestos originales es 55% más costos que los repuestos originales en el cual se espera realizar un acuerdo con el representante de la marca para que realice un descuento con 40% en repuestos originales reduciendo así hasta en 15% en costo de un original con respecto a un alternativo.

En la CR7 se identificó que solo un 20% de las vías de acarreo solo cuentan con mantenimiento, en coordinación con el área de operaciones mina se revisara si cuenta o si mejora este plan de mantenimiento de vías de tal manera que alcancemos un 80% de vías principales con mantenimiento.

En el CR6 se identifica que solo se cuenta con 10% personal mecánico experto en el mantenimiento de estos equipos en lo cual se plantea realizar

una capacitación de demás técnicos mecánicos para poder aumentar en 70% de estos capacitados repartidos en la 3 guardias.

En el CR2 se identifica solo se cuenta 20% de operadores por guardia es experto operando el volquete VOLVO. Se plantea realizar un entrenamiento y evaluación de operadores para sí alcanzar por lo menos un 70% de estos capacitados por cada guardia.

En el CR10 se calcula que solo se cuenta con 10 % de mantenimiento predictivo (Análisis de aceites) en estos equipos, se planteara implementar otros tipos de mantenimiento predictivos para poder alcanzar en 50% en este.

Tabla 10: Matriz de Indicadores.

CAUSA RAIZ	DESCRIPCIÓN	INDICADOR	FORMULA	ACTUAL	META	HERRAMIENTA
CR4	NO SE CUENTA CON UNA GESTIÓN DE PROVEEDORES	VARIACIÓN COSTO DE REPUESTO	$\frac{\text{COSTO REPUESTO PROPUESTO}}{\text{COSTO REPUESTO ACTUAL}}$	100%	60%	GESTIÓN PROVEEDORES
CR7	NO EXISTE PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE VIAS	% DE VIAS CON MANTENIMIENTO	$\frac{\text{KM EN VIAS CON MANTENIMIENTO}}{\text{KM TOTAL DE VIAS}}$	20%	80%	RCM
CR6	NO SE CUENTA CON PERSONAL EXPERTO EN FLOTA	% PERSONAL CAPACITADO SATISFATORIAMENTE	$\frac{\text{PERSONAL CAPACITADO SATISFATORIAMENTE}}{\text{TOTAL DE PERSONAL CAPACITADO}}$	10%	70%	CAPACITACIÓN Y EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO
CR2	MAL RECLUTAMIENTO DE PERSONAL OPERADOR	% PERSONAL NUEVO CAPACITADO SATISFATORIAMENTE	$\frac{\text{PERSONAL RECLUTADO SATISFATORIAMENTE}}{\text{TOTAL PERSONAL RECLUTADO}}$	20%	100%	EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO
CR10	NO EXISTE HERRAMIENTAS Y/O INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	% DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	$\frac{\text{TRABAJOS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO}}{\text{TOTAL DE TRABAJOS DE MANTENIMIENTO}}$	10%	40%	RCM

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4

SOLUCIÓN PROPUESTA

4 Desarrollo

La implementación del RCM debe llevar a equipos más seguros y confiables, reducciones de costos (directos e indirectos), mejora en la calidad del producto, y mayor cumplimiento de las normas de seguridad y medio ambiente. El RCM también está asociado a beneficios humanos, como mejora en la relación entre distintas áreas de la empresa, fundamentalmente un mejor entendimiento entre mantenimiento y operaciones.

Como se mencionó anteriormente, el RCM se centra en la relación entre la organización y los elementos físicos que la componen. Antes de que se pueda explorar detalladamente esta relación necesitamos definir qué tipo de elementos físicos existen en la industria, y decidir cuáles son los que deben estar sujetos al proceso de revisión del RCM. En nuestro caso proponemos utilizar los equipos de acarreo (Volquetes-FMX440-VOLVO).

El volquete FMX 440 Es uno de los volquetes más fabricados por VOLVO es usado también en la industria minera y está diseñado para transportar diferente tipo de material .En la operación Cerro Corona hay 23 volquetes FMX 440 el cual transporta el mineral (30 a 35 TN) desde el tajo hasta los finger, en los cuales se acumulan para que luego sea abastecido a la planta utilizando un cargadores 988H.

Tabla 11: Lista de volquetes en C. Corona.

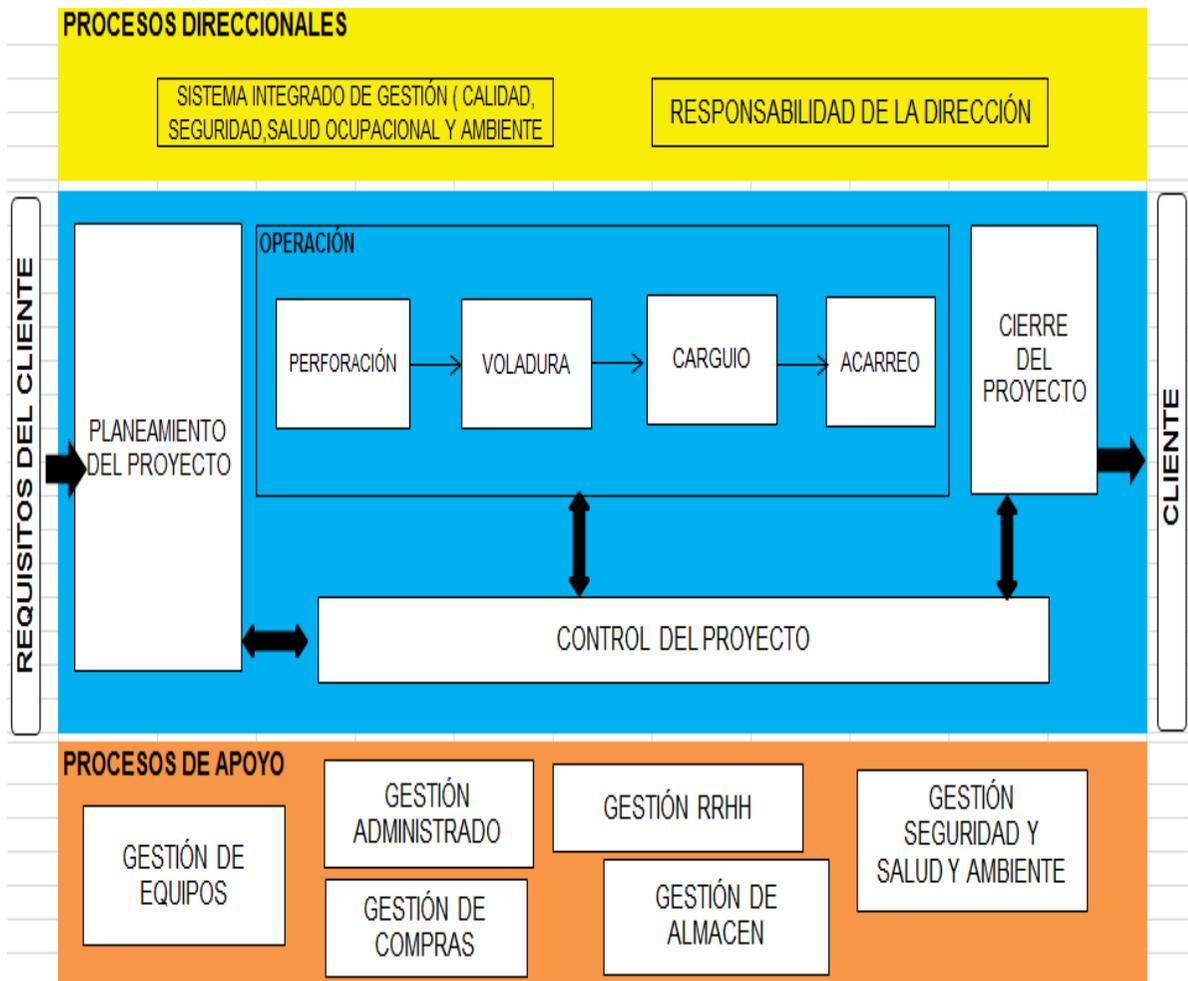
VOLQUETES CERRO CORONA						
1	Volquete	V-199	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G4BE778262	20M ³
2	Volquete	V-200	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G6BE775378	20M ³
3	Volquete	V-201	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G3B5775306	20M ³
4	Volquete	V-202	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G3BE775305	20M ³
5	Volquete	V-203	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G6BE775301	20M ³
6	Volquete	V-204	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G6BE775587	20M ³
7	Volquete	V-205	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G8BE775588	20M ³
8	Volquete	V-206	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G8BE775655	20M ³
9	Volquete	V-207	VOLVO	FM8X4R	93KJS02GXBE775656	20M ³
10	Volquete	V-208	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G1BE775657	20M ³
11	Volquete	V-209	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G3BE775658	20M ³
12	Volquete	V-210	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G5BE775659	20M ³
13	Volquete	V-211	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G1BE775660	20M ³
14	Volquete	V-212	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G3BE775661	20M ³
15	Volquete	V-213	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G6BE775654	20M ³

16	Volquete	V-214	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G4BE775586	20M³
17	Volquete	V-215	VOLVO	FM8X4R	93KJS02GXBE775589	20M³
18	Volquete	V-216	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G1BE775304	20M³
19	Volquete	V-217	VOLVO	FM8X4R	93KJS02G6BE777260	20M³
20	Volquete	V-222	VOLVO	FM8X4R		
21	Volquete	V-146	VOLVO	FM8X4R	93KAS02G3AE765100	20M³
22	Volquete	V-148	VOLVO	FM8X4R	93KAS02G8AE764945	20M³
23	Volquete	V-164	VOLVO	FM8X4R		
24	Volquete	V-960-AL	IVECO	ASTRA-HHD88648	ZCNH88648BP516852	24M³

Fuente: Área de planeamiento equipos SMCGSA

4.1 Flujo del proceso

Grafico 19: Flujo del proceso



Fuente: Área de operaciones SMCGSA

4.2 Sistemas Principales del Volquete

El volquete VOLVO FMX 440 se cuenta con los siguientes sistemas principales como se muestra en el grafico 20. En donde se detalla algunos de los sub sistemas de estos.

Sistema de motor presenta como componentes principales al turbo, a las bombas de aceite, bomba de agua, bomba de combustible, enfriador los cuales forman parte de los subsistemas de admisión, combustión y enfriamiento de este sistema

Sistema de transmisión: Presenta como componentes principales a la bomba de transferencia, discos de embrague, cardan principal, cardan secundario, diferenciales y mandos los cuales conforman todo el tren de fuerza

Sistema suspensión: Presenta como componentes principales a todos los paquetes de muelles tanto en los ejes delanteros y ejes posteriores quienes acompañados de los resortes progresivos, barras en V y amortiguadores conforman dicho sistema.

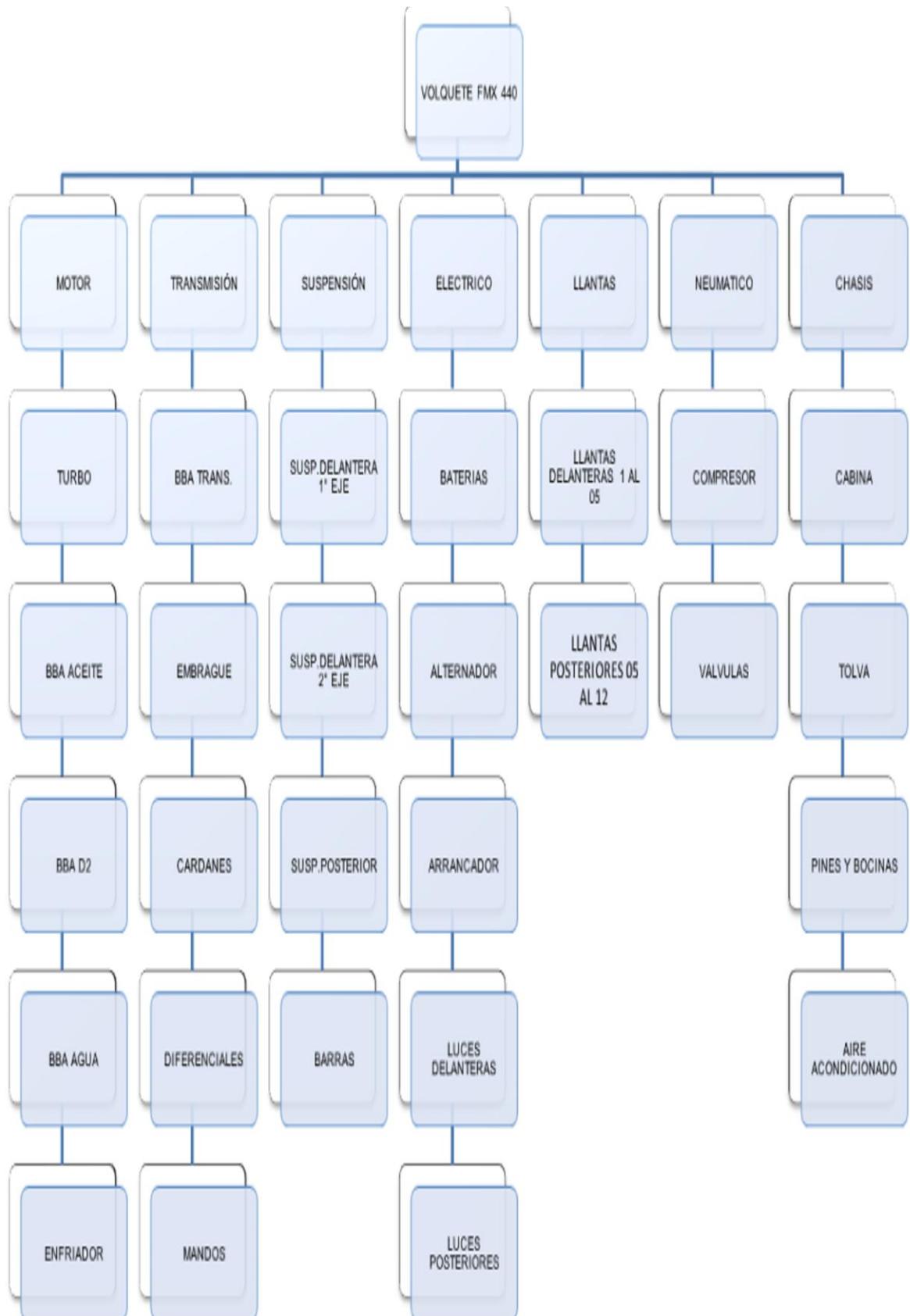
Sistema eléctrico: Presenta como componentes principales a alternador, arrancador, baterías, ECM, y todas las luces tanto delanteras, posteriores y de emergencia las cuales complementan el funcionamiento de este sistema.

Sistema de Llantas: Presenta todos los neumáticos utilizados tanto en los ejes delanteros como posteriores.

Sistema Neumático: Presenta como componente principal el compresor y cada uno de sus tanque y válvulas esencial para el funcionamiento del sistema de frenos.

Sistema Chasis: Presentado principalmente por la estructura de soporte de todos los demás sistemas además de soportar a la tolva y cabina.

Grafico 20 flujo grama sistemas de volquete



Fuente: Elaboración propia

4.3 Especificaciones de volquete VOLVO FMX440

El volquete FMX 440 De la marca VOLVO presente un paragolpes delantero construido para condiciones severas, chasis reforzado, tren de fuerza robusto , trabaja con un motor D13A, con una transmisión VT2214B , en la tabla 12 se muestra más especificaciones de este modelo de volquete FMX.

Tabla 12: Especificaciones técnicas volquete

VOLVO FMX 13 LITROS 8X4R • Especificación Técnica

Freno Motor		VEB 410	VEB 500
Potencia		410 cv	500 cv

Dimensiones (mm)			
Cabina			
A - Entre-ejes***		4300	4900
B - Entre ejes teórico		3988	4588
C - Voladizo trasero		975	1925
D - Largo total		8165	9715
E - Distancia eje delantero - final de la cabina		440	440
F - Distancia eje delantero - implemento (mín.)		510	510
K - Distancia entre los ejes traseros		1370	1370
M - Altura sin climatizador**		2843	2843
N - Distancia de el 1º a el 2º eje direccional		1995	1995
Radio de giro		9900***	10900***

* Neumático 11.00R22 - Llantas de Acero - Suspensión RADD-TR2 - L1EH1 - FST PAR - RAL32 - FAL17,4 - Carga Nominal.
 ** Para vehículos con climatizador, agregar 148 mm en la altura.
 *** Para neumáticos 12.00R24, por la limitación del ángulo de viraje de las llantas, el radio de giro es alterado para 12000mm (Entre-ejes 4300) / 13250mm (Entre-ejes 4900).
 **** Consultar por mayores distancias entre ejes.

Pesos (kgf)			
Tara en el eje delantero		6750	6800
Tara en el eje trasero		3900	4000
Tara total del chasis		10650	10800

Peso para vehículos standard, en orden de marcha, sin rueda de auxilio y sin conductor. Tolerancia de 3%. (Ref NBR 6070).

Motor	D13A400	D13A440	D13A480
	Tipo de inyección	Inyección directa con unidades inyectoras y gerenciamiento electrónico	Inyección directa con unidades inyectoras y gerenciamiento electrónico
Potencia	400 cv - 294 kW (1400 -1800 rpm)	440 cv - 324 kW (1400 -1800 rpm)	480 cv - 353 kW (1400 -1800 rpm)
Torque	2000 Nm - 204 kgfm (1050 -1400 rpm)	2200 Nm - 224 kgfm (1050 -1400 rpm)	2400 Nm - 245 kgfm (1050 -1400 rpm)
Número de cilindros	6	6	6
Cilindrada	12,8 dm³ (litros)	12,8 dm³ (litros)	12,8 dm³ (litros)
Diámetro x Carrera del pistón	131 x 158 mm	131 x 158 mm	131 x 158 mm
Emisiones	Euro III / CONAMA fase P5	Euro III / CONAMA fase P5	Euro III / CONAMA fase P5
Sistema de lubricación*	33 l - cárter plást. 37 l - cárter acero	33 l - cárter plást. 37 l - cárter acero	33 l - cárter plást. 37 l - cárter acero
Sistema de enfriamiento	38 litros	38 litros	38 litros

* Para cambio de aceite y filtros.

Caja de Cambios	VT2214B	VT2514B	AT2612D (I-Shift)
	Motorización (cv)	400	440 e 480
Máx. torque del motor	2200 Nm	2450 Nm	2600 Nm
Tipo	Sincronizada	Sincronizada	Automatizada
Cambios de marcha	Manual / por cables	Manual / por cables	Manual y Automática / Electrónico
Número de marchas al frente	14 (12 + 2 super-reducidas)	14 (12 + 2 super-reducidas)	12
Número de marchas en reversa	4	4	4
Capacidad de aceite (l)*	13,5	13,5	13

* Para caja con toma de fuerza agregar 0,8 litros.

Llantas y Neumáticos					
Tipo	acero	acero	acero	acero	acero
Llanta	8,25x22,5	9,00x22,5	8,00x22	8,50x20	8,50x24
Neumático	295/80R22,5	315/80R22,5	11,00R22	12,00R20	325/95R24

Embrague	CD40B-O	CS43B-O (Caja I-Shift)
	Tipo	Bidisco de fricción a seco tipo pull-type
Accionamiento	Hidroneumático (bajo esfuerzo de accionamiento)	Hidroneumático (bajo esfuerzo de accionamiento)
Diámetro del disco (mm)	400	430

Toma de fuerza						
	PTR-DM	PTR-DH	PTR-FL	PTR-F	PTR-FH	PTER-DIN
Ensamble	Trasera de la caja	Trasera de la caja	Trasera de la caja	Trasera de la caja	Trasera de la caja	Trasera del motor
Relaciones de reducción	1,06/1,32 (VT)	1,23/1,54 (VT)	0,73/0,91 (VT)	0,70/0,88 (VT)	1,23/1,54 (VT)	1,26
Tipo de acoplamiento	DIN5462 / ISO7653 (bomba)	DIN5462 / ISO7653 (bomba)	Brida SAE1300 (cardan)	Brida SAE1400 (cardan)	Brida SAE1300 (cardan)	DIN5462 / ISO7653 (bomba)
Depende del embrague	sí	sí	sí	sí	sí	no

Eje Trasero	
	RT3210HV
Tipo	Simple velocidad
Reducción en los cubos	sí
Tipo de carcasa	Fundida
CMT (t)	100
Relaciones de reducción	3,33:1/3,46:1/3,97:1/3,61 1:1/3,76:1/4,12:1 4,55:1/5,41:1/7,21:1
Capacidad de aceite (l)	26,5 + 23
Bloqueo de diferencial	sí

Eje Delantero	
	FATYPE 290
Tipo	Eje de acero forjado en perfil "I" tratado térmicamente. Cubos lubricados con grasa, libres de mantenimiento

Suspensión	
Suspensión Trasera	
	RADD-TR2 RST-MUL RAL 32
Tipo	Semi-elíptica
Nº elementos elásticos	2 conjuntos de 11 láminas
Amortiguadores	2 de doble acción
Barra estabilizadora	sí
Suspensión delantera	
	FST-PAR FAL17.4
Tipo	Parabólica
Nº elementos elásticos	4 conjuntos de 3 láminas
Amortiguadores	2 de doble acción
Barra estabilizadora	sí

Capacidad de Carga (kgf)	
	FST-PAR FAL17.4 RST-MUL RAL 32 RT3210HV 8x4
Eje delantero	17400
Eje trasero	32000
PBT - Técnico	49400
PBT - Legal	29000
CMT - Técnico	100000

Chasis	
	FRAME88 (con refuerzo)
Tipo	Largueros rectilíneos, con perfil "U", en acero estructural de alta resistencia y bajo peso.
Material	LNE60
Sección (mm)	850
Altura de la alma (mm)	300
Longitud del perfil (mm)	90
Espesor del larguero (mm)	8
Espesor del refuerzo (mm)	5

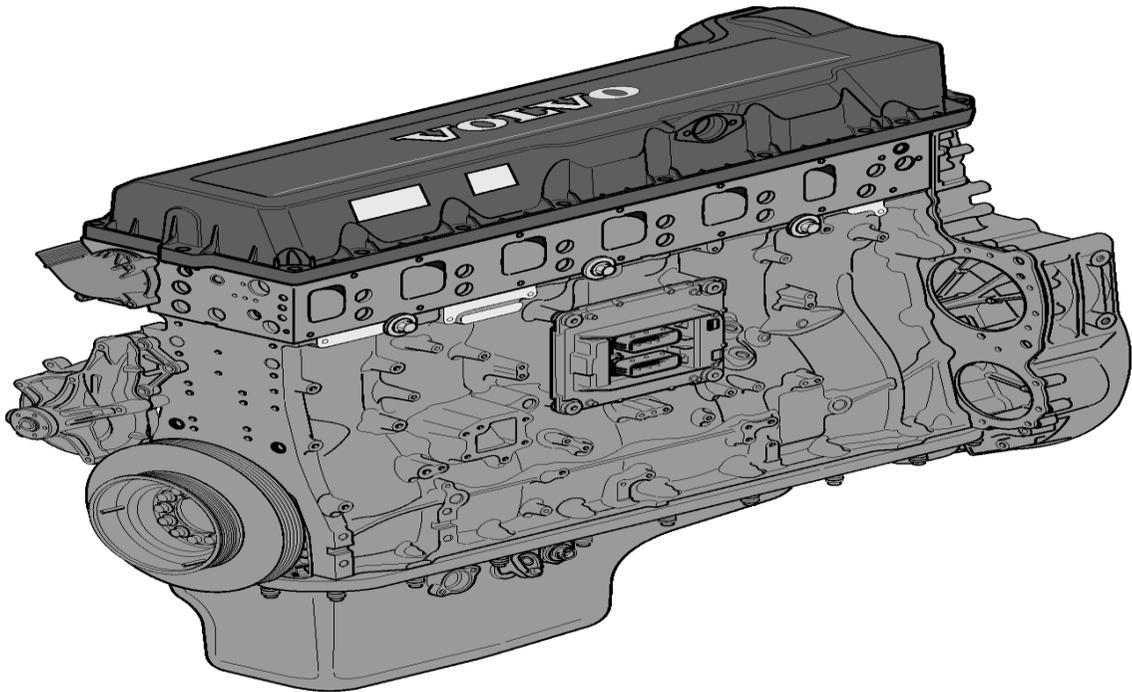
Equipos Eléctricos	
Tensión normal	24V
Alternador	80A / 24V
Batería	2x170 Ah / 12V (en serie)
Motor de partida	Melco 5,5 kW
Fáros	2x70W

Cabina	
Tipo	Cabina fabricada en acero de alta resistencia, con planchas galvanizadas, tratamiento anticorrosivo electroforético (electrodeposición)
	L1EH1 (Extendida)
Altura interna (mm)	1550
Largo interno (mm)	1810
Longitud interna (mm)	2430
Tipo de suspensión delantera	Resorte/amortiguador
Tipo de suspensión trasera	Resorte/amortiguador

Tanques de Combustible	
Material	Plástico
Capacidad (l)*	280 (RFUEL280) 200 (RFUEL200)

* Consultar guía de referencia para obtener detalles de las configuraciones posibles de tanques, que varían acuerdo al modelo, paquete de terminación, etc.

4.4 Especificaciones de Motor



D13A es la designación del motor de nueva construcción de 13 litros de Volvo para FM y FH, introducido en el otoño de 2005. Se trata de un motor diésel de seis cilindros en línea e inyección directa con turbocompresor, enfriamiento del aire de admisión y sistema de mando del motor (EMS — Engine Management System). El motor está disponible en cinco variantes de potencia: 360 CF, 400 CF, 440 CF, 480 CF y 520 CF.

El motor tiene ventilación del cárter opcional, abierta o cerrada. Con la ventilación del cárter cerrada se elimina totalmente el riesgo de goteo de aceite, propiedad que tiene demanda en muchos mercados para transportes en entornos sensibles.

La designación completa del motor (D13A440) significa:

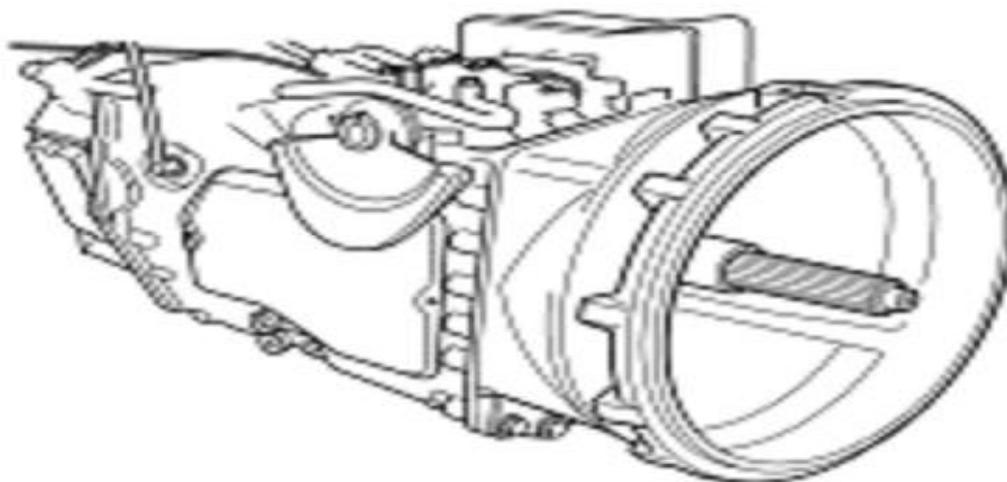
D = Diésel

13 = Cilindrada en litros

A = Generación

440 = Variante (potencia en caballos de fuerza)

4.5 Especificaciones transmisión



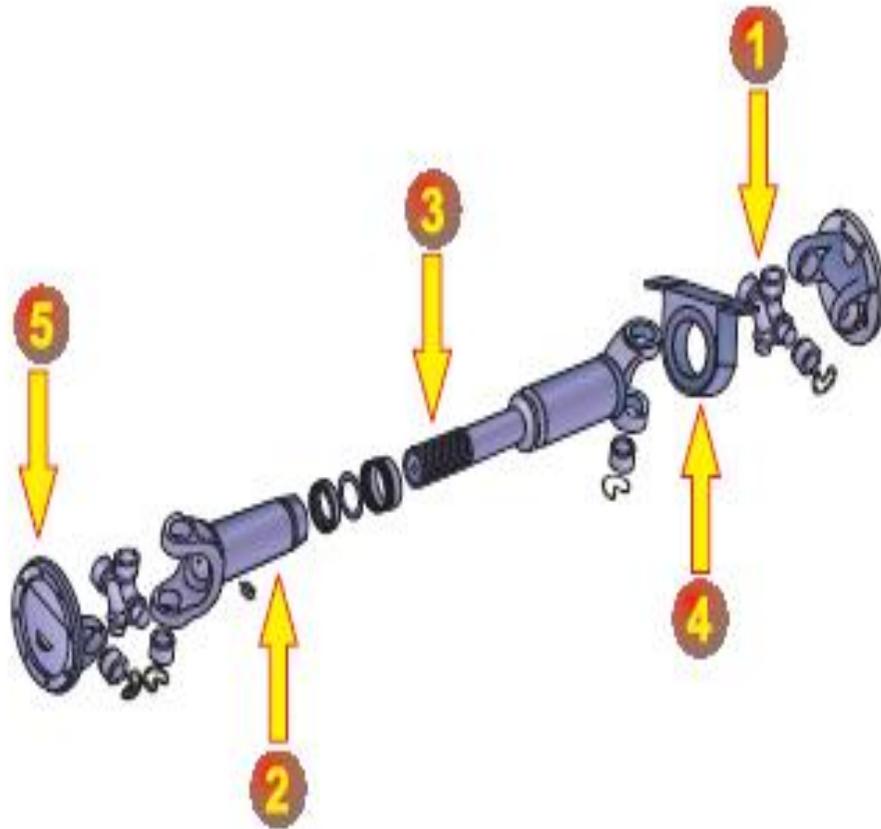
Caja de transmisión utilizada en el volquete FMX440 es un componente de la marca VOLVO de tipo VT2214B las cuales consta de 14 marchas para adelante y 4 marchas hacia atrás, esta tiene como peso sin aceite 330 kg y una longitud de 1066mm. En el cuadro 12 mostraremos la relación de este tipo de transmisión y de demás tipos de cajas utilizados en este volquete FMX440

Tabla 13 Relación de transmisión

Cambios	VT2214B	VTO2214B/VTO2614B	VT2614B/VT2814B	VTO2814B
8H3	1:1	0,80:1	1:1	0,80:1
8L3	1,25:1	1:1	1,25:1	1:1
6H3	1,53:1	1,23:1	1,53:1	1,20:1
6L3	1,91:1	1,53:1	1,91:1	1,51:1
4H3	2,38:1	1,91:1	2,38:1	1,87:1
4L3	2,97:1	2,38:1	2,97:1	2,34:1
3H3	3,75:1	3,00:1	3,75:1	2,99:1
3L3	4,68:1	3,75:1	4,68:1	3,75:1
2H3	5,74:1	4,60:1	5,74:1	4,51:1
2L3	7,16:1	5,74:1	7,16:1	5,65:1
1H3	8,92:1	7,15:1	8,92:1	7,02:1
1L3	11,13:1	8,92:1	11,13:1	8,79:1
CH3	13,51:1	10,54:1	13,16:1	10,35:1
CL3	16,86:1	13,16:1	16,41:1	12,96:1
RHRH3	3,22:1	2,58:1	3,22:1	2,54:1
RHRL3	4,02:1	3,22:1	4,02:1	3,18:1
RLRH3	12,09:1	9,69:1	12,09:1	9,50:1
RLRL3	15,06:1	12,09:1	15,08:1	11,91:1

Fuente: Manual de volquetes FMX440

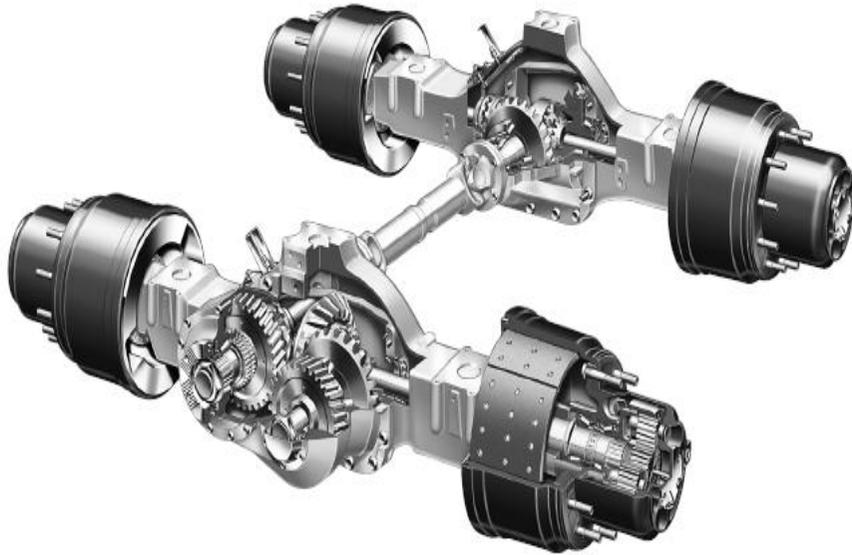
4.6 Especificaciones de cardan



El árbol de transmisión consta de cruceta principal, cruceta secundaria, cardan principal, cardan secundario, brida, los cuales unidos todos y ensamblado desde la caja de transmisión hacia el puente trasero el cual transmite el par del motor.

La cruceta, el árbol o cardanes, el cojinete principal y los platos o bridas hacen posible la transmisión de movimiento a los coronas y luego a los cubos.

4.7 Especificaciones Diferenciales y coronas.



Coronas y diferenciales con designación tipo RT3210HV El cual corresponde a un eje trasero de simple reducción tipo cónico espiral con reducción en los cubos, engranaje de reenvío cilíndrico, reductores de cubo con engranaje cilíndrico y reductores de cubo de un grupo planetario cilíndrico, en cuadro 13 podemos ver más características de este componente, como peso, diámetro de los ejes y corona, relación de conversión, etc.

Tabla 14 Características diferenciales y corona

Eje delantero	840 kg
Eje trasero	760 kg
Corona, diámetro	295 mm
Palieres, diámetro	45 mm
Par motor máximo	2800 Nm
Carga máxima sobre bogie	32.000 kg
Peso combinado máximo	100.000 kg
Desmultiplicación :	
Desmultiplicación con reductores de cubos	3,61:1
.....	3,76:1
.....	4,12:1
.....	4,55:1
.....	5,41:1
.....	7,21:1
Engranaje de reenvío	1:1
Cantidad de aceite en los cambios:	
Eje delantero	31 l
Eje trasero	26 l

Fuente: Manual de volquetes FMX440

4.8 Planes De Mantenimiento Actuales

Tabla 15 Planes de mantenimiento

SISTEMA	PREFIJO	DESCRIPCION DEL COMPONENTE	DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD	FRECUENCIA
SC	SC	SISTEMA CHASIS/OTROS	MANTTO 300 FMX(8X4)-SC	600
SE	SE	SISTEMA ELÉCTRICO	MANTTO 1200 FMX(8X4)-SE	1200
SF	SF	SISTEMA DE FRENOS	MANTTO 1200 FMX(8X4)-SF	1200
SH	CDR	CAJA DE DIRECCION	MANTTO 600 FMX(8X4)-CDR	1200
SH	SH	SISTEMA HIDRÁULICO	MANTTO 1200 FMX(8X4)-SH	1200
SL	SL	SISTEMA LLANTAS/CARRILERIA	MANTTO 300 FMX(8X4)-SL	600
SM	ENG1	MOTOR1	MANTTO 600 FMX(8X4)-ENG1	600
SM	ENG1	MOTOR1	MANTTO 1200 FMX(8X4)-ENG1	1200
SN	CMP	COMPRESOR	MANTTO 1200 FMX(8X4)-CMP	1200
SS	SS	SISTEMA SUSPENSIÓN	MANTTO 1200 FMX(8X4)-SS	1200
ST	TRM	TRANSMISIÓN	MANTTO 1200 FMX(8X4)-TRM	1200

Fuente: Elaboración propia

4.9 Disponibilidad de volquetes

Es el porcentaje del tiempo analizado, en el cual el equipo está disponible para producir. Expresa el tiempo que el equipo está disponible para producir.

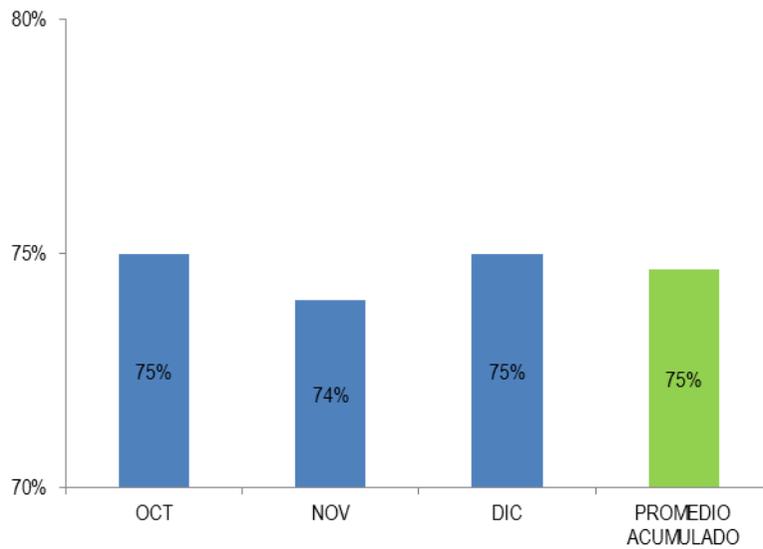
A continuación se muestra tablas y gráficos de tendencia de porcentaje de alcanzados en toda la flota de equipos del proyecto dentro del cual figura la tendencia de los volquetes.

Tabla 16: Porcentaje acumulado de DM - MTBS

EQUIPOS	2014																						PROMEDIO ACUMULADO	PROMEDIO ACUMULADO
	FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC			
	DM	MTBS	DM	MTBS	DM	MTBS	DM	MTBS	DM	MTBS	DM	MTBS	DM	MTBS	DM	MTBS	DM	MTBS	DM	MTBS	DM	MTBS		
Cargador Frontal	95%	0	72%	41	79%	47	89%	40	86%	46	91%	53	84%	69	80%	54	91%	70	79%	51	81%	46	84%	47
Motoniveladora	93%	0	82%	55	91%	54	91%	49	92%	55	96%	42	93%	35	96%	50	90%	67	71%	43	91%	53	90%	46
Tractor Orugas	100%	0	96%	71	100%	72	98%	61	98%	68	99%	59	96%	97	96%	55	96%	46	96%	53	94%	48	97%	57
Equipo Perforación	62%	39	51%	54	59%	44	57%	49	61%	80	78%	65	67%	55	63%	47	65%	47	66%	45	89%	47	65%	52
Excavadora	92%	0	92%	43	95%	54	92%	48	81%	40	81%	55	84%	67	94%	45	84%	82	84%	53	93%	60	88%	50
Volquete	70%	0	77%	52	78%	44	75%	52	75%	48	77%	43	78%	42	77%	45	75%	46	74%	45	75%	44	75%	46
Total general	85%	0	79%	51	85%	46	84%	50	82%	49	86%	47	80%	48	84%	47	83%	53	80%	46	83%	45	83%	44

Fuente: Área de planeamiento equipos SMCOSA

Grafico 21: Grafico de tendencia disponibilidad 3 Últimos meses del año

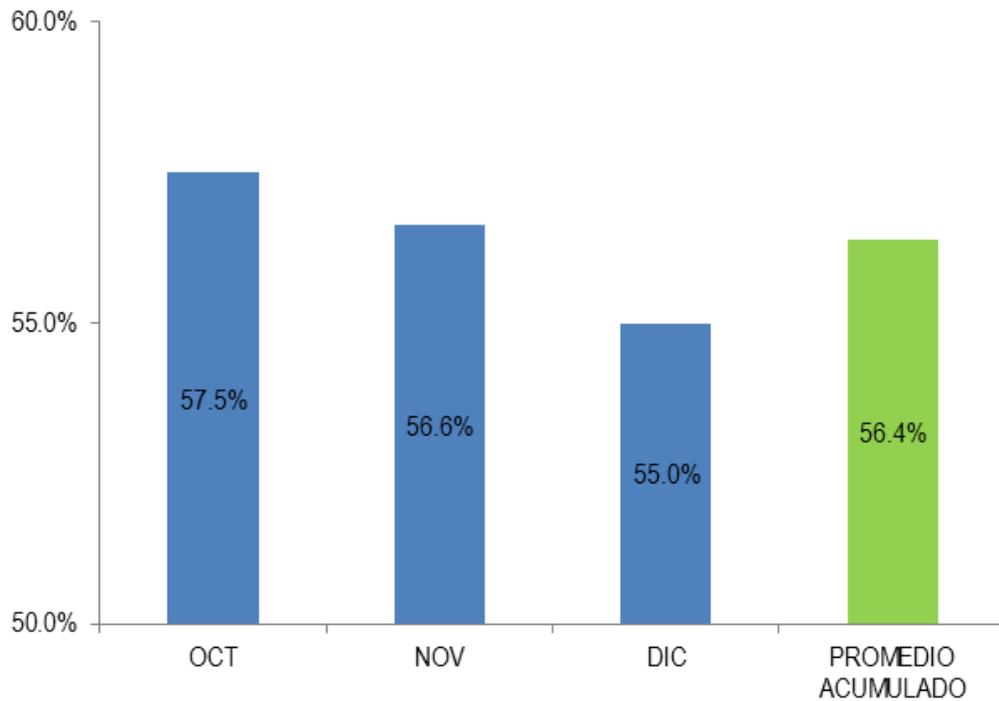


Fuente: Área de planeamiento equipos SMCGSA

4.1.0 Confiabilidad de volquetes

Expresa de alguna manera la confianza de nuestro equipo para trabajar un determinado período sin fallas.

Grafico 22: Porcentajes de Confiabilidad 3 Últimos meses del año



Fuente: Área de planeamiento equipos SMCGSA

4.1.1 Análisis de criticidad de equipo.

Tabla 17: Formato De Análisis De Criticidad

ANALISIS DE CRITICIDAD DEL EQUIPO EN PROYECTO CERRO CORONA - GOLD FIELDS

DONDE: **CRITICIDAD TOTAL = FRECUENCIA DE FALLAS X CONSECUENCIA**

CONSECUENCIA = ((IMPACTO OPERACIONAL X FLEXIBILIDAD) + COSTO MTO. + IMPACTO SAH)

FRECUENCIA DE FALLAS

Pobre mayor a 2 fallas / año	4	4
Promedio 1-2 fallas / año	3	
Buena 0.5 - 1 falla / año	2	
Excelente menos de 0.5 falla/año	1	

IMPACTO OPERACIONAL

Perdida del todo el despacho	10	
Parada del sistema o subsistema y tiene repercusión en otro sistema	7	7
Impacta en niveles de inventario o calidad	4	
No generan ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	1	

FLEXIBILIDAD OPERACIONAL

No existe opción de producción y no hay función de repuesto	4	
Hay opción de repuesto compartido / almacén	2	2
Función de repuesto disponible	1	

COSTO DE MANTENIMIENTO

Mayor o igual a \$ 20000	2	2
Inferior a \$ 20000	1	

IMPACTO EN SEGURIDAD AMBIENTE E HIGIENE (SAH)

Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere la notificación a entes externos de la organización	8	
Afecta el ambiente /instalaciones	7	7
Afecta las instalaciones causando daños severos	5	
Provoca daños menores (ambiente - seguridad)	3	
No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o al ambiente	1	

MATRIZ DE CRITICIDAD

Maximo valor de criticidad que se puede obtener a partir de los factores ponderados = 200

4	MC	MC	C	C	C
3	MC	MC	MC	C	C
2	NC	NC	MC	C	C
1	NC	NC	NC	MC	C
	10	20	30	40	50

NC= Area de sistemas NO CRITICOS

MC= Area de sistemas de MEDIA CRITICIDAD

C = Area de SISTEMAS CRITICOS

Volquetes

$$\text{CONSECUENCIA} = ((7 * 2) + 2 + 7)$$

$$\text{CONSECUENCIA} = 23$$

$$\text{CRITICIDAD TOTAL} = 4 * 23$$

$$\text{CRITICIDAD TOTAL} = 92$$

Ubicamos la posición de los valores obtenidos en la tabla de criticidad y lo ubicamos entre el eje vertical posición 4 y eje horizontal posición 24 obteniendo un resultado de **C= SISTEMA CRITICO**.

Fuente: Propia

4.1.2 Análisis de información de mantenimiento en volquetes

El sistema de información utilizado en mantenimiento en la operación cerro corona es el Oracle, En este software se registran todos los trabajos de mantenimiento realizado en el equipo. La información registrada es el código del activo para sus sistema(V-xxx- SM) , la descripción del trabajo , la clase de mantenimiento, hora y Horometro de inicio , la fase y la prioridad de este trabajo, adicional a este también se registra los recurso utilizados como repuestos, mano de obra .Cabe recalcar que si este trabajo ya tiene una actividad registrada automáticamente se cargan los recursos, repuestos ,

mano de obra y operaciones, los puntos mencionados anteriormente como hora de inicio tipos de mantenimiento fase se cargan de manera manual.

Tabla 18: Registro de generación de OT En Oracle.

The screenshot shows the Oracle OT Work Order form for WO7693903. The form is titled 'Cambio Silenciador Tubo Escape Sistema Motor de Camión Volquete Fr'. Key details include:

- Work Order Number:** WO7693903
- Activity:** CORRECTIVO
- Priority:** NORMAL
- Department:** MAN.MEC.
- Start Date:** 01-08-2016 16:00:00
- End Date:** 01-08-2016 16:00:00
- Duration:** 0 hours
- Real Dates:** Start: 01-08-2016 16:00:00, End: 01-08-2016 16:30:00
- Status:** Finalizado
- Classification:** CORRECTIVO

 The form also includes sections for 'Información de Falla' (Failure Information) and various checkboxes for confirmation and notification requirements. Navigation buttons at the bottom include Operaciones, Materiales, Recursos, Relaciones, Ruteo Activo, and Costos.

Fuente: Área Planeamiento – Cerro Corona SMCGSA

Tabla 19: Registro de materiales de OT En Oracle.

The screenshot shows the Oracle Material Requirements form for WO7693903. The form is titled 'Requerimientos Material (C2C) - WO7693903'. It displays a table of material requirements:

Material	Op	Departamento	Fecha Requerida	Descripción Material	Planifi.
90.02.07377.3183953	10	MAN.MEC.	01-08-2016 16:00	SILENCIADOR	<input checked="" type="checkbox"/>

 Below the table are buttons for 'Seleccionar Todo', 'Controlar ATP', 'Seleccionar Materiales', 'Artículo Directo', and 'Copiar A Activo'. There is also a section for 'Crear Artículos Directos' with a table for direct items:

Op	Tipo Art	Artículo	Descripción	UDM	Ctd Rqrda	Categoría de Compras	Fcha Ncdad	Priv
					1			

 Navigation buttons at the bottom include Operaciones, Materiales, Recursos, Relaciones, Ruteo Activo, and Costos.

Fuente: Área Planeamiento – Cerro Corona SMCGSA

Tabla 20: Registro de operaciones de OT En Oracle.

Operación	Código Depto	Operación Depto	Finalizado	Descripción	Tipo Shutdown	Fecha Inicial Programada
10	MAN.MEC.		<input type="checkbox"/>	CAMBIO SILENCIADOR TUBO ES		01-08-2016 16:00
			<input type="checkbox"/>			
			<input type="checkbox"/>			

Fuente: Área Planeamiento – Cerro Corona SMCOSA

Tabla 21: Registro de horas hombre de OT En Oracle.

Operación	Sec	Rec	Recurso	UDM	Base	Valor	Inverso
10	1		MECANICO-A	HR	Artículo	0	0
10	2		MECANICO-B	HR	Artículo	0	0

Fuente: Área Planeamiento – Cerro Corona SMCOSA

4.1.3 Reporte de fallas de volquetes

En el tabla 22 se detalla algunas de las fallas presentadas en los volquetes, en el sistema eléctrico y de suspensión los cuales son los de mayor incidencia, esta estadística se detallara con análisis Pareto, cabe señalar que el detalle de estas fallas escogidas es mayor a 6 horas de inoperatividad del equipo.

Tabla 22: Registro OTs Correctivas generadas en Oracle.

Sede	Equip	Ot	Fas	o de Mantenim	ompon	Description	Fecha Inici	Fecha Final	Horas Inoperat
CERRO CORONA	V-205	WO3003807	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-205-SS	INCIDENTE OPERACIONAL // CAMBIO DE HOJA2 DEL 2DO EJE RH	29-dic-14	29-dic-14	07:00
CERRO CORONA	V-203	WO2973907	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-203-SS	INCIDENTE OPERACIONAL// CAMBIO MUELLE POS. 2 SEGUNFDO	23-dic-14	24-dic-14	14:30
CERRO CORONA	V-210	WO2797044	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-210-SS	INCIDENTE OPERACIONAL // CAMBIO DE HOJA DE MUELLE POS 0	02-dic-14	03-dic-14	07:45
CERRO CORONA	V-213	WO2977010	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-213-SS	REVISION POR REPORTE DE SONIDO Y GOLPE EN LA SUSPENSI	24-dic-14	24-dic-14	10:15
CERRO CORONA	V-215	WO2796658	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-215-SS	CAMBIO PERNOS DE TEMPLADORES DE FUNDAS //CAMBIO DE R	02-dic-14	02-dic-14	10:19
CERRO CORONA	V-210	WO2796650	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-210-SS	INCIDENTE OPERACIONAL// CAMBIO DE ABRAZADERAS DE MUEL	02-dic-14	03-dic-14	07:45
CERRO CORONA	V-215	WO2825307	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-215-SS	ENDEREZAMIENTO DE MUELLES POSTERIORES Y CAMBIO DE BC	05-dic-14	06-dic-14	12:00
CERRO CORONA	V-206	WO2830307	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-206-SS	INCIDENTE OPERACIONAL// CAMBIO DE 1ER HOJA DEL 1ER EJE L	07-dic-14	07-dic-14	12:00
CERRO CORONA	V-201	WO2867107	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-201-SS	CAMBIO DE BARRA EN "V" NUEVA	11-dic-14	11-dic-14	16:00
CERRO CORONA	V-213	WO2978313	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-213-SE	REPARACION DE CORTO CIRCUITO EN CABLE POSITIVO CON CH	24-dic-14	25-dic-14	09:15
CERRO CORONA	V-202	WO2829714	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-202-SS	INCIDENTE OPERACIONAL//CAMBIO DE MUELLE 1ER EJE LH HOJ	06-dic-14	07-dic-14	08:00
CERRO CORONA	V-206	WO2952611	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-206-SS	REPOSICIÓN DE PERNOS DE GRILLETE DE MULLE 1° EJE LH	21-dic-14	21-dic-14	10:00
CERRO CORONA	V-215	WO2986416	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-215-SS	INCIDENTE OPERACIONAL//CAMBIO DE HOJA 3 DEL 2° LADO IZQUIE	26-dic-14	27-dic-14	09:25
CERRO CORONA	V-213	WO2977907	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-213-SE	REVISION DE SISTEMA ELECTRICO / PROBLEMAS DE ARRANQUE	24-dic-14	25-dic-14	11:30
CERRO CORONA	V-209	WO2788608	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-209-SS	INCIDENTE OPERACIONAL//CAMBIO HOJA MUELLE 1 2DO EJE	01-dic-14	01-dic-14	08:49
CERRO CORONA	V-201	WO2797909	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-201-SS	CAMBIO DE BARRA EN "V" NUEVA	03-dic-14	03-dic-14	08:30
CERRO CORONA	V-203	WO2865908	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-203-SS	INCIDENTE OPERACIONAL // CAMBIO DE HOJA MADRE POSTERIC	11-dic-14	11-dic-14	13:10
CERRO CORONA	V-201	WO2936307	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-201-SS	INCIDENTE OPERACIONAL// CAMBIO DE BOCINA DE MUELLES DE	18-dic-14	18-dic-14	07:10
CERRO CORONA	V-211	WO2802012	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-211-SS	INCIDENTE OPERACIONAL// CAMBIO DE PERNO CENTRO SEGUN	03-dic-14	03-dic-14	07:49
CERRO CORONA	V-216	WO2798507	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-216-SS	INCIDENTE OPERACIONAL// CAMBIO DE MUELLE POS. 2 SEGUNDO	03-dic-14	03-dic-14	10:19
CERRO CORONA	V-215	WO2846907	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-215-SS	INCIDENTE OPERACIONAL//CAMBIO DE MUELLE POS. 1 SEGUNDO	09-dic-14	10-dic-14	08:00
CERRO CORONA	V-203	WO2848509	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-203-SS	CORRECCION DE ABRAZADERAS DESALINEADAS DEL SEGUNDO	09-dic-14	10-dic-14	07:00
CERRO CORONA	V-214	WO2907912	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-214-SS	INCIDENTE OPERACIONAL// CAMBIO DE MUELLE POS. 1 SEGUNDO	16-dic-14	16-dic-14	09:30
CERRO CORONA	V-211	WO2997207	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-211-SS	Operacional: cambio de muelle hoja 1 eje 1 RH	28-dic-14	29-dic-14	08:19
CERRO CORONA	V-216	WO2815426	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-216-SE	REPARACION DEL CABLEADO DEL SECADOR DE AIRE	04-dic-14	04-dic-14	09:30
CERRO CORONA	V-217	WO2691608	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-217-SS	INCIDENTE OPERACIONAL // CAMBIO DE HOJA 6,7,8,9 DE MUELLE	03-nov-14	03-nov-14	10:00
CERRO CORONA	V-217	WO2739414	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-217-SS	INCIDENTE OPERACIONAL// CAMBIO DE MUELLES POS. 2 Y 3 POS	18-nov-14	18-nov-14	09:40
CERRO CORONA	V-200	WO2726016	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-200-SS	INCIDENTE OPERACIONAL // CAMBIO DE MUELLE 3 HOJA DEL SE	10-nov-14	11-nov-14	09:00
CERRO CORONA	V-212	WO2710307	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-212-SS	INCIDENTE OPERACIONAL// CAMBIO DE MUELLE POSTERIOR LH	04-nov-14	04-nov-14	09:30
CERRO CORONA	V-204	WO2717007	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-204-SS	CAMBIO DE 02 RESORTE PROGRESIVO POSTERIOR LADO LH	05-nov-14	05-nov-14	12:30
CERRO CORONA	V-211	WO2737045	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-211-SS	INCIDENTE OPERACIONAL // CAMBIO DE PERNO CENTRO 2 EJE	16-nov-14	16-nov-14	14:00
CERRO CORONA	V-206	WO2724708	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-206-SS	INCIDENTE OPERACIONAL // CAMBIO DE 2DA HOJA DEL 2DO EJE	08-nov-14	09-nov-14	09:15
CERRO CORONA	V-203	WO2710211	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-203-SS	INCIDENTE OPERACIONAL// CAMBIO DE MUELLE POS. 3 POSTER	04-nov-14	04-nov-14	08:30
CERRO CORONA	V-216	WO2726023	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-216-SS	ALINEACION Y AJUSTE DE PAQUETE DE MUELLE PRIMER EJE LH	10-nov-14	11-nov-14	09:00
CERRO CORONA	V-205	WO2734622	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-205-SS	INCIDENTE OPERACIONAL// CAMBIO DE MUELLE POS. 2 SEGUN	14-nov-14	14-nov-14	07:30
CERRO CORONA	V-213	WO2736314	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-213-SS	INCIDENTE OPERACIONAL//CAMBIO MUELLE 2DA HOJA DEL 2DO	15-nov-14	15-nov-14	08:00
CERRO CORONA	V-210	WO2725122	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-210-SS	INCIDENTE OPERACIONAL//CAMBIO DE ABRAZADERA POSTERIOR	09-nov-14	10-nov-14	14:15
CERRO CORONA	V-204	WO2721109	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-204-SS	REPARACION GRILLETES DE BARRA ESTABILIZADORAS POSTERI	06-nov-14	06-nov-14	07:40
CERRO CORONA	V-222	WO2766513	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-222-SS	INCIDENTE OPERACIONAL /// CAMBIO PERNO CENTRO DE PAQU	26-nov-14	27-nov-14	14:00
CERRO CORONA	V-213	WO2784907	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-213-SS	INCIDENTE OPERACIONAL // POR ROTURA DE MUELLE, HOJA 1 Y	30-nov-14	30-nov-14	10:00
CERRO CORONA	V-209	WO2724347	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-209-SS	INCIDENTE OPERACIONAL // CAMBIO DE HOJA DE MUELLE POS 0	07-nov-14	08-nov-14	14:54
CERRO CORONA	V-216	WO2722007	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-216-SE	REV.DE SISTEMA ELECTRICO// FRENO DE MOTOR	06-nov-14	07-nov-14	15:28
CERRO CORONA	V-205	WO2751412	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-205-SS	REACONDICIONAMIENTO DE BUGGI LH	23-nov-14	23-nov-14	09:25
CERRO CORONA	V-216	WO2720116	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-216-SS	INCIDENTE OPERACIONAL // CAMBIO DE HOJA POS 01 Y 02 DEL S	05-nov-14	06-nov-14	08:00
CERRO CORONA	V-202	WO2736829	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-202-SS	INCIDENTE OPERACIONAL//CAMBIO DE HOJA DE MUELLE 2DO EJ	16-nov-14	16-nov-14	07:30
CERRO CORONA	V-200	WO2725152	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-200-SS	INCIDENTE OPERACIONAL // CAMBIO DE PAQUETE DE MUELLE D	09-nov-14	10-nov-14	08:00
CERRO CORONA	V-210	WO2735955	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-210-SS	MANTTO 4800 FMX(8X4)-SPD: Cambio bocinas de boguie RH	15-nov-14	15-nov-14	10:40
CERRO CORONA	V-214	WO2567817	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-214-SS	CAMBIO DE ELEMENTOS DE BUGE LADO LH	11-oct-14	12-oct-14	08:45
CERRO CORONA	V-211	WO2566012	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-211-SS	INCIDENTE OPERACIONAL // CAMBIO DE MUELLE DELANTERO PC	10-oct-14	11-oct-14	11:30
CERRO CORONA	V-206	WO2550034	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-206-SS	INCIDENTE OPERACIONAL / POR ROTURA DE ABRAZADERA DEL	07-oct-14	08-oct-14	12:00
CERRO CORONA	V-207	WO2582927	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-207-SS	POR INCIDENTE OPERACIONAL// CAMBIO DE HOJA DE MUELLE P	15-oct-14	15-oct-14	10:00
CERRO CORONA	V-214	WO2588151	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-214-SS	INCIDENTE OPERACIONAL//CAMBIO BOCINAS DE MUELLES DELA	16-oct-14	16-oct-14	07:30
CERRO CORONA	V-207	WO2597412	MAN.MEC.	CORRECTIVO	V-207-SS	INCIDENTE OPERACIONAL//CAMBIO DE ABRAZADERA DE MUELLE	19-oct-14	20-oct-14	07:00

Fuente: Área Planeamiento – Cerro Corona SMCGSA

Tabla 23: Función, Falla Funcional y Modos Fallas en Volquetes

Cód. Func	Función	Código FF	Descripción Falla Funcional	Cód. MF	Modo de Falla NIVEL I
1	Transportar el mineral desde los tajos a los tres diferentes puntos de acopio de HOLD ROCK (Finger Sur, Norte y Centro) a razón 900 BCM por hora con una disponibilidad del 90 a 95%	11	No puede transportar el mineral o lo hace por debajo de los 900 BCM por hora y la disponibilidad cae por debajo de los 75%	1200	Falla en sistema de suspensión delantera 1° eje LH
				1205	Falla en sistema de suspensión delantera 1° eje RH
				1210	Falla en sistema de suspensión delantera 2° eje LH
				1215	Falla en sistema de suspensión delantera 2° eje RH
				1220	Falla en sistema de suspensión posterior RH
				1225	Falla en sistema de suspensión posterior LH
				1300	Falla en sistema eléctrico luces delanteras luz baja
				1305	Falla en sistema eléctrico luces delanteras luz alta
				1310	Falla en sistema eléctrico luces delanteras luz antiniebla
				1315	Falla en sistema eléctrico luces neblinero delanteros
				1320	Falla en sistema eléctrico luces pirata posterior
				1325	Falla en sistema eléctrico luces de retroceso posterior
				1330	Falla en sistema eléctrico luces posterior LH
				1335	Falla en sistema eléctrico luces posterior RH
				1400	Falla en sistema de tren de fuerza cruceta cardan secundario
				1405	Falla en sistema de tren de fuerza cruceta cardan principal
				1410	Falla en sistema de tren de fuerza cardan secundario
				1415	Falla en sistema de tren de fuerza cardan principal
1500	Falla en sistema de chasis				
2	Brindar todas las condiciones de seguridad al operador y al medio ambiente para que este equipo opere sin riesgo contra la salud y el medio ambiente	21	La cabina no brinda la seguridad al operador	1600	Falla en sistema de chasis cinturón de seguridad averiado
				1605	Falla en sistema de chasis aire acondicionado de cabina
				1610	Falla en sistema de chasis desempañado res de espejo no funciona
				1615	Falla en sistema de chasis cabina golpea amortiguación dañada

Fuente: Propia – Hoja de análisis RCM- Software Mantenimiento SMCOSA

Al realizar el análisis de la información de mantenimiento del mes de Octubre – Diciembre 2014, se identificaron los modos fallas que se presentan en mayor frecuencia causando una baja disponibilidad (MTBS). De las 2099 fallas que se presentaron en total de la flota de 23 volquetes, 585 fueron fallas en el sistema eléctrico que representa el 27.9% del total de la fallas, 562 fueron en el sistema de suspensión que representa el 26.9% de total de fallas, esta porcentajes alcanzados suman el 54.6% del total de la fallas por lo que orientaremos la estrategia de mantenimiento a reducir las fallas en estos dos sistemas para incrementar considerablemente la confiabilidad en estos

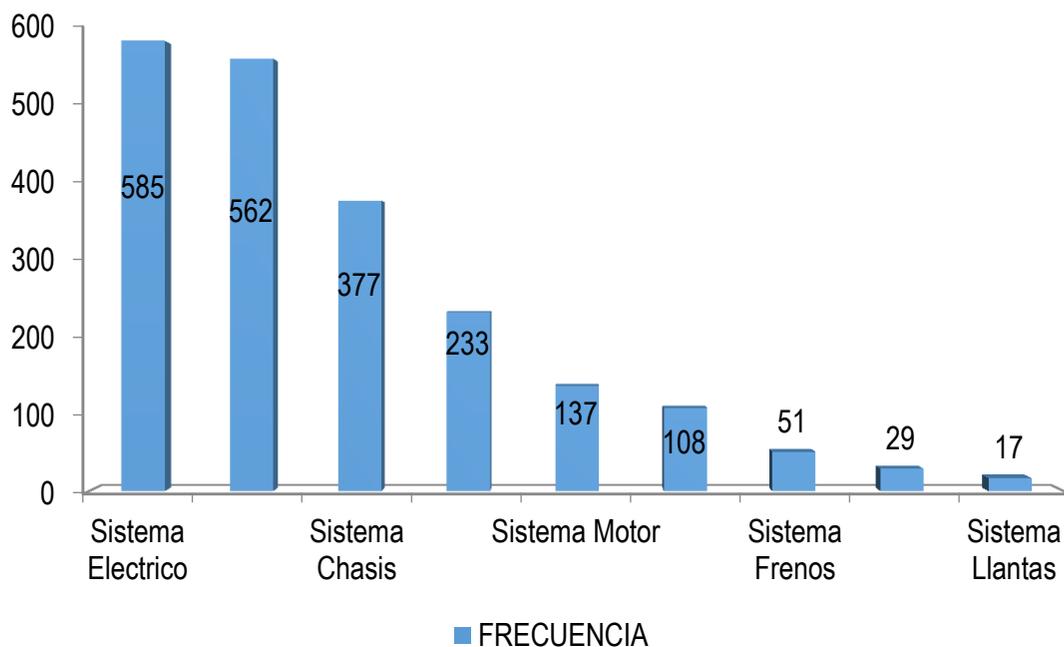
quijos. Siguiendo el orden de prioridad los siguientes sistemas a trabajar serian el sistema de chasis con 18% y el sistema de tren de fuerza con 11.1% del total de fallas.

Tablas 24: Estadísticas de Modo Falla en Volquetes

SISTEMA	ABREV.	FRECUENCIA	%
Sistema Eléctrico	SE	585	27.9%
Sistema Suspensión	SS	562	26.8%
Sistema Chasis	SC	377	18.0%
Sistema Tren Fuerza	ST	233	11.1%
Sistema Motor	SM	137	6.5%
Sistema Neumático	SN	108	5.1%
Sistema Frenos	SF	51	2.4%
Sistema Hidráulico	SH	29	1.4%
Sistema Llantas	SL	17	0.8%
		2099	

Fuente: Software Mantenimiento SMCGSA

Grafico 23: De Estadística de Modo Falla en Volquetes



Fuente: Software Mantenimiento SMCGSA

En base a los porcentaje obtenidos en el análisis de la estadística de los modos de falla en los volquetes, es necesario realizar un análisis más profundo

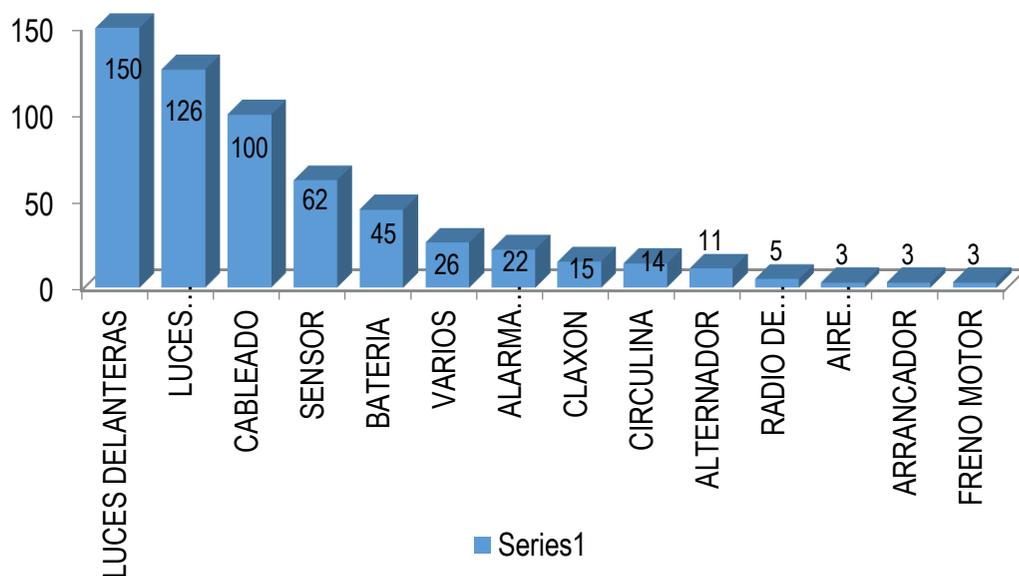
de estos para determinar cuáles son las causas reales de la falla debido a que si tomamos como inicio a la fallas del sistema eléctrico estas pueden ser por diferentes causas, al revisar esto se encontró que la causa más frecuente en el sistema eléctrico son las fallas en las luces delanteras y posteriores con 25.6% y 21.5% respectivamente, precedida por el cableado con un 17.1%, sensor con 10.6% y batería 7.7%.

Tablas 25: Estadísticas de Modo Falla del sistema eléctrico

REPORTE DE FALLAS EN SISTEMA ELECTRICO		
LUCES DELANTERAS	150	25.6%
LUCES POSTERIORES	126	21.5%
CABLEADO	100	17.1%
SENSOR	62	10.6%
BATERIA	45	7.7%
VARIOS	26	4.4%
ALARMA RETROCESO	22	3.8%
CLAXON	15	2.6%
CIRCULINA	14	2.4%
ALTERNADOR	11	1.9%
RADIO DE COMUNICACIÓN	5	0.9%
AIRE ACONDICIONADO	3	0.5%
ARRANCADOR	3	0.5%
FRENO MOTOR	3	0.5%
TOTAL	585	100.0%

Fuente: Software Mantenimiento SMCGSA

Grafico 24: De Estadística de Modo Falla en sistema eléctrico



Fuente: Software Mantenimiento SMCGSA

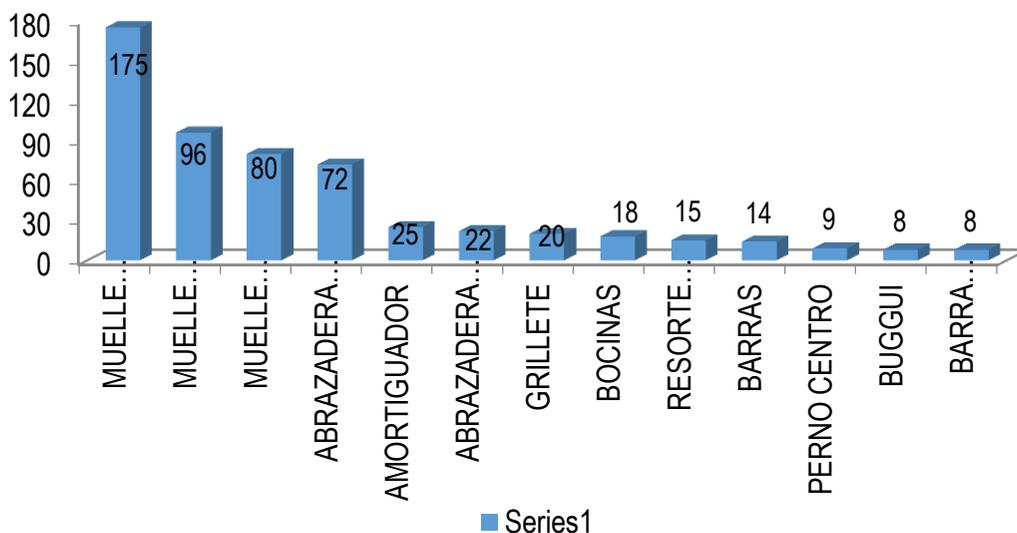
Las fallas en el segundo sistema más afectado- Sistema de suspensión son causas principalmente por el problema de muelles del 2° eje delantero, muelle posterior con 31.1% y 17.1% respectivamente precedida por fallas en muelle delantero 1° eje con 14.2%, abrazadera delantera con 12.8% y amortiguador con 4.4%.

Tabla 26: Estadísticas de Modo Falla del sistema suspensión

REPORTE DE FALLAS SISTEMA SUSPENSIÓN		
MUELLE DELANTERO 2° EJE	175	31.1%
MUELLE POSTERIOR	96	17.1%
MUELLE DELANTERO 1° EJE	80	14.2%
ABRAZADERA DELANTERA	72	12.8%
AMORTIGUADOR	25	4.4%
ABRAZADERA POSTERIOR	22	3.9%
GRILLETE	20	3.6%
BOCINAS	18	3.2%
RESORTE PROGRESIVO	15	2.7%
BARRAS	14	2.5%
PERNO CENTRO	9	1.6%
BUGGUI	8	1.4%
BARRA ESTABILIZADORA	8	1.4%
TOTAL	562	100.0%

Fuente: Software Mantenimiento SMCGSA

Grafico 25: Estadística de Modo Falla en sistema suspensión



Fuente: Software Mantenimiento SMCGSA

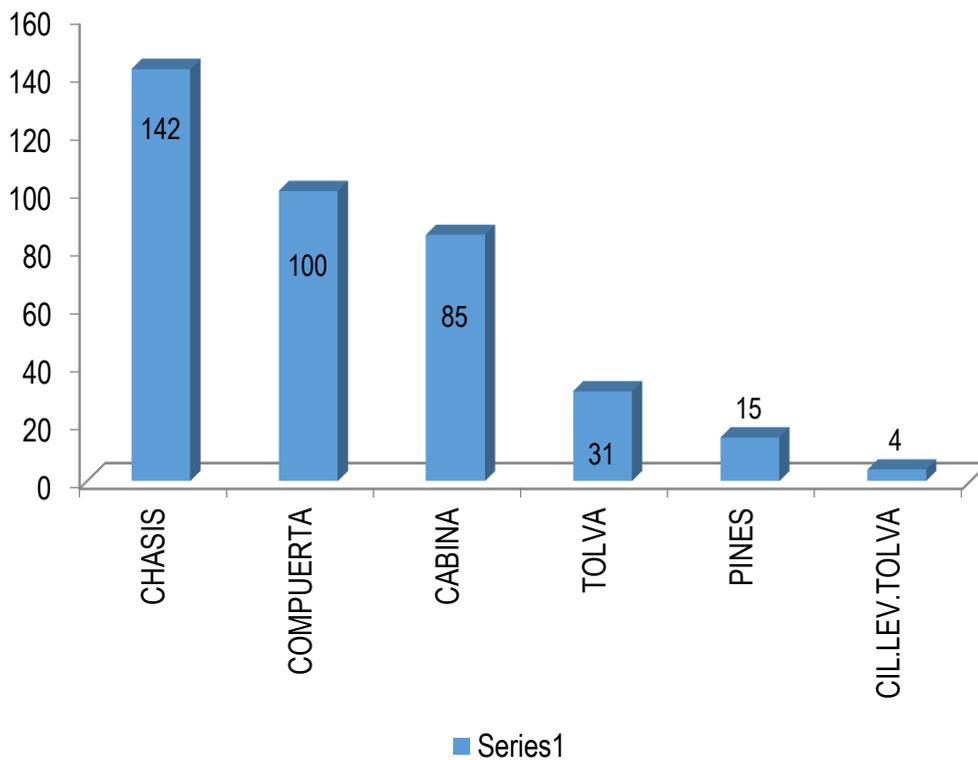
Las fallas en el tercer sistema más afectado- Sistema de chasis son causas principalmente por el problema de chasis y compuerta con 37.7% y 26.5% respectivamente precedida por fallas en cabina con 22.5%.

Tabla 27: Estadísticas de Modo Falla del sistema chasis

REPORTE DE FALLAS SISTEMA CHASIS		
CHASIS	142	37.7%
COMPUERTA	100	26.5%
CABINA	85	22.5%
TOLVA	31	8.2%
PINES	15	4.0%
CIL.LEV.TOLVA	4	1.1%
TOTAL	377	100.0%

Fuente: Software Mantenimiento SMCGSA

Grafico 26: Estadística de Modo Falla en sistema suspensión



Fuente: Software Mantenimiento SMCGSA

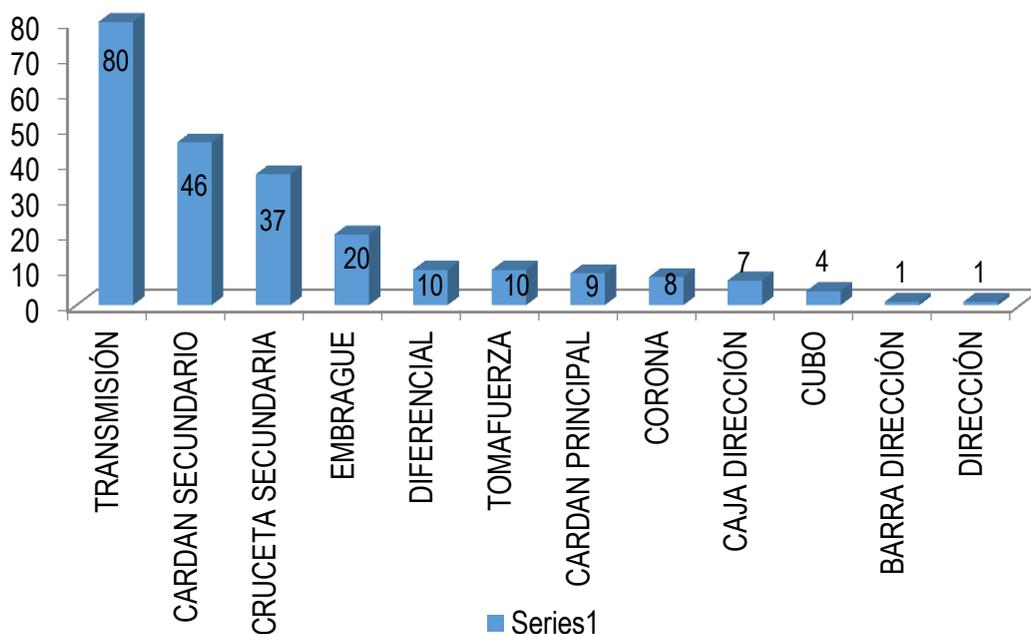
Las fallas en el cuarto sistema más afectado- Sistema de tren de fuerza son causas principalmente por el problema de transmisión y cardan secundario 34.3% y 19.7% respectivamente precedida por fallas en cruceta secundaria 15.9% y embrague con 8.6%

Tablas 28: Estadísticas de Modo Falla del sistema tren de fuerza

REPORTE DE FALLAS SISTEMA TREN DE FUERZA		
TRANSMISIÓN	80	34.3%
CARDAN SECUNDARIO	46	19.7%
CRUCETA SECUNDARIA	37	15.9%
EMBRAGUE	20	8.6%
DIFERENCIAL	10	4.3%
TOMAFUERZA	10	4.3%
CARDAN PRINCIPAL	9	3.9%
CORONA	8	3.4%
CAJA DIRECCIÓN	7	3.0%
CUBO	4	1.7%
BARRA DIRECCIÓN	1	0.4%
DIRECCIÓN	1	0.4%
TOTAL	233	100.0%

Fuente: Software Mantenimiento SMCGSA

Grafico 27: Estadística de Modo Falla en sistema suspensión



Fuente: Software Mantenimiento SMCGSA

Todos estos modos de fallas indicados inicialmente son muy generales por esta razón en la hoja RCM se realizó el análisis de modos de fallas y sus efectos, a un segundo nivel para poder identificar o definir claramente la causa de la falla y de esta manera determinar las tareas adecuadas de mantenimiento a realizar .

5 Aplicación RCM

Antes de establecer y analizar los requisitos de mantenimiento, necesitamos conocer sus bienes, y decidir cuáles de ellos serán los sometidos al proceso de revisión de RCM. En este caso será sometido al proceso el volquete y sus sistemas.

5.1 Identificación de funciones

En el siguiente desarrollo líneas abajo se podrá mostrar las evaluaciones y designaciones de la función, funciones primarias y secundarias del activo y de cada uno de sus sistemas identificados como críticos a trabajar con el RCM.

5.2 Identificación de fallas funcionales

En este punto se identificarán las probables fallas funcionales que pueden suceder en cada uno de las funciones de los sistemas a evaluar.

5.3 Identificación de Modos de falla

En este punto se identificarán los modos de falla de cada una de las probables fallas funcionales de los sistemas a evaluar.

Un modo de falla puede ser definido como cualquier evento que causa que un bien (sistema o, proceso) puedan fallar.

5.4 Identificación de Efectos de falla

En este punto se identificarán los efectos de falla que son causadas por los modos de falla de cada uno de las funciones de los sistemas a evaluar.

Los efectos de las fallas describen que sucede cuando se presenta un modo de falla.

5.5 Matriz de riesgo

En este punto se evaluarán los modos fallas de fallas funcionales de las funciones de cada sistema, esto realiza considerando una valoración

puntos de acuerdo al impacto que puede causar. Primero se evalúa la probabilidad luego el impacto que puede causar los fallos ocultos, seguridad física, medio ambiente, imagen corporativa, operaciones en reparaciones y efectos en el cliente para finalmente obtener el grado de severidad de dicha modo de falla de la falla funcional de las funciones de cada sistema.

Luego de haber obtenido el nivel de severidad se planifican tareas preventivas como reemplazos programados, reacondicionamiento y también tareas correctivas no programadas y de rediseño.

Tabla 29: Funciones del sistema eléctrico del volquete FMX440

	FUNCIONES VOLQUETE FMX 440	
	FUNCIONES PRIMARIAS	FUNCIONES SECUNDARIAS
VOLQUETE FMX440	Transportar mineral 35 Tn	
SISTEMA ELECTRICO	Encendido y control del equipo	Brindar energía para el arranque del equipo
		Brindar energía para el sistema de control del equipo
		Brindar energía para luces de trabajo en general
SISTEMA SUSPENSIÓN	Amortiguar oscilaciones de carga en vía	Confort del operador
		Evitar inclinación del equipo
SISTEMA CHASIS	Soportar la cargas de todos los sistemas	Correcta fijación y funcionamiento de tolva
		Brinde Mantenibilidad
SISTEMA TREN DE FUERZA	TRANSMITIR MOVIMIENTO DEL MOTOR HACIA RUEDA MOTRIZ	BRINDAR TRACCIÓN
		BRINDAR VELOCIDAD

Fuente: Propia – Hoja aplicación RCM- Software Mantenimiento SMCOSA

Tabla 30: Funciones y falla funcional del sistema eléctrico del volquete FMX440

SISTEMA ELECTRICO DE VOLQUETE FMX 440			
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL
1	Encendido y control del equipo	1	No arranca unidad
		2	No genera carga en alternador
		3	No hay carga en batería
2	Brindar energía para el arranque del equipo	1	Batería abierta o cruzada
3	Brindar energía para el sistema de control del equipo	1	Alternador dañado
		2	Batería abierta o cruzada
4	Brindar energía para luces de trabajo en general	1	Unidad electrónica dañada
		2	Fusible abierto
		3	Interruptor y focos abiertos

Fuente: Propia – Hoja aplicación RCM- Software Mantenimiento SMCOSA

Tabla 31: Modo de falla del sistema eléctrico del volquete FMX440

			SISTEMA ELECTRICO DE VOLQUETE FMX 440
F	FF	MF	MODOS DE FALLA
1	1	1	Batería sin carga o dañada
		2	Arrancador dañada
		3	Solenoides de arranque dañado
		4	Relay de arranque dañado
		5	Chapa de arranque
1	2	1	Faja rota
		2	Regulador de voltaje cruzado
		3	Estator quemado
		4	Diodo cruzado
1	3	1	Alternador dañado
		2	Faja rota de alternador
		3	Baterías cruzadas
2	1	1	Horas de trabajo
		2	Mal mantenimiento
3	1	1	Horas de trabajo
		2	Mal mantenimiento
3	2	1	Horas de trabajo
		2	Mal mantenimiento
		3	Mala instalación
		4	Falso contacto de cables
4	1	1	Falso contacto de cables
		2	Falla internas de unidad electrónica
		3	Malos conexiones
4	1	1	Por cortocircuito
		2	Recalentamiento de cables
		3	Cables rozando con chasis
4	3	1	Horas de trabajo
		2	Calidad del producto
		3	Excesivo uso

Fuente: Propia – Hoja aplicación RCM- Software Mantenimiento SMCOSA

Tabla 32: Efectos falla del sistema eléctrico del volquete FMX440

			SISTEMA ELECTRICO DE VOLQUETE FMX 440
F	FF	MF	EFFECTOS DE FALLA
1	1	1	Descarga de batería por fallas de alternador, solenoide de arranque o chapa contacto dañado tiene como efecto el no arranque del equipo impidiendo el encendido y control de equipo
		2	
		3	
		4	
		5	
1	2	1	Faja rota, regulador de voltaje cruzado tiene como efecto que no se genere carga en alternador impidiendo el encendido y control de equipo
		2	
		3	
		4	
1	3	1	Alternador dañado , faja rota tiene como efecto que no genere carga en la batería impidiendo el encendido y control de equipo
		2	
		3	
2	1	1	Horas de trabajo o mal mantenimiento tiene como efecto que las baterías se crucen impidiendo la energía para el arranque del equipo
		2	
3	1	1	Horas de trabajo o mal mantenimiento tiene como efecto que el alternador se dañe impidiendo brindar energía para el controles del equipo , operador para el equipo para evitar mayores daños
		2	
3	2	1	Horas de trabajo o mal mantenimiento tiene como efecto que las baterías se crucen impidiendo brindar energía para el controles del equipo , operador para el equipo para evitar mayores daños
		2	
		3	
		4	
4	1	1	Falso contacto , mal conexionado en unidad electrónica tiene como efecto el no brindar energía para luces de trabajo en general , el operador para el equipo para evitar mayores daños
		2	
		3	
4	2	1	Por cortocircuito , recalentamiento tiene como efecto fusibles abiertos impidiendo no brindar energía para el funcionamiento de luces de trabajo genera, el operador para el equipo para evitar mayores daños
		2	
		3	
4	3	1	Interruptor y focos abiertos impiden en buen funcionamiento de Luces de trabajo genera, el operador para el equipo para evitar mayores daños
		2	
		3	

Fuente: Propia – Hoja aplicación RCM- Software Mantenimiento SMCOSA

Tablas 33: Matriz de riesgo del sistema eléctrico del volquete FMX440

MATRIZ DE RIESGO SISTEMA ELECTRICO DE VOLQUETE FMX 440																		
F	F	MODOS DE FALLA	P	Kfo		Ksf		Kma		Kic		Kor		Koc		S	R = P X S	
				0.05		0.20		0.10		0.30		0.30		0.05				
				F O	Kfo X FO	S F	Ksf X SF	M A	Kma X MA	I C	Kic X IC	O R	Kor X OR	O C	Koc X OC			
1	1	1	Batería sin carga o dañada	4	2	0.1	1	0.2	2	0.2	3	0.9	2	0.6	3	0.15	2.15	8.6
		2	Arrancador dañada	4	2	0.1	1	0.2	2	0.2	2	0.6	2	0.6	3	0.15	1.85	7.4
		3	Solenoides de arranque dañados	4	2	0.1	1	0.2	2	0.2	2	0.6	2	0.6	3	0.15	1.85	7.4
		4	Relay de arranque dañados	4	2	0.1	1	0.2	2	0.2	2	0.6	2	0.6	3	0.15	1.85	7.4
		5	Chapa de arranque	4	1	0.05	1	0.2	2	0.2	2	0.6	2	0.6	3	0.15	1.80	7.2
1	2	1	Faja rota	4	1	0.05	1	0.2	2	0.2	2	0.6	2	0.6	3	0.15	1.8	7.2
		2	Regulador de voltaje cruzado	4	1	0.05	1	0.2	2	0.2	2	0.6	2	0.6	3	0.15	1.8	7.2
		3	Estator quemado	3	1	0.05	1	0.2	2	0.2	2	0.6	2	0.6	3	0.15	1.8	5.4
		4	Diodo cruzado	4	3	0.15	1	0.2	2	0.2	2	0.6	2	0.6	3	0.15	1.9	7.6
1	3	1	Alternador dañado	4	2	0.1	1	0.2	2	0.2	2	0.6	2	0.6	3	0.15	1.85	7.4
		2	Faja rota de alternador	4	2	0.1	1	0.2	2	0.2	2	0.6	2	0.6	3	0.15	1.85	7.4

		3	Baterías cruzadas	4	2	0.1	1	0.2	2	0.2	3	0.9	2	0.6	3	0.15	2.15	8.6
2	1	1	Horas de trabajo	3	4	0.2	1	0.2	2	0.2	3	0.9	2	0.6	3	0.15	2.25	6.75
		2	Mal mantenimiento	5	3	0.15	1	0.2	2	0.2	3	0.9	2	0.6	3	0.15	2.2	11
3	1	1	Horas de trabajo	3	4	0.2	1	0.2	2	0.2	3	0.9	2	0.6	3	0.15	2.25	6.75
		2	Mal mantenimiento	5	3	0.15	1	0.2	2	0.2	3	0.9	2	0.6	3	0.15	2.2	11
3	2	1	Horas de trabajo	3	4	0.2	1	0.2	2	0.2	3	0.9	2	0.6	3	0.15	2.25	6.75
		2	Mal mantenimiento	5	3	0.15	1	0.2	2	0.2	3	0.9	2	0.6	3	0.15	2.2	11
		3	Mala instalación	5	3	0.15	1	0.2	2	0.2	2	0.6	3	0.9	3	0.15	2.2	11
		4	Falso contacto de cables	5	3	0.15	1	0.2	2	0.2	2	0.6	2	0.6	3	0.15	1.9	9.5
4	1	1	Falso contacto de cables	5	3	0.15	1	0.2	2	0.2	2	0.6	2	0.6	3	0.15	1.9	9.5
		2	Falla internas de unidad electrónica	4	2	0.1	1	0.2	2	0.2	2	0.6	3	0.9	3	0.15	2.15	8.6
		3	Malos conexiones	4	3	0.15	1	0.2	2	0.2	2	0.6	2	0.6	3	0.15	1.9	7.6
4	2	1	Por cortocircuito	4	2	0.1	1	0.2	2	0.2	4	1.2	3	0.9	3	0.15	2.75	11

		2	Recalentamiento de cables	3	2	0.1	1	0.2	2	0.2	4	1.2	2	0.6	3	0.15	2.45	7.35
		3	Cables rozando con chasis	4	2	0.1	1	0.2	2	0.2	4	1.2	2	0.6	3	0.15	2.45	9.8
4	3	1	Horas de trabajo	3	2	0.1	1	0.2	1	0.1	3	0.9	1	0.3	1	0.05	1.65	4.95
		2	Calidad del producto	3	3	0.15	1	0.2	1	0.1	2	0.6	1	0.3	1	0.05	1.4	4.2
		3	Excesivo uso	5	2	0.1	2	0.4	2	0.2	3	0.9	1	0.3	3	0.15	2.1	10.25

Fuente: Propia – Hoja aplicación RCM- Software Mantenimiento SMCOSA

Tabla 34: Tareas de mantenimiento en el sistema eléctrico del volquete FMX440

SISTEMA ELECTRICO DE VOLQUETE FMX 440							
F	F	F	MODOS DE FALLA	R = P X S	TIPO DE DECISIÓN	TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA (horas)
1	1	1	Batería sin carga o dañada	8.6	Preventiva (Reemplazo programado)	Realizar inspección según frecuencia establecida, además de programar reemplazo según horas de funcionamiento	600
		2	Arrancador dañado	7.4	Preventiva (Reemplazo programado)	Realizar inspección según frecuencia establecida, además de programar reemplazo según horas de funcionamiento	1200

		3	Solenoides de arranque dañado	7.4	Preventiva (Reacondicionamiento)	Realizar inspección según frecuencia establecida además de programar reacondicionamiento o según horas funcionamiento y/o estado	600
		4	Relay de arranque dañado	7.4	Preventiva (Reacondicionamiento)	Realizar inspección según frecuencia establecida, además de programar reacondicionamiento o según horas funcionamiento y/o estado	600
		5	Chapa de arranque	7.2	Preventiva (Reemplazo programado)	Realizar inspección según frecuencia establecida, además de programar reemplazo según horas de funcionamiento	1200
1	2	1	Faja rota	7.2	Preventiva (Reemplazo programado)	Realizar inspección según frecuencia establecida, además de programar reemplazo según horas de funcionamiento	600
		2	Regulador de voltaje cruzado	7.2	Preventiva (Reacondicionamiento)	Realizar inspección según frecuencia establecida, además de programar reacondicionamiento o según horas funcionamiento y/o estado	1200
		3	Estator quemado	5.4	Preventiva (Reacondicionamiento)	Realizar inspección según frecuencia establecida, además de	600

						programar reacondicionamiento o según horas funcionamiento y/o estado	
		4	Diodo cruzado	7.6	Preventiva (Reemplazo programado)	Realizar inspección según frecuencia establecida, además de programar reemplazo según horas de funcionamiento	600
1	3	1	Alternador dañado	7.4	Preventiva (Reemplazo programado)	Realizar inspección según frecuencia establecida, además de programar reemplazo según horas de funcionamiento	1200
		2	Faja rota de alternador	7.4	Preventiva (Reemplazo programado)	Realizar inspección según frecuencia establecida, además de programar reemplazo según horas de funcionamiento	600
		3	Baterías cruzadas	8.6	Preventiva (Reemplazo programado)	Realizar inspección según frecuencia establecida, además de programar reemplazo según horas de funcionamiento	600
2	1	1	Horas de trabajo	6.75	Preventiva (Reemplazo programado)	Realizar inspección según frecuencia establecida, además de programar reemplazo según horas de funcionamiento	600

		2	Mal mantenimiento	11	Correctiva (No programado)	Apagar motor, realizar desconexiones, mediciones y reemplazo de agua o sustituir batería	600
3	1	1	Horas de trabajo	6.75	Preventiva (Reemplazo programado)	Realizar inspección frecuencia mente, además de programar reemplazo según horas de funcionamiento	600
		2	Mal mantenimiento	11	Correctiva (No programado)	Apagar motor, realizar desconexiones, mediciones y reemplazo de repuestos, barnizado y/o cambio de alternador	600
3	2	1	Horas de trabajo	6.75	Preventiva (Reemplazo programado)	Realizar inspección según frecuencia establecida, además de programar reemplazo según horas de funcionamiento	600
		2	Mal mantenimiento	11	Correctiva (No programado)	Apagar motor, realizar desconexiones, mediciones y reemplazo de agua o sustituir batería	600
		3	Mala instalación	11	Correctiva (No programado)	Apagar motor, realizar desconexiones, mediciones y reemplazo de agua o sustituir batería	600
		4	Falso contacto de cables	9.5	Preventiva (Reemplazo programado)	Realizar inspección según frecuencia establecida, además de	600

						programar reemplazo según horas de funcionamiento	
4	1	1	Falso contacto de cables	9.5	Preventiva (Reemplazo programado)	Realizar inspección según frecuencia establecida, además de programar reemplazo según horas de funcionamiento	600
		2	Falla internas de unidad electrónica	8.6	Preventiva (Reemplazo programado)	Realizar inspección según frecuencia establecida, además de programar reemplazo según horas de funcionamiento	600
		3	Malos conexiónados	7.6	Preventiva (Reemplazo programado)	Realizar inspección según frecuencia establecida, además de programar reemplazo según horas de funcionamiento	600
4	2	1	Por cortocircuito	11	Correctiva (No programado)	Apagar motor, realizar desconexiones, mediciones y sustituir tarjeta	600
		2	Recalentamiento de cables	7.35	Preventiva (Reacondicionamiento)	Realizar inspección según frecuencia establecida, además reacondicionar cableado según estado	4800
		3	Cables rozando con chasis	9.8	Preventiva (Reacondicionamiento)	Realizar inspección según frecuencia establecida, además reacondicionar cableado según	4800

						estado	
4	3	1	Horas de trabajo	4.95	Basada en condición	Realizar limpieza de bornes de conexión, verificar ajuste de conexiones al instalarlo	2400
		2	Calidad del producto	4.2	Basada en condición	Realizar limpieza de bornes de conexión, verificar ajuste de conexiones al instalarlo	2400
		3	Excesivo uso	10.25	Correctiva (No programado)	Apagar motor , desconexión de sistema eléctrico y surtir focos abiertos	300

Fuente: Propia – Hoja aplicación RCM- Software Mantenimiento SMCGSA

Tabla 35: Funciones del sistema suspensión del volquete FMX440

SISTEMA DE SUSPENSIÓN FMX 440			
F	FUNCIÓN	F F	FALLA FUNCIONAL
1	Amortiguar oscilaciones de carga en vía	1	Ballestas rotas
		2	Resorte progresivos desgastados
2	Confort del operador	1	Amortiguador desgastados
3	Evitar inclinación del equipo	1	Mala distribución de carga
		2	Mal estado de vías
		3	Rotura abrazadera de ballestas
		4	Rotura de bocinas de buggis

		5	Rotura barra de reacción en "V" o Lineal

Fuente: Propia – Hoja aplicación RCM- Software Mantenimiento SMCOSA

Tabla 36: Modos de falla del sistema suspensión del volquete FMX440

			SISTEMA DE SUSPENSIÓN FMX 440
F	FF	MF	MODOS DE FALLA
1	1	1	Mala operación
		2	Ballesta alternativa
		3	Fatiga de ballestas por horas de trabajo
		4	Falta de inspección
1	2	1	Mala operación
		2	Resorte alternativo
		3	Fatiga de resorte por horas de trabajo
		4	Falta de inspección
2	1	1	Falta de mantenimiento
		2	Amortiguador alternativo
		3	Fatiga de amortiguador por horas de trabajo
		4	Falta de inspección
3	1	1	Operador sin experiencia
		2	Piso de carguío inadecuado
3	2	1	Falta de mantenimiento de vías
		2	Uso de material inadecuado
3	3	1	Abrazadera alternativa
		2	Fatiga de abrazadera por horas de trabajo
		3	Falta de inspección
3	4	1	Buggi alternativa
		2	Fatiga de buggi por horas de trabajo
		3	Falta de inspección

3	5	1	Barras alternativa
		2	Fatiga de barras por horas de trabajo
		3	Falta de inspección

Fuente: Propia – Hoja aplicación RCM- Software Mantenimiento SMCGSA

Tabla 37: Efectos falla del sistema suspensión del volquete FMX440

			SISTEMA DE SUSPENSIÓN FMX 440
F	FF	MF	EFFECTOS DE FALLA
1	1	1	Mala operación, repuestos alternativos, fatiga por horas de trabajo tienen como efecto que las ballestas sufran rotura impidiendo brindar suspensión al equipo , operador para el equipo para evitar mayores daños
		2	
		3	
		4	
1	2	1	Mala operación, repuestos alternativos, fatiga por horas de trabajo tienen como efecto que las resortes sufran rotura impidiendo brindar suspensión al equipo , operador para el equipo para evitar mayores daños
		2	
		3	
		4	
2	1	1	Mala operación, repuestos alternativos, fatiga por horas de trabajo tienen como efecto que las amortiguador de cabina sufran rotura impidiendo brindar suspensión al equipo , operador para el equipo para evitar mayores daños
		2	
		3	
		4	
3	1	1	Operador sin experiencia en carguío y piso inadecuado tienen como efecto una mala distribución de carga que podría dañar el sistema de suspensión del equipo, operador para el equipo para evitar mayores daños
		2	
3	2	1	Falta de mantenimiento de vías y/o material inadecuado para el mantenimiento de vías, tiene como efecto un mal estado de vías que podrían dañar el sistema de suspensión del equipo, operador para el equipo para evitar mayores daños
		2	
3	3	1	Repuestos alternativos, fatiga por horas de trabajo, falta de inspección tienen como efecto que las abrazaderas de ballesta sufran rotura impidiendo brindar suspensión al equipo , operador para el equipo para evitar mayores daños
		2	
		3	
3	4	1	Repuestos alternativos, fatiga por horas de trabajo, falta de inspección tienen como efecto que las bocina de buggui sufran rotura
		2	

		3	impidiendo brindar suspensión al equipo , operador para el equipo para evitar mayores daños
3	5	1	Repuestos alternativos, fatiga por horas de trabajo, falta de inspección tienen como efecto que las barras de reacción sufran rotura
		2	impidiendo brindar suspensión al equipo , operador para el equipo
		3	para evitar mayores daños

Fuente: Propia – Hoja aplicación RCM- Software Mantenimiento SMCOSA

Tabla 38: Matriz de riesgo del sistema suspensión del volquete FMX440

SISTEMA DE SUSPENSIÓN FMX 440																		
F	F	MODOS DE FALLA	P	Kfo		Ksf		Kma		Kic		Kor		Koc		S	R = P X S	
				0.05		0.20		0.10		0.30		0.30		0.05				
				F O	Kfo X FO	S F	Ksf X SF	M A	Kma X MA	I C	Kic X IC	O R	Kor X OR	O C	Koc X OC			
1	1	1	Mala operación	5	2	0.1	1	0.2	2	0.2	3	0.9	4	1.2	3	0.15	2.75	13.75
		2	Ballesta alternativa	5	2	0.1	1	0.2	2	0.2	3	0.9	4	1.2	3	0.15	2.75	13.75
		3	Fatiga de ballestas por horas de trabajo	4	4	0.2	1	0.2	2	0.2	3	0.9	4	1.2	3	0.15	2.85	11.4
		4	Falta de inspección	5	2	0.1	1	0.2	2	0.2	3	0.9	4	1.2	3	0.15	2.75	13.75
1	2	1	Mala operación	5	4	0.2	1	0.2	2	0.2	3	0.9	2	0.6	3	0.15	2.25	11.25
		2	Resorte alternativo	5	4	0.2	1	0.2	2	0.2	3	0.9	2	0.6	3	0.15	2.25	11.25

			Fatiga de resorte por horas de trabajo	4	4	0.2	1	0.2	2	0.2	3	0.9	2	0.6	3	0.15	2.25	9
			Falta de inspección	5	2	0.1	1	0.2	2	0.2	3	0.9	2	0.6	3	0.15	2.15	10.75
2	1	1	Falta de mantenimiento	5	2	0.1	2	0.4	2	0.2	3	0.9	2	0.6	3	0.15	2.35	11.75
		2	Amortiguador alternativo	5	4	0.2	2	0.4	2	0.2	3	0.9	2	0.6	3	0.15	2.45	12.25
		3	Fatiga de amortiguador por horas de trabajo	4	4	0.2	2	0.4	2	0.2		0	2	0.6	3	0.15	1.55	6.2
		4	Falta de inspección	5	2	0.1	2	0.4	2	0.2	3	0.9	2	0.6	3	0.15	2.35	11.75
3	1	1	Operador sin experiencia	5	2	0.1	1	0.2	2	0.2	3	0.9	3	0.9	3	0.15	2.45	12.25
		2	Piso de carguío inadecuado	5	2	0.1	1	0.2	2	0.2	3	0.9	2	0.6	3	0.15	2.15	10.75
3	2	1	Falta de mantenimiento de vías	5	2	0.1	1	0.2	2	0.2	3	0.9	3	0.9	3	0.15	2.45	12.25
		2	Uso de material inadecuado	5	2	0.1	1	0.2	2	0.2	3	0.9	2	0.6	3	0.15	2.15	10.75
3	3	1	Abrazadera alternativa	5	4	0.2	1	0.2	2	0.2	3	0.9	2	0.6	3	0.15	2.25	11.25

			Fatiga de abrazadera por horas de trabajo	4	4	0.2	1	0.2	2	0.2	3	0.9	2	0.6	3	0.15	2.25	9
			Falta de inspección	5	2	0.1	1	0.2	2	0.2	3	0.9	2	0.6	3	0.15	2.15	10.75
3	4	1	Buggi alternativa	5	4	0.2	1	0.2	2	0.2	3	0.9	3	0.9	3	0.15	2.55	12.75
			Fatiga de buggi por horas de trabajo	4	4	0.2	1	0.2	2	0.2	3	0.9	3	0.9	3	0.15	2.55	10.2
			Falta de inspección	5	2	0.1	1	0.2	2	0.2	3	0.9	3	0.9	3	0.15	2.45	12.25
3	5	1	Barras alternativa	5	4	0.2	1	0.2	2	0.2	3	0.9	3	0.9	3	0.15	2.55	12.75
			Fatiga de barras por horas de trabajo	4	4	0.2	1	0.2	2	0.2	3	0.9	3	0.9	3	0.15	2.55	10.2
			Falta de inspección	5	2	0.1	1	0.2	2	0.2	3	0.9	3	0.9	3	0.15	2.45	12.25

Fuente: Propia – Hoja aplicación RCM- Software Mantenimiento SMCOSA

Tabla 39: Tareas de mantenimiento en el sistema suspensión del volquete FMX440

SISTEMA DE SUSPENSIÓN FMX 440						
F	FF	MODOS DE FALLA	R = P X S	TIPO DE DECISIÓN	TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA (horas)

1	1	1	MALA OPERACIÓN	13.75	Correctiva (no programado)	Cambio de ballesta original	2400
		2	BALLESTA ALTERNATIVA	13.75	Correctiva (Rediseño)	Cambio de ballesta original	2400
		3	FATIGA DE BALLESTAS POR HORAS DE TRABAJO	11.4	Correctiva (no programado)	Cambio de ballesta original	600
		4	FALTA DE INSPECCION	13.75	Correctiva (no programado)	Cambio de ballesta original	600
1	2	1	MALA OPERACIÓN	11.25	Correctiva (no programado)	Cambio de resorte progresivo original	2400
		2	RESORTE ALTERNATIVO	11.25	Correctiva (no programado)	Cambio de resorte progresivo original	2400
		3	FATIGA DE RESORTE POR HORAS DE TRABAJO	9	Preventiva (Reemplazo programado)	Detener el equipo , inspeccionar estado según este se realizara su reemplazo	600
		4	FALTA DE INSPECCION	10.75	Correctiva (no programado)	Cambio de resorte progresivo original	600
2	1	1	FALTA DE MANTENIMIENTO	11.75	Correctiva (no programado)	Cambio de amortiguador original	4800
		2	AMORTIGUADOR ALTERNATIVO	12.25	Correctiva (no programado)	Cambio de amortiguador original	4800
		3	FATIGA DE AMORTIGUADOR POR HORAS DE TRABAJO	6.2	Preventiva (Reemplazo programado)	Detener el equipo , inspeccionar estado según este se realizara su	600

					reemplazo	
		4	FALTA DE INSPECCION	11.75	Correctiva (no programado)	Cambio de amortiguador original 4800
3	1	1	OPERADOR SIN EXPERIENCIA	12.25	Correctiva (no programado)	Realizar las coordinaciones adecuadas con el área de monitores para evaluación de operadores , además de indicar o crear procedimiento de carguío Semestral
		2	PISO DE CARGUIO INADECUADO	10.75	Correctiva (no programado)	Realizar las coordinaciones adecuadas con el área de monitores para evaluación de operadores , además de indicar o crear procedimiento de carguío Semestral
3	2	1	FALTA DE MANTENIMIENTO DE VIAS	12.25	Correctiva (no programado)	Realizar las coordinaciones adecuadas con el área de operaciones para realizar un cronograma de mantenimiento de vías. Bimestral
		2	USO DE MATERIAL INADECUADO	10.75	Correctiva (no programado)	Realizar las coordinaciones adecuadas con el área de operaciones para realizar un cronograma de mantenimiento de vías. Bimestral
3	3	1	ABRAZADERA ALTERNATIVA	11.25	Correctiva (no programado)	Cambio de abrazadera de ballesta original 2400

			FATIGA DE ABRAZADERA POR HORAS DE TRABAJO	9	Preventiva (reemplazo programado)	Detener el equipo , inspeccionar estado según este se realizara su reemplazo	600
		2	FALTA DE INSPECCION	10.75	Correctiva (no programado)	Cambio de abrazadera de ballesta original	2400
		3	BUGGI ALTERNATIVA	12.75	Correctiva (no programado)	Cambio de boggui original	4800
3	4	1	FATIGA DE BUGGI POR HORAS DE TRABAJO	10.2	Correctiva (no programado)	Cambio de boggui original	4800
		2	FALTA DE INSPECCION	12.25	Correctiva (no programado)	Cambio de boggui original	4800
		3	BARRAS ALTERNATIVA	12.75	Correctiva (no programado)	Cambio de barras original	4800
3	5	1	FATIGA DE BARRAS POR HORAS DE TRABAJO	10.2	Correctiva (no programado)	Cambio de barras original	4800
		2	FALTA DE INSPECCION	12.25	Correctiva (no programado)	Cambio de barras original	4800
		3	FALTA DE INSPECCION	12.25	Correctiva (no programado)	Cambio de barras original	4800

Fuente: Propia – Hoja aplicación RCM- Software Mantenimiento SMCOSA

Tabla 40: Funciones del sistema chasis del volquete FMX440

SISTEMA CHASIS FMX 440			
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL
1	Soportar todos los sistemas	1	Mal acoplamiento de sistema

2	Correcta fijación y funcionamiento de tolva	1	Falta de engrase
		2	Falta de ajustes
3	Brinde Mantenibilidad	1	Falta de puntos de lubricación

Fuente: Propia – Hoja aplicación RCM- Software Mantenimiento SMCOSA

Tabla 41: Modos de falla del sistema de chasis del volquete FMX440

			SISTEMA CHASIS FMX 440
F	FF	MF	MODOS DE FALLA
1	1	1	Diseño equivocado
		2	Sistema sobredimensionados
2	1	1	Falta de programa de engrase
		2	Falta de personal
		3	Falta de inspecciones
2	2	1	Falta programa de ajuste
		2	Desconocimiento de rango de ajustes
3	1	1	Diseño sin puntos de engrase
		2	Falta reposición de graseras

Fuente: Propia – Hoja aplicación RCM- Software Mantenimiento SMCOSA

Tabla 42: Efectos falla del sistema de chasis del volquete FMX440

			SISTEMA CHASIS FMX 440
F	FF	MF	EFFECTOS DE FALLA
1	1	1	El mal montaje del o de los sistemas tienen como efecto que el chasis no soporte los sistemas ,para evitar mayores daños se verifica montaje
		2	

2	1	1	Falta de engrase , inspecciones tienen como efecto que la tolva no brinde el funcionamiento adecuado, el operador detiene el equipo para evitar mayores daños
		2	
		3	
2	2	1	Falta de ajuste , inspecciones tienen como efecto que la tolva no brinde la fijación adecuada, el operador detiene el equipo para evitar mayores daños
		2	
3	1	1	La falta de puntos de engrase y la reposición de graseras tienen como efecto que el sistema de chasis no brinde la Mantenibilidad de este
		2	

Fuente: Propia – Hoja aplicación RCM- Software Mantenimiento SMCOSA

Tabla 43: Matriz de riesgo del sistema chasis del volquete FMX440

SISTEMA CHASIS FMX 440																		
F	F	MODOS DE FALLA	P	Kfo		Ksf		Kma		Kic		Kor		Koc		S	R = P X S	
				0.05		0.20		0.10		0.30		0.30		0.05				
				F O	Kfo X FO	S F	Ksf X SF	M A	Kma X MA	I C	Kic X IC	O R	Kor X OR	O C	Koc X OC			
1	1	1	Diseño equivocado	1	1	0.05	2	0.4	2	0.2	4	1.2	4	1.2	5	0.25	3.30	3.3
		2	Sistema sobredimensionados	1	1	0.05	2	0.4	2	0.2	4	1.2	4	1.2	5	0.25	3.30	3.3
2	1	1	Falta de programa de engrase	5	2	0.1	2	0.4	2	0.2	2	0.6	2	0.6	4	0.2	2.10	10.5
		2	Falta de personal	4	2	0.1	2	0.4	2	0.2	2	0.6	2	0.6	4	0.2	2.10	8.4
		3	Falta de inspecciones	4	2	0.1	2	0.4	2	0.2	2	0.6	2	0.6	4	0.2	2.10	8.4

2	2	1	Falta programa de ajuste	4	2	0.1	2	0.4	2	0.2	2	0.6	2	0.6	4	0.2	2.1	8.4
		2	Desconocimiento de rango de ajustes	4	2	0.1	2	0.4	2	0.2	2	0.6	2	0.6	4	0.2	2.1	8.4
3	1	1	Diseño sin puntos de engrase	4	2	0.1	2	0.4	2	0.2	2	0.6	2	0.6	4	0.2	2.1	8.4
		2	Falta reposición de graseras	4	2	0.1	2	0.4	2	0.2	2	0.6	2	0.6	4	0.2	2.1	8.4

Fuente: Propia – Hoja aplicación RCM- Software Mantenimiento SMCOSA

Tabla 44: Tareas de mantenimiento en el sistema chasis del volquete FMX440

SISTEMA CHASIS FMX 440							
F	FF		MODOS DE FALLA	R = P X S	TIPO DE DECISIÓN	TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA (horas)
1	1	1	Diseño equivocado	3.3	Basada en condición	Realizar pruebas e inspección	16800
		2	Sistema sobredimensionados	3.3	Basada en condición	Realizar pruebas e inspección	16800
2	1	1	Falta de programa de engrase	10.5	Correctiva (Rediseño)	Realizar engrase	600
		2	Falta de personal	8.4	Preventivo (Rediseño)	Designación de personal para encargarse de engrases	Semestral
		3	Falta de inspecciones	8.4	Preventivo (Realizar programación de	600

					engrase		
2	2	1	Falta programa de ajuste	8.4	Preventivo (Rediseño)	Realizar programación de ajustes	600
		2	Desconocimiento de rango de ajustes	8.4	Preventivo (Rediseño)	Realizar cuadro de rangos de ajustes	600
3	1	1	Diseño sin puntos de engrase	8.4	Preventivo (Rediseño)	Realizar e identificar puntos de engrase	600
		2	Falta reposición de graseras	8.4	Preventivo (Rediseño)	Inspecciones y programaciones de cambio de graseras	600

Fuente: Propia – Hoja aplicación RCM- Software Mantenimiento SMCOSA

Tabla 45: Funciones del sistema tren de fuerza del volquete FMX440

SISTEMA DE TREN DE FUERZA FMX 440			
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL
1	Transmitir movimiento del motor hacia rueda motriz	1	Desgaste de transmisión
		2	Averías de cardanes
		3	Coronas de diferenciales dañados
2	Brindar tracción	1	Neumáticos en mal estado

		2	Disco de embrague deteriorado
3	Brindar velocidad	1	Disco de embrague deteriorado
		2	Piñones y sincronizadores dañados
		3	Palanca de cambio dañada

Fuente: Propia – Hoja aplicación RCM- Software Mantenimiento SMCOSA

Tabla 46: Modos de falla del sistema tren de fuerza del volquete FMX440

			SISTEMA DE TREN DE FUERZA FMX 440
F	FF	MF	MODOS DE FALLA
1	1	1	Mal mantenimiento
		2	Mala operación
1	2	1	Mala operación
		2	Cardan y crucetas fatigado por horas de trabajo
		3	Mal mantenimiento
1	3	1	Falta de mantenimiento
		2	Mala operación
		3	Vida útil de componente
2	1	1	Material de neumático mala calidad
		2	Vías en mal estado

2	2	1	Mala operación
		2	Mal mantenimiento
3	1	1	Horas de trabajo
		2	Repuesto alternativo
3	2	1	Mala operación
		2	Mal mantenimiento
		3	Horas de trabajo
3	3	1	Mala operación
		2	Mal mantenimiento
		3	Horas de trabajo
		4	Cable de mando roto

Fuente: Propia – Hoja aplicación RCM- Software Mantenimiento SMCGSA

Tabla 47: Efectos falla del sistema tren de fuerza del volquete FMX440

			SISTEMA DE TREN DE FUERZA FMX 440
F	FF	MF	EFFECTOS DE FALLA
1	1	1	Mala operación , mal mantenimiento tienen como efecto desgaste en la transmisión impidiendo brindar el movimiento del equipo , operador para el equipo para evitar mayores daños
		2	
1	2	1	Mala operación, mal mantenimiento ,cardan y crucetas fatigados tienen como efecto que los cardanes sufran averías impidiendo el brindar movimiento del equipo , operador para el equipo para evitar mayores daños
		2	
		3	
1	3	1	Mala operación, falta de mantenimiento y vida útil del componente tienen como efecto que las coronas de los diferencias sufran averías impidiendo brindar el movimiento del equipo , operador para el equipo para evitar mayores daños
		2	
		3	

2	1	1	Mala elección de neumático y falta de mantenimiento de vías tienen como efecto que los neumáticos sufran averías impidiendo brindar tracción del equipo , operador para el equipo para evitar mayores daños
		2	
2	2	1	Mala operación, mal mantenimiento tienen como efecto que los discos de embrague sufran averías impidiendo brindar tracción del equipo , operador para el equipo para evitar mayores daños
		2	
3	1	1	Horas de trabajo, repuesto alternativo tienen como efecto que los discos de embrague sufran averías impidiendo brindar velocidad al equipo , operador para el equipo para evitar mayores daños
		2	
3	2	1	Mala operación, mal mantenimiento tienen como efecto que los piñones y sincronizadores sufran averías impidiendo brindar el velocidad al equipo , operador para el equipo para evitar mayores daños
		2	
		3	
3	3	1	Mala operación, mal mantenimiento, cable de mandos roto tienen como efecto que la palanca de cambios sufran averías impidiendo brindar el velocidad al equipo , operador para el equipo para evitar mayores daños
		2	
		3	
		4	

Fuente: Propia – Hoja aplicación RCM- Software Mantenimiento SMCGSA

Tabla 48: Matriz de riesgo del sistema tren de fuerza del volquete FMX440

SISTEMA DE TREN DE FUERZA FMX 440																		
F	F	MODOS DE FALLA	P	Kfo		Ksf		Kma		Kic		Kor		Koc		S	R = P X S	
				0.05		0.20		0.10		0.30		0.30		0.05				
				F	Kfo X	S	Ksf X	M	Kma X	I	Kic X	O	Kor X	O	Koc X			
O	FO	F	SF	A	MA	C	IC	R	OR	C	OC							
1	1	1	Mal mantenimiento	4	4	0.2	1	0.2	1	0.1	3	0.9	3	0.9	3	0.15	2.45	9.8
		2	Mala operación	4	4	0.2	1	0.2	1	0.1	3	0.9	3	0.9	3	0.15	2.45	9.8
1	2	1	Mala operación	5	4	0.2	1	0.2	1	0.1	2	0.6	3	0.9	3	0.15	2.15	10.75

			Cardan y crucetas fatigado por horas de trabajo	5	4	0.2	1	0.2	1	0.1	2	0.6	3	0.9	3	0.15	2.15	10.75
		2																
			Mal mantenimiento	4	4	0.2	1	0.2	1	0.1	3	0.9	3	0.9	3	0.15	2.45	9.8
		3																
1	3	1	Falta de mantenimiento	4	4	0.2	1	0.2	2	0.2	3	0.9	3	0.9	3	0.15	2.6	10.2
		2	Mala operación	5	4	0.2	1	0.2	2	0.2	3	0.9	3	0.9	3	0.15	2.6	12.75
		3	Vida útil de componente	3	2	0.1	1	0.2	2	0.2	3	0.9	3	0.9	3	0.15	2.5	7.35
2	1	1	Material de neumático mala calidad	4	4	0.2	2	0.4	1	0.1	2	0.6	3	0.9	3	0.15	2.4	9.4
		2	Vías en mal estado	5	4	0.2	2	0.4	1	0.1	2	0.6	2	0.6	3	0.15	2.1	10.25
2	2	1	Mala operación	5	4	0.2	1	0.2	1	0.1	2	0.6	3	0.9	3	0.15	2.2	10.75
		2	Mal mantenimiento	5	4	0.2	1	0.2	1	0.1	2	0.6	3	0.9	3	0.15	2.2	10.75
3	1	1	Horas de trabajo	4		0	1	0.2	1	0.1	2	0.6	3	0.9	3	0.15	2	7.8
		2	Repuesto alternativo	5		0	1	0.2	1	0.1	2	0.6	3	0.9	3	0.15	2	9.75

3	2	1	Mala operación	4	0	1	0.2	1	0.1	3	0.9	4	1.2	3	0.15	2.6	10.2
		2	Mal mantenimiento	4	0	1	0.2	1	0.1	3	0.9	4	1.2	3	0.15	2.6	10.2
		3	Horas de trabajo	3	0	1	0.2	1	0.1	3	0.9	4	1.2	3	0.15	2.6	7.65
3	3	1	Mala operación	5	0	1	0.2	1	0.1	1	0.3	1	0.3	3	0.15	1.1	5.25
		2	Mal mantenimiento	4	0	1	0.2	1	0.1	1	0.3	1	0.3	3	0.15	1.1	4.2
		3	Horas de trabajo	4	0	1	0.2	1	0.1	1	0.3	1	0.3	3	0.15	1.1	4.2
		4	Cable de mando roto	1	0	1	0.2	1	0.1	1	0.3	1	0.3	3	0.15	1.1	1.05

Fuente: Propia – Hoja aplicación RCM- Software Mantenimiento SMCOSA

Tabla 49: Tareas de mantenimiento en el sistema tren de fuerza del volquete FMX440

SISTEMA DE TREN DE FUERZA FMX 440							
F	FF		MODOS DE FALLA	R = P X S	TIPO DE DECISIÓN	TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA (horas)
1	1	1	MAL MANTENIMIENTO	9.8	Preventiva	Realizar muestreo de lubricantes para hallar cualquier picos de desgaste entre sus parámetros de metales	1200

		2	MALA OPERACIÓN	9.8	Preventiva(Reemplazo programado)	Cambio de componente por uno nuevo o reparado	12000
1	2	1	MALA OPERACIÓN	10.75	Correctivo (No programado)	Cambio de componente por uno nuevo o reparado	4800
		2	CARDAN Y CRUCETAS FATIGADO POR HORAS DE TRABAJO	10.75	Correctivo (No programado)	Cambio de componente por uno nuevo o reparado	4800
		3	MAL MANTENIMIENTO	9.8	Preventiva(Reemplazo programado)	Realizar inspecciones para hallar anomalías en ajuste, sujeción, etc.	600
1	3	1	FALTA DE MANTENIMIENTO	10.2	Correctivo (No programado)	Cambio de componente por uno nuevo o reparado	12000
		2	MALA OPERACIÓN	12.75	Correctivo (No programado)	Cambio de componente por uno nuevo o reparado	12000
		3	VIDA UTIL DE COMPONENTE	7.35	Preventiva(Reemplazo programado)	Realizar inspecciones para hallar anomalías en ajuste, sujeción, etc.	
2	1	1	MATERIAL DE NEUMATICO MALA CALIDAD	9.4	Preventiva(Reemplazo programado)	Realizar inspecciones para hallar desgastes	2400
		2	VIAS EN MAL ESTADO	10.25	Correctivo (No programado)	Realizar las coordinaciones adecuadas con el área de operaciones para realizar un cronograma de mantenimiento de vías.	Bimestral
2	2	1	MALA OPERACIÓN	10.75	Correctivo (No programado)	Cambio de componente por uno nuevo o reparado original	9600

			MAL MANTENIMIENTO	10.75	Correctivo (No programado)	Cambio de componente por uno nuevo o reparado	9600
		2					
3	1	1	HORAS DE TRABAJO	7.8	Preventiva(Reemplazo programado)	Toma de medidas de desgaste	600
			REPUESTO ALTERNATIVO	9.75	Preventiva(Reemplazo programado)	Reemplazo de este según desgaste con repuesto originales	600
		2					
3	2	1	MALA OPERACIÓN	10.2	Correctivo (No programado)	Cambio de componente por uno nuevo o reparado	12000
			MAL MANTENIMIENTO	10.2	Correctivo (No programado)	Cambio de componente por uno nuevo o reparado	12000
		2					
			HORAS DE TRABAJO	7.65	Preventiva(Reemplazo programado)	Realizar muestreo de lubricantes para hallar cualquier picos de desgaste entre sus parámetros de metales	600
		3					
3	3	1	MALA OPERACIÓN	5.25	Preventiva(Reemplazo programado)	Cambio de repuesto nuevo	9600
			MAL MANTENIMIENTO	4.2	Basado en condición	Realizar inspecciones para hallar desgastes	600
		2					
			HORAS DE TRABAJO	4.2	Basado en condición	Realizar inspecciones para hallar desgastes	600
		3					
			CABLE DE MANDO ROTO	1.05	Basado en condición	Realizar inspecciones para hallar desgastes	600
		4					

Fuente: Propia – Hoja aplicación RCM- Software Mantenimiento SMCOSA

Los costos relacionados del mantenimiento en toda la flota de volquetes se analizaron los datos de los 3 últimos meses del periodo 2014.

En los costos se encontró que para asegurar la disponibilidad de los volquetes se destinado altos costos realizando trabajos de mantenimiento sin cumplir estándares de calidad exigido por mantenimiento , empleando repuestos alternativos para solucionar problemas de fallas no programadas , esto provoca incremento costos no considerados en plan de mantenimiento

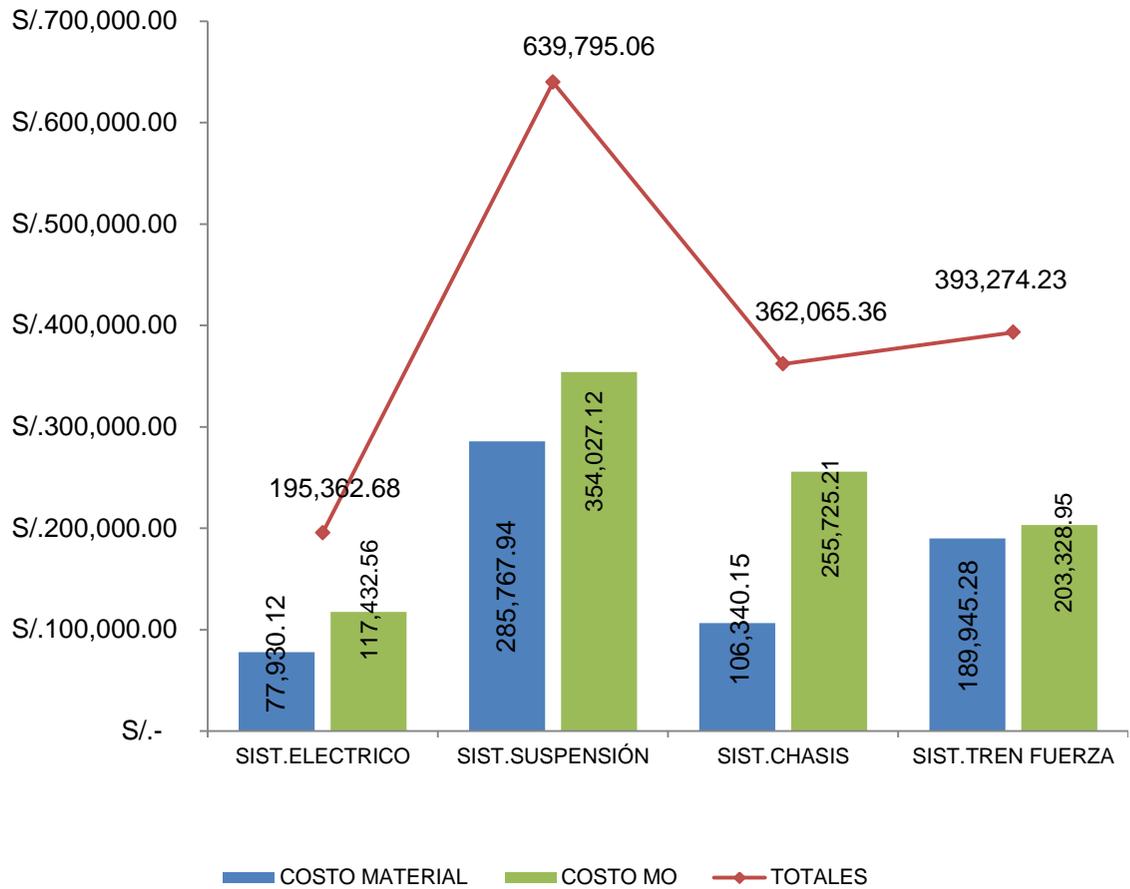
Los costos relacionados a repuestos y materiales representan aproximadamente el 42%. En la tabla siguiente se muestra el análisis del detalle

Tabla 50: Costos incurridos en cada sistema en 3 últimos meses 2014

SISTEMAS	COSTO MATERIAL	COSTO MO	COSTO TOTAL
SIST.ELECTRICO	S/. 77,930.12	S/. 117,432.56	S/. 195,362.7
SIST.SUSPENSIÓN	S/. 285,767.94	S/. 354,027.12	S/. 639,795.1
SIST.CHASIS	S/. 106,340.15	S/. 255,725.21	S/. 362,065.4
SIST.TREN FUERZA	S/. 189,945.28	S/. 203,328.95	S/. 393,274.2
TOTALES	S/. 659,983.49	S/. 930,513.84	S/. 1,590,497.33

Fuente: Software Mantenimiento SMCGSA

Grafico 28: Costos incurrido en cada sistema 3 últimos meses 2014



Fuente: Software Mantenimiento SMCGSA

4.9 Análisis costo beneficios

A continuación se analiza el costo de la mejora de la propuesta de mejora

CR4: Se obtiene un beneficio de -40% en repuestos originales con el dealer.

CR7: Se obtiene un beneficio de -49.8% realizado el 80% de Mtto de vías

CR6: Se obtiene un beneficio de -89.7% en MO especializada

CR2: Se obtiene un beneficio de -55.2% en capacitación de operadores

CR10: Se obtiene un beneficio de -98.4% en Mtto predictivo

Tabla 51: Costos y beneficios obtenidos

CR	DESCRIPCIÓN	COSTO ACTUAL	COSTO PRESUPUESTO	BENEFICIO
CR4	No se cuenta con una gestión de proveedores	S/. 659,983	S/. 395,990	S/. 263,993
CR7	No existe programa de mantenimiento de vías	S/. 1,395,135	S/. 700,000	S/. 695,135
CR6	No se cuenta con personal experto en flota	S/. 930,514	S/. 96,000	S/. 834,514
CR2	Mal reclutamiento de personal operador	S/. 133,952	S/. 60,000	S/. 73,952
CR10	No existe herramienta y/o instrumentos de medición	S/. 189,945	S/. 2,995	S/. 186,950
		S/. 3,309,529	S/. 1,254,985	S/. 2,054,544

Fuente: Software Mantenimiento SMCGSA

CAPÍTULO 5

EVALUACIÓN

ECONÓMICA

FINANCIERA

5.1 Inversión

La inversión que se realizara en las 5 CR se distribuye de la siguiente manera

Tabla 52: Inversión realizada en las 5CR.

CR	DESCRIPCIÓN	INVERSIÓN
CR4	No se cuenta con una gestión de proveedores	S/. 395,990
CR7	No existe programa de mantenimiento de vías	S/. 700,000
CR6	No se cuenta con personal experto en flota	S/. 96,000
CR2	Mal reclutamiento de personal operador	S/. 60,000
CR10	No existe herramienta y/o instrumentos de medición	S/. 2,995
		S/. 1,254,985

Fuente: Propia

También se considera una inversión en compra y alquiler de volquetes con ciertas características para que podamos incrementar nuestra producción además de realizar las paradas de los equipos actuales para realizar el cambio de los repuestos alternativos por originales. Esta se proyecta o se plantea realizar al inicio y a la mitad de toda la proyección efectuada en diferentes cantidades, además de considerar la inversión del soporte técnico del dealer según marca realizar la compra.

Alquiler \$10K Mensual y compra de \$180K

Tabla 53: Inversión realizada en alquileres y compra de volquetes.

INVERSIÓN COMPRA Y ALQUILER VOLQUETES	TOTAL
Alquiler de volquetes (5 unidades x 6 meses)	S/. 160,000
Compra de equipos nuevos (Más robustos) (19 unidades)	S/. 10,944,000

Fuente: Propia

5.2 Egresos

Los egresos generados en estas 5 CR y los demás ítem serían generados en el primer mes de inicio de la proyección. Y estos serían por:

- Repuestos originales.
- Mantenimiento de vías.
- Contratación de personal experto en la flota.
- Contratación de personal para el área de monitores.
- Contratación de servicio de análisis de aceite.
- Alquiler de volquetes.
- Compra de volquetes.
- Otros

Tabla 54: Egresos generados inicio de proyectado.

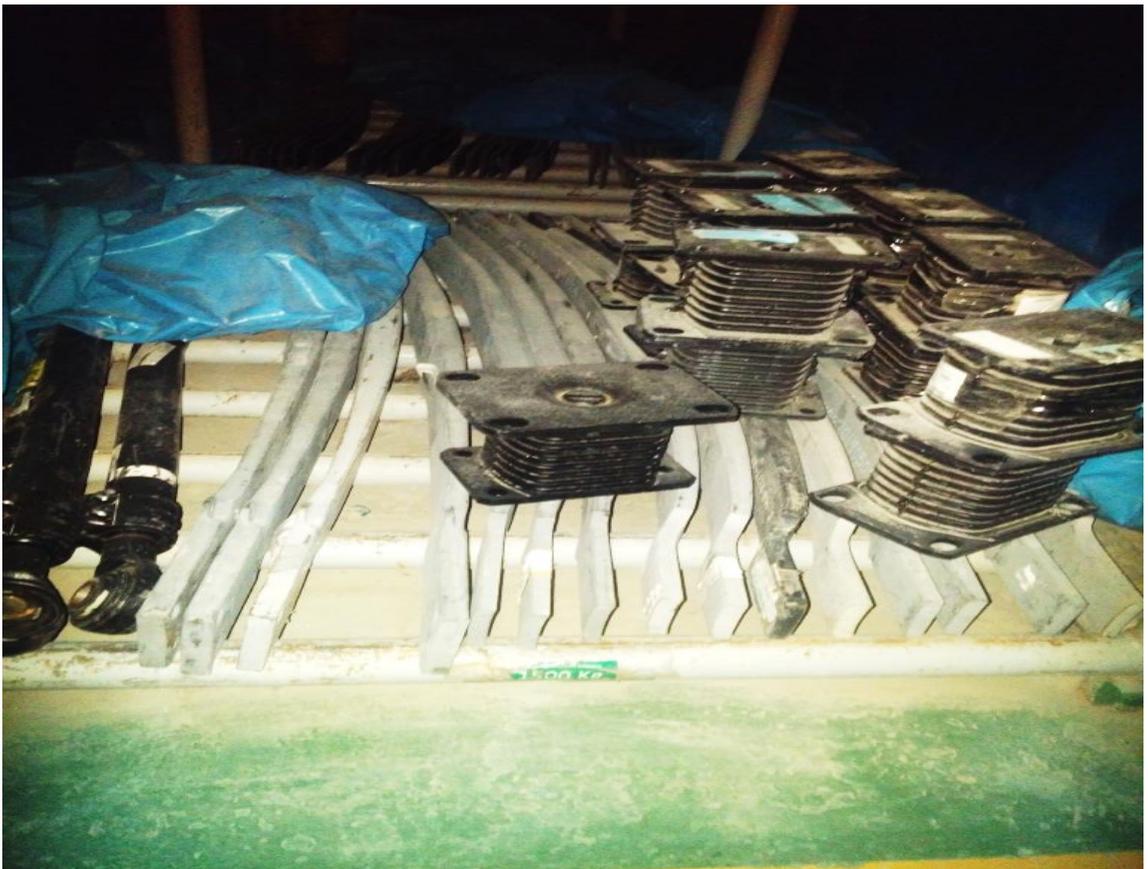
EGRESOS	TOTAL
Compra repuestos originales	S/. 395,990
Implementación mantenimiento de vías	S/. 700,000
Alquiler de volquetes (5 unidades x 6 meses)	S/. 160,000
Compra de equipos nuevos (Más robustos)	S/. 10,944,000
Contratación personal experto - Marca Actual	S/. 32,000
Contratación personal experto - Marca Nueva	S/. 0
Compra repuestos originales - Marca Nueva	S/. 0
Contratación y capacitación personal monitor	S/. 60,000
Contratación servicio análisis aceite	S/. 2,995
Otros	S/. 5,000
TOTAL EGRESOS	S/. 9,995,985

Fuente: Propia

Repuestos sistema eléctrico originales a adquirir a consignación con descuento de 40%
(Faros delanteros/ Faros posteriores)



Repuestos sistema suspensión originales a adquirir a consignación con descuento de 40% (Paquetes de muelles delanteros / Resortes progresivos)



Repuestos sistema tren de fuerza originales a adquirir a consignación con descuento de 40% (Crucetas / Cardan secundario)



Repuestos varios originales a adquirir a consignación con descuento de 40%



5.3 Beneficios

Los beneficios que se obtendrán serán de la reducción de los costos de mantenimientos correctivos incurridos gracias al incremento del MTBS Es decir el equipo falla menos, y a los ingresos obtenidos por la mayor producción gracias al incremento de la DM, Este punto se podrá visualizar el beneficio a partir del segundo mes después de haber realizado la inversión.

Tabla 55: Beneficios obtenidos

BENEFICIOS	0	1	2
Beneficios en costos reparaciones	S/. 0	S/. 1,851,548.82	S/. 1,819,548.82
Beneficios en aumento de producción	S/. 0	S/. 0	S/. 3,465,792.00

Fuente: Propia

5.4 Flujo De Caja

MES	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	TOTAL
-----	-------	---------	-------	-------	------	-------	-------	--------	------------	---------	-----------	-----------	-------	-------

EGRESOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	TOTAL
Compra repuestos originales	S/. 395,990	S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 395,990	S/. 791,980					
Implementación mtto vías	S/. 700,000	S/. 0	S/. 700,000	S/. 0	S/. 700,000	S/. 2,100,000								
Alquiler de volquetes (5 unidades x 6 meses)	S/. 160,000	S/. 160,000	S/. 160,000	S/. 160,000	S/. 160,000	S/. 160,000	S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 960,000
Compra de equipos nuevos (Mas robustos)	S/. 8,640,000	S/. 0	S/. 2,304,000	S/. 0	S/. 10,944,000									
Contratación personal experto - Marca Actual	S/. 32,000	S/. 32,000	S/. 32,000	S/. 32,000	S/. 32,000	S/. 32,000	S/. 32,000	S/. 32,000	S/. 32,000	S/. 32,000	S/. 32,000	S/. 32,000	S/. 32,000	S/. 416,000
Contratación personal experto - Marca Nueva	S/. 0	S/. 0	S/. 22,528	S/. 22,528	S/. 22,528	S/. 22,528	S/. 22,528	S/. 22,528	S/. 22,528	S/. 247,808				
Compra repuestos originales - Marca Nueva	S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 20,000	S/. 120,000					
Contratación y capacitación personal monitor	S/. 60,000	S/. 3,000	S/. 6,000	S/. 3,000	S/. 6,000	S/. 102,000								
Contratación servicio analisis aceite	S/. 2,995	S/. 2,995	S/. 2,995	S/. 2,995	S/. 2,995	S/. 2,995	S/. 2,995	S/. 2,995	S/. 2,995	S/. 2,995	S/. 2,995	S/. 2,995	S/. 2,995	S/. 38,938
Otros	S/. 5,000	S/. 5,000	S/. 5,000	S/. 5,000	S/. 5,000	S/. 5,000	S/. 5,000	S/. 5,000	S/. 5,000	S/. 5,000	S/. 5,000	S/. 5,000	S/. 5,000	S/. 65,000
TOTAL EGRESOS	S/. 9,995,985	S/. 202,995	S/. 225,523	S/. 225,523	S/. 225,523	S/. 225,523	S/. 3,072,523	S/. 85,523	S/. 1,184,513	S/. 15,785,726				

BENEFICIOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	TOTAL
Beneficios en costos reparaciones	S/. 0	S/. 1,851,549	S/. 1,819,549	S/. 1,819,549	S/. 1,819,549	S/. 1,819,549	-S/. 1,027,451	S/. 1,969,021	S/. 870,031	S/. 18,817,428				
Beneficios en aumento de producción	S/. 0	S/. 0	S/. 3,465,792	S/. 38,123,712										
TOTAL BENEFICIOS	S/. 0	S/. 1,851,549	S/. 5,285,341	S/. 5,285,341	S/. 5,285,341	S/. 5,285,341	S/. 2,438,341	S/. 5,434,813	S/. 4,335,823	S/. 56,941,140				

FLUJO MENSUAL DE CAJA	-S/. 9,995,985	S/. 1,648,554	S/. 5,059,818	S/. 5,059,818	S/. 5,059,818	S/. 5,059,818	-S/. 634,182	S/. 5,349,290	S/. 3,151,309	S/. 41,155,414				
------------------------------	-----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	---------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	-----------------------

TMAR	1.53%
TIR	37%
VAN	S/. 36,202,293
B/C	3.38

VAN Beneficios	S/. 51,418,674
VAN Egresos	S/. 15,216,381

CAPÍTULO 6

RESULTADOS Y

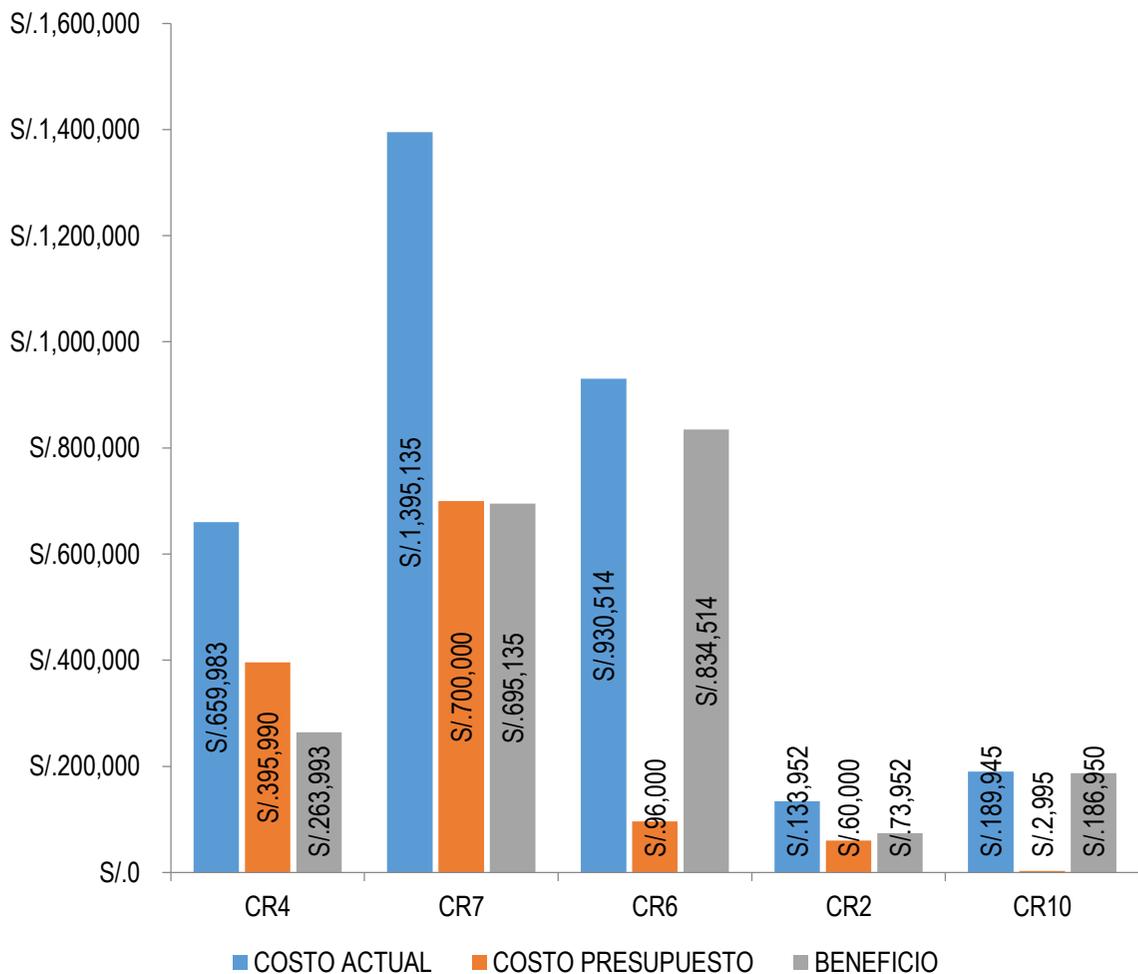
DISCUSIÓN

6.1 Resultados

Los resultados obtenidos en el presente análisis son los siguientes.

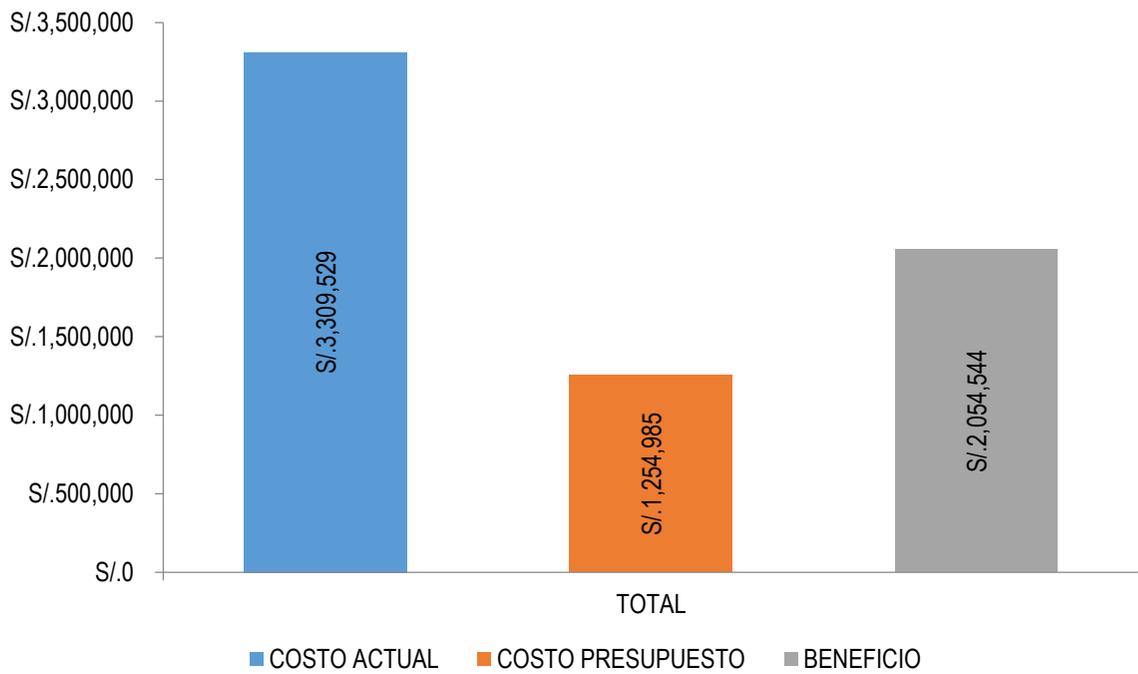
Reducción de costos incurridos por parada de equipos debidos a las 5 CR Principales causantes de bajo % en los indicadores de DM – MTBS. Los cuales se mejoró o se mejorara con las herramientas aplicada en un aproximadamente - 62% del presupuesto actual. Además de incrementar la disponibilidad en un 90% y 75% en el MTBS.

Grafico 29: Costos y Beneficios De las CR.



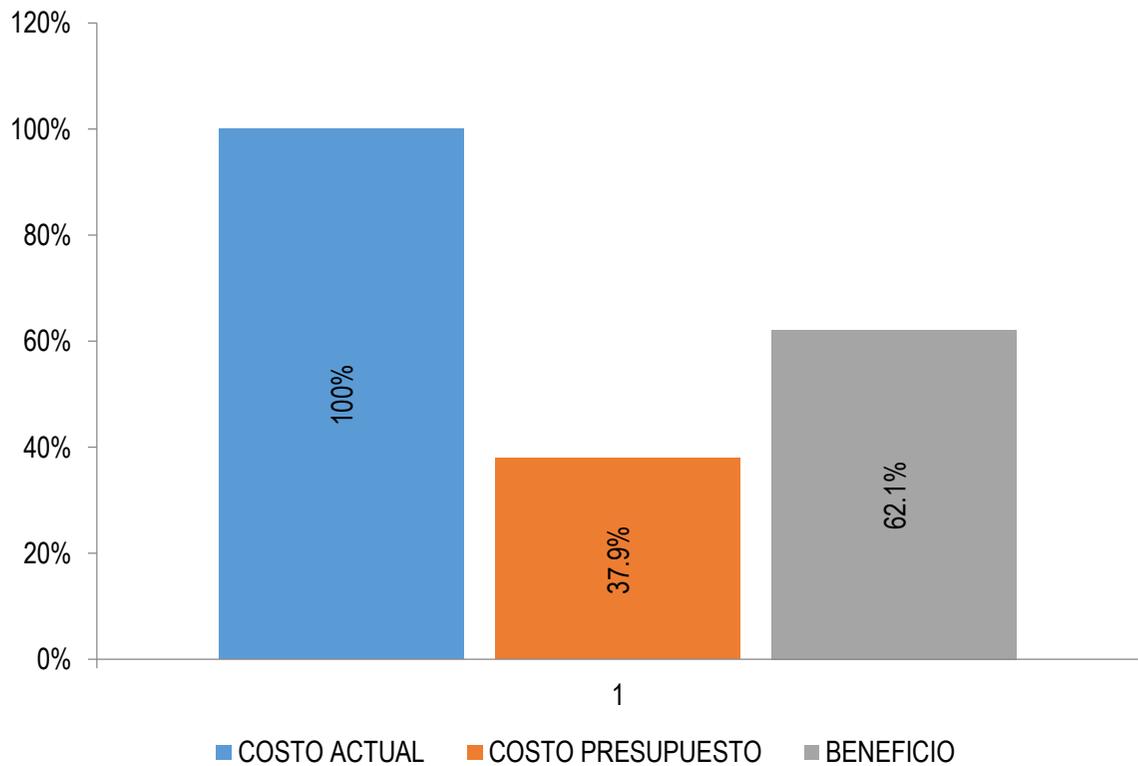
Fuente: Fuente Propia.

Grafico 30: Costos y Beneficios Totales De las CR.



Fuente: Fuente Propia.

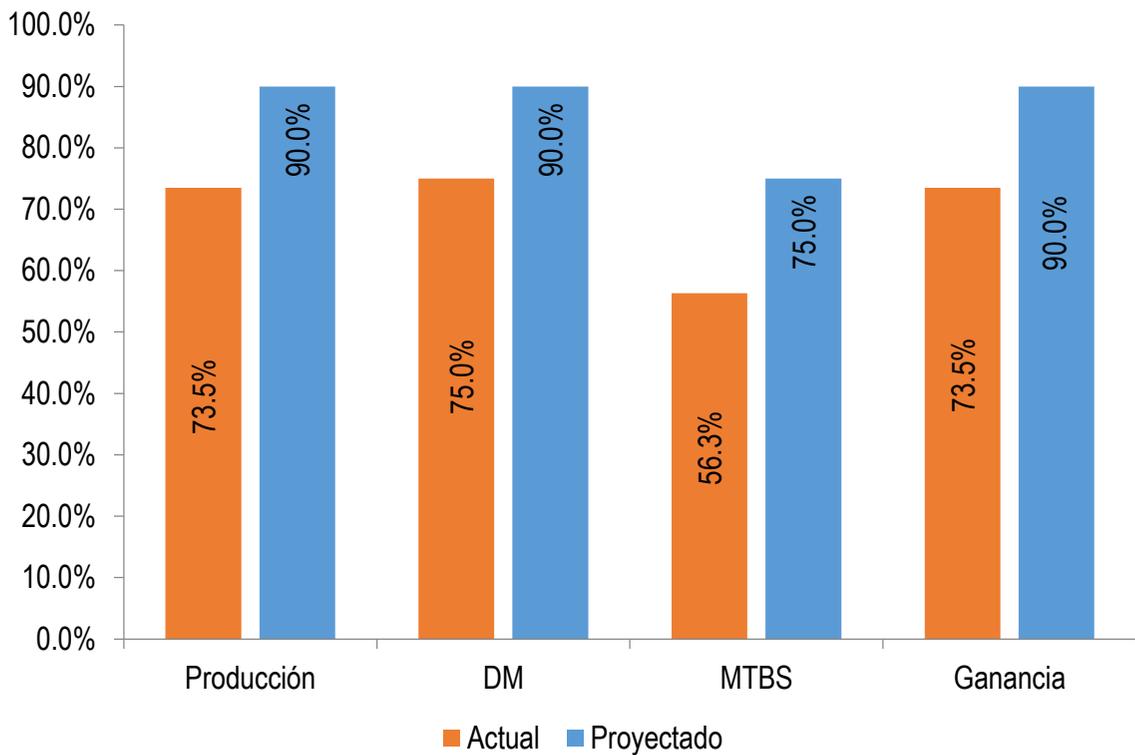
Grafico 31:% Costos y Beneficios Totales De las CR.



Fuente: Fuente Propia.

También debido a la aplicación e identificación de mejoras además de toma de decisiones como por ejemplo la compra y alquiler de equipos para poder cubrir las reparaciones de los equipos dañados y/o la parada de estos equipos para el cambio de los repuestos alternativos por originales reduciendo mi pérdida de producción en aproximadamente 62% en BCM Como en \$M. Incrementando mi ganancia en \$ 1, 083,060.00

Grafico 32:% De incrementos



Fuente: Fuente Propia.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- Se realizó un diagnóstico general del proceso de acarreo en la operación Cerro Corona – Gold Fields De la empresa San Martin Contratistas Generales S.A. Con el apoyo del personal, esto permitió tener una visión más amplia de la empresa y del proceso, el trabajo en equipo fue indispensable para poder desarrollar cada fase de la metodología del RCM.
- En la fase de definición, se identificó los problemas presentes de los % indicadores y las producciones alcanzadas diariamente, lo cual permitió priorizar el problema principal para el estudio, asimismo se definió la situación actual de la empresa para ello se requirió de datos históricos de la empresa. En esta etapa se utilizaron las herramientas como Diagrama de ISHIKAWA y Pareto.
- En la fase de medición se utilizó las herramientas RCM, dentro del estudio se dieron buenos resultados lo cual permitió identificar las funciones primarias, secundarias, modos de fallas, efectos de fallas, criticidad, severidad, impacto en diferentes factores, medioambiente, seguridad, impacto al en la empresa y también el impacto al cliente según estos resultados se dio prioridad a modos fallas identificados como críticos.
- Luego de analizar las principales causas que generan una mala DM Y Una malo MTBS Por ende una mala producción, se concluye que se deben tomar acciones correctivas para minimizar o eliminar:
 - La falta de una gestión de proveedores.
 - La falta de un programa de mantenimiento de vías
 - La falta de personal operativo especializado en la flota
 - La falta de buen reclutamiento y capacitación de personal operador.
 - La falta de mantenimiento predictivo
- En la fase de mejora se proponen:
 - Llegar a un acuerdo de descuento en repuestos originales de consignación con el dealer de la marca de los equipos obteniendo así una gestión de proveedores y más un si es con el dealer.

- Realizar la propuesta de adquisición y alquiler de equipos para incrementar DM y mantenerla mientras se renueva la flota y se realiza cambio de repuestos alternativos por originales.
- Implementación de inspecciones y cambio programados de componentes críticos en los equipos
- Realizar programa de mantenimiento de vías.
- Contratación de MO Especializada en esta flota.
- Contratación de monitores para capacitar a los operadores
- Contratación de servicios de análisis de aceite.
- Se obtuvo en la propuesta de mejora en el incremento de % DM Y MTBS, Por ende un incremento en la producción y ganancia de estos.
- Finalmente se concluye que el impacto de la propuesta basada en RCM incrementa los % de los indicadores y por ende la producción.

7.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar las inversiones propuestas para cada causa raíz, para de esta manera lograr la incrementar la rentabilidad de la operación. Y dar un seguimiento y corregir en el camino si el caso lo dieran las variaciones de los supuestos planteados
- Como apoyo a las propuestas, se recomienda una capacitación constante a lo trabajadores que se involucran en el área analizada, con la finalidad de que sean responsables de la implementación de las propuestas planteadas.
- Se recomienda tener en cuenta la implementación de los manuales de procedimientos, que se logrará un mejor orden y conocimiento para llevar a cabo el mantenimiento de dichos equipos.

BIBLIOGRAFÍA

Libros:

**John Moubray - Mantenimiento centrado en la confiabilidad –
Segunda Edición**

Tesis Virtuales:

<http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/7742/2/13754.pdf>

<http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/1402/browse?type=author&value=Rodriguez+del+Aguila%2CMiguel+Angel>

http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/744/1/cordova_mc.pdf

http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/1337/Industrial_DANIEL%20CASTILLO%20FELIX.pdf?sequence=4&isAllowed=y

<http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/1359>

<http://TESIS/TESIS%20OTRAS/bernardo1.pdf>

<http://TESIS/TESIS%20OTRAS/FATIMA%20SANCHEZ%20HUAMAN.pdf>

<http://TESIS/TESIS%20OTRAS/mineria.pdf>

ANEXOS

ANALISIS DE CRITICIDAD DEL EQUIPO EN PROYECTO CERRO CORONA - GOLD FIELDS

DONDE: $\text{CRITIDAD TOTAL} = \text{FRECUENCIA DE FALLAS} \times \text{CONSECUENCIA}$

$\text{CONSECUENCIA} = ((\text{IMPACTO OPERACIONAL} \times \text{FLEXIBILIDAD}) + \text{COSTO MTTO.} + \text{IMPACTO SAH})$

FRECUENCIA DE FALLAS

Pobre mayo a 2 fallas / año	4
Promedio 1-2 fallas / año	3
Buena 0.5 - 1 falla / año	2
Excelente menos de 0.5 falla/año	1

IMPACTO OPERACIONAL

Perdida del todo el despacho	10
Parada del sistema o subsistema y tiene repercusión en otro sistema	7
Impacta en niveles de inventario o calidad	4
No generan ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	1

FLEXIBILIDAD OPERACIONAL

No existe opción de producción y no hay función de repuesto	4
Hay opción de repuesto compartido / almacen	2
Función de repuesto disponible	1

COSTO DE MANTENIMIENTO

Mayor o igual a \$ 20000	2
Inferios a \$ 20000	1

IMPACTO EN SEGURIDAD AMBIENTE E HIGIENE (SAH)

Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere la notificación a entes externos de la organización	8
Afecta el ambiente /instalaciones	7
Afecta las instalaciones causando daños severos	5
Provoca daños menores (ambiente - seguridad)	3
No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o al ambiente	1

MATRIZ DE CRITICIDAD

Maximo valor de criticidad que se puede obtener a partir de los factores ponderados = 200

4	MC	MC	C	C	C
3	MC	MC	MC	C	C
2	NC	NC	MC	C	C
1	NC	NC	NC	MC	C
	10	20	30	40	50

NC= Area de sistemas **NO CRITICOS**

MC= Area de sistemas de **MEDIA CRITICIDAD**

C = Area de **SISTEMAS CRITICOS**

EQUIPO

$$\text{CONSECUENCIA} = ((IO * FO) + CM + IMA)$$

$$\text{CRITICIDAD TOTAL} = \text{FF} * \text{CONSECUENCIA}$$

**ENCUESTA PARA HALLAR CAUSA RAIZ DE BAJA
CONFIABILIDAD EN EQUIPOS DE ACARREO OPERACIONES CERRO CORONA**

NOMBRE Y APELLIDOS: _____

CARGO: _____ **AREA:** _____

LEYENDA: 1 Malo 2 Bajo 3 Regular 4 Muy Alto

ITEM	PREGUNTAS	VALORES			
		1	2	3	4
CR1	EXISTE INCORRECTO RECLUTAMIENTO DE PERSONAL TECNICO Y OPERADORES				
CR2	NO EXISTE PLAN DE CAPACITACIÓN PARA TECNICOS Y OPERADORES				
CR3	NO SOPORTE TECNICO MARCA DE EQUIPO COSTOSA				
CR4	REPUESTOS ORIGINALES COSTOSOS				
CR5	NO EXISTE CONTRATO DE REPUESTOS EN CONSIGNACIÓN CON LA MARCA DEL EQUIPO				
CR6	NO EXISTE PROGRAMA DE RENOVACIÓN DE FLOTA				
CR7	NO SE CUENTA CON PERSONAL EXPERTO EN FLOTA				
CR8	NO EXISTE PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE VIAS				
CR9	NO EXISTE PROCEDIMIENTOS DE TRABAJOS				
CR10	NO EXISTE HERRAMIENTAS Y/O INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN				

FECHA: _____

FIRMA