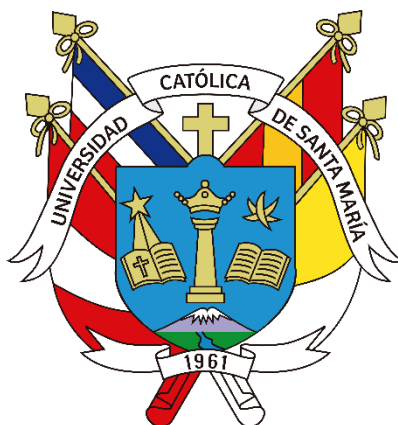


Universidad Católica de Santa María
Escuela de Postgrado
Maestría en Ingeniería de Mantenimiento



**DISEÑAR E IMPLEMENTAR UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN
RCM MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA EQUIPOS
CRÍTICOS EN UNA CEMENTERA DEL SUR DEL PAÍS**

Tesis presentada por el Bachiller:

Flores Puma, Luis Gabriel

para optar el Grado Académico de

**Maestro en Ingeniería de
Mantenimiento**

Asesor:

Dr. Pacheco Oviedo, Abraham Arturo

Arequipa- Perú

2023

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
ESCUELA DE POSTGRADO

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR DE TESIS

Arequipa, 05 de Diciembre del 2021

Dictamen: 000202-C-EPG-2021

Visto el borrador del expediente 000202, presentado por:

2018009311 - FLORES PUMA LUIS GABRIEL

Titulado:

**DISEÑAR E IMPLEMENTAR UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM MANTENIMIENTO
CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA EQUIPOS CRÍTICOS EN UNA CEMENTERA DEL SUR DEL
PAÍS**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**1341 - TICSE VILLANUEVA EDWING JESUS
DICTAMINADOR**



**1780 - VALENCIA BECERRA ROLARDI MARIO
DICTAMINADOR**



**2346 - MOLINA RODRIGUEZ FREDY NICOLAS
DICTAMINADOR**



Dedicatoria

A Dios, creador de las personas que más amamos.

A mi familia por haberme apoyado en todo momento y por darme las fuerzas para seguir adelante, gracias amada esposa Flor Burgos Aitara, amados hijos Gabriel Aaron y Dominik Liam Jesús Flores Burgos.

Gracias amados padres Nila Valentina Puma Rios de Flores y Gabriel Jesus Flores Gutierrez.

Luis Gabriel Flores Puma



Agradecimiento



A nuestros docentes, quienes se han tomado el arduo trabajo de transmitirnos sus conocimientos y guiarnos por el camino correcto, ofreciendo sabios consejos para lograr nuestras metas. Al Dr. Molina Rodríguez Fredy Nicolás quien nos orientó en este largo camino.

RESUMEN

El presente trabajo de Investigación tiene como objetivo elaborar e implementar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad basados en la norma SAE JA 1011 y SAE JA 1012 que permita mejorar los costos y aumentar la confiabilidad de los equipos críticos de una cementera del sur del país.

Es por ello por lo que la metodología propuesta es la utilización del (RCM) o Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, con el objetivo de seleccionar la mejor opción de mantenimiento para cada componente mantenible crítico.

Para ello fue necesario jerarquizar los equipos, sistemas y componentes conforme a su criticidad, con el objetivo de tener identificado el equipo que podría afectar las operaciones.

Con el estudio propuesto se pretende encontrar tareas de mantenimiento, que permitan aumentar la confiabilidad y reducir los costos de mantenimiento, con una adecuada y pertinente toma de decisiones, soportado en un análisis de confiabilidad.

Finalmente, los logros alcanzados con la aplicación de RCM o Mantenimiento Centrado en la confiabilidad, son cuantificados y plasmados en los planes de mantenimiento que se aplicarán a los camiones Caterpillar modelo 772 y cargadores frontales Caterpillar modelo 988H, con la implementación del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad se aumentó la confiabilidad de 58% a 82% en los Camiones Caterpillar 772 y de 79% a 90% en los Cargadores Frontales Caterpillar 988H y se disminuyó el costo de mantenimiento de 27 \$/Hr a 26 \$/Hr en los Camiones Caterpillar 772 y de 28 \$/Hr. a 27 \$/Hr. en los Cargadores Frontales Caterpillar 988H.

Palabra clave:

Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, metodología, costos.

ABSTRACT

The objective of this research work is to elaborate and implement a maintenance plan focused on reliability based on the SAE JA 1011 and SAE JA 1012 standards that allow to improve costs and increase the reliability of critical equipment in a cement company in the south of the country.

That is why the proposed methodology is the use of (RCM) or Reliability Centered Maintenance, with the aim of selecting the best maintenance option for each critical maintainable component.

For this, it was necessary to rank the equipment, systems and components according to their criticality, in order to be able to identify the equipment that could affect operations.

The proposed study aims to find maintenance tasks that increase reliability and reduce maintenance costs, with adequate and pertinent decision-making, supported by a reliability analysis.

Finally, the achievements made with the application of RCM or Reliability Centered Maintenance are quantified and reflected in the maintenance plans that will be applied to Caterpillar Model 772 Trucks and Caterpillar Model 988H front loaders, with the implementation of the maintenance plan focused on reliability, the reliability was increased from 58% to 82% in the Caterpillar 772 Trucks and from 79% to 90% in the Caterpillar 988H Front Loaders and the maintenance cost was decreased from \$27 /Hr to \$26/Hr on Caterpillar 772 Trucks and from \$28/Hr. at \$27/Hr. on Caterpillar 988H Front Loaders.

Key word:

Reliability Centered Maintenance, methodology, costs.

INTRODUCCIÓN

Para el desarrollo y la explotación de la cantera de Cemento Yura S.A. es necesaria una gran maquinaria de extracción y movimiento de tierra, este conjunto de máquinas se puede clasificar en seis importantes grupos: camiones, cargadores, perforadoras, tractores, excavadoras y equipos auxiliares, los más importantes en la cadena de producción son los equipos críticos como cargadores y camiones que llevan la materia prima o el material estéril dependiendo del caso, es por este motivo que una falla inesperada que ocurra en un cargador o camión impacta mucho a la producción.

De lo anterior, se concluye que resulta de vital importancia una correcta aplicación de metodologías modernas de mantenimiento en los cargadores y camiones de extracción de mineral por lo que se debe contar con una buena estrategia como el RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), que promueven el uso combinado de planes correctivos, preventivos y predictivos o también llamados monitoreo de condición. Asimismo, aplicar técnicas de mantenimiento preventivo o predictivas al 100% del equipo o sistemas no resulta económico, por lo cual se tiene que determinar un mantenimiento híbrido o mantenimiento alternativo con la ayuda de la metodología del RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad).

ÍNDICE

DICTAMEN APROBATORIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

CAPITULO I. ASPECTOS GENERALES.....20

1.	ASPECTOS GENERALES.....	21
1.1.	Hipótesis	21
1.2.	Objetivo	21
1.3.	Objetivos Específicos	21
1.4.	Nivel de estudio	21
1.5.	Diseño de investigación	21
1.6.	Planteamiento del Problema	22
1.7.	Descripción del problema	22

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO23

2.	MARCO TEÓRICO	24
2.1.	Definición de Mantenimiento.....	24
2.1.1.	Misión del Mantenimiento	25
2.1.2.	Evolución del Mantenimiento.....	25
2.1.3.	Distribución de costo de ciclo de vida	26
2.1.4.	¿Dónde Impacta el Mantenimiento?	26
2.2.	Norma SAE JA 1011 y SAE JA 1012	27
2.2.1.	Funciones	27
2.2.2.	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) – 7 preguntas.....	27
2.2.3.	Contexto Operacional	28
2.2.4.	Lista de funciones (primera pregunta)	29
2.2.5.	Funciones Primarias (primera pregunta)	29
2.2.6.	Funciones Secundarias (primera pregunta).....	30
2.2.7.	Fallas funcionales (segunda pregunta)	30
2.2.8.	Falla Total y parcial (segunda pregunta).....	31

2.2.9.	Límites Superiores e Inferiores	32
2.2.10.	Modos de Falla (tercera pregunta).....	32
2.2.11.	Identificando los Modos de Falla (tercera pregunta)	33
2.2.12.	Efectos de Falla (cuarta pregunta).....	35
2.2.13.	Categorías de Consecuencia de Fallas (quinta pregunta)	35
2.2.14.	Selección de las Políticas de Manejo de Fallas (sexta pregunta).....	37
2.2.15.	Fallas potenciales y la curva P-F	39
2.2.16.	Intervalos P-F y Fallas Aleatorias	42
2.2.17.	Selección de la Política de Manejo de Fallas – SAE JA1011 y SAE JA1012	44
2.2.18.	Aproximación del Diagrama de Decisión (séptima pregunta).....	47
2.3.	Norma ISO 14224.....	52
2.3.1.	Norma ISO 14224 - FMEA	55
2.4.	Descripción de Equipos.....	61
2.4.1.	Camión Fuera de Carretera Caterpillar 772.....	61
2.4.1.1.	Ficha técnica Camión Fuera de Carretera Caterpillar 772.....	61
2.4.1.2.	Funcionamiento de sistemas del Camión Caterpillar 772	62
2.4.1.3.	Sistema transmisión del Camión Caterpillar modelo 772	62
2.4.1.4.	Sistema hidráulico del Camión Caterpillar modelo 772	69
2.4.2.	Cargador Frontal Caterpillar 988H.....	72
2.4.2.1.	Ficha técnica Cargador Frontal Caterpillar 988H.....	72
2.4.2.2.	Vista General del Cargador Frontal Caterpillar 988H	73
2.4.3.	Vista isométrica del Cargador Frontal Caterpillar 988H	73
2.4.3.1.	Sistema Hidráulico del Cargador Frontal Caterpillar 988H.....	74
2.5.	Curva característica de la Bomba hidráulica.....	75
2.6.	Motor hidráulico de ventilador.....	78
CAPITULO III. METODOLOGÍA		79

3.	METODOLOGÍA	80
3.1.	Definición de Variables	80
3.1.1.	Variable Independiente	80
3.1.2.	Variables dependientes	80
3.2.	Campo de Verificación	80
3.2.1.	Ubicación de Verificación	80
3.2.2.	Ubicación de Temporal	80
3.2.3.	Población y Muestra	80

3.3.	Matriz de consistencia	82
3.4.	Técnica e Instrumento de Recolección de Datos.....	84
3.5.	Instrumentos de Medición	86
3.6.	Técnica de Procesamiento y Análisis de Datos.....	86

CAPITULO IV. CRITICIDAD DE EQUIPO PESADO87

4.	CRITICIDAD DE EQUIPO PESADO	88
4.1.	Generalidades:.....	88
4.2.	Objetivo:	88
4.3.	Cuadro de Equipos Críticos	88
4.3.1.	Población y muestra por criticidad de flota.....	91
4.3.2.	Plan de criticidad de Equipos y sistemas	91
4.3.3.	Criticidad de Sistemas de equipos críticos – Camión Minero Caterpillar 772 ...	93
4.3.4.	Criticidad de Sistemas de equipos críticos – Cargador Frontal Caterpillar 988H	95
4.3.5.	Ubicación Técnica de Equipos - Flota	97
4.3.6.	Taxonomía de Equipos.....	98

CAPITULO V. ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD Y COSTOS DE LA SITUACIÓN ACTUAL103

5.	ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD Y COSTOS DE LA SITUACIÓN ACTUAL	104
5.1.	Generalidades – Confiabilidad de la situación Actual	104
5.2.	Análisis de Confiabilidad de Camión Minero Caterpillar 772 con metodología Weibull.....	104
5.3.	Análisis Weibull Cargador Frontal Caterpillar 988H con metodología Weibull...	108
5.4.	Generalidades – Costos de la situación actual	111
5.5.	Costos unitarios de mantenimiento del volquete Caterpillar 772	111
5.5.1.	Costos Acumulados de Mantenimiento de Volquete Caterpillar 772	111
5.5.2.	Costo unitario de Mantenimiento de Volquete Caterpillar 772.....	112
5.6.	Costos unitarios de mantenimiento del cargador frontal Caterpillar 988H	112
5.6.1.	Costos Acumulados de mantenimiento del Cargador Frontal Caterpillar 988H	112
5.6.2.	Costo Unitario de Mantenimiento de Cargador Frontal Caterpillar 988H	113

CAPITULO VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN115

6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	116
6.1.	Generalidades	116
6.2.	Desarrollo del Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad	116
6.2.1.	RCM – Equipo, Sistema, subsistema y descripción de función.....	117
6.2.2.	RCM – Descripción de función y descripción de la falla funcional	124
6.2.3.	RCM – Modos de Falla, descripción de la actividad, frecuencia y tipo de mantenimiento	127
6.2.4.	AMEF – Modo de Falla	132
6.2.5.	Plan de Mantenimiento Sistema Hidráulico	137
6.2.6.	Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad de Camión Caterpillar 772	139
6.2.7.	Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad de Cargador Frontal Caterpillar 988H	142
6.2.8.	Definir la frecuencia eficiente de mantenimiento con análisis Weibull y costos. .	146
6.2.9.	Costo de Producción de Cargador Frontal Caterpillar 988H.....	146
6.2.9.1.	Cálculo de Producción por hora de Cargador Frontal 988H.....	146
6.2.9.2.	Costo de Producción de Cargador Frontal Caterpillar 988H	150
6.2.10.	Costo de Producción de camión caterpillar 772.....	151
6.2.10.1.	Cálculo de Producción por hora de camión caterpillar 772	151
6.2.10.2.	Costo de Producción de Camión Caterpillar modelo 772	156
6.2.11.	Aplicación Weibull para frecuencia eficiente	157
6.2.11.1.	Weibull – Análisis de confiabilidad con historial de fallas – Reparar Cilindro hidráulico con modo de falla “Rotura de sellos y seguro por fatiga”	159
6.3.	Resultados - Confiabilidad después de aplicar el Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad	164
6.3.1.	Confiabilidad de Camión Caterpillar 772	164
6.3.2.	Gráfica de Confiabilidad de Camión Caterpillar 772.....	165
6.3.3.	Confiabilidad de Cargador Frontal Caterpillar 988H.....	166
6.3.4.	Gráfica de Confiabilidad de Cargador Frontal Caterpillar 988H	167
6.4.	Resultados - Costos Unitarios de Mantenimiento después de aplicar el Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad	168
6.4.1.	Costo Unitario de Volquete Caterpillar 772.....	168
6.4.2.	Costo Unitario de Cargador Frontal Caterpillar 988H.....	169

CONCLUSIONES	170
RECOMENDACIONES	171
REFERENCIA BIBLIOGRAFÍA.....	172
ANEXOS	173



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla III.1. Lista de Equipos, Muestra de la Investigación	81
Tabla III.2. Matriz de Consistencia.....	82
Tabla III.3. Cuadro de Recolección de Datos	84
Tabla IV.1. Matriz de Criticidad en Base al Riesgo	89
Tabla IV.2. Resultado de Matriz de Criticidad de Equipos Pesados	90
Tabla IV.3. Población y Muestra por Criticidad de Flota.....	91
Tabla IV.4. Plan de Criticidad de Equipos	92
Tabla IV.5. Tabla de Criticidad de Sistemas de Equipos Críticos – Camión Minero Caterpillar 772.....	94
Tabla IV.6. Tabla de Criticidad de Sistemas de equipos críticos – Cargador Frontal Caterpillar 988H.....	96
Tabla IV.7. Ubicación Técnica de Equipos	97
Tabla V.1. Cálculo de Confiabilidad de Situación Actual – Volquete Caterpillar 772	104
Tabla V.2. Confiabilidad Actual del Camión 772	106
Tabla V.3. Cálculo de Confiabilidad de Situación Actual – Cargador Frontal Caterpillar 988H	108
Tabla V.4. Confiabilidad de Cargador Frontal Caterpillar 988H – Situación Actual.....	109
Tabla V.5. Costo unitario de Mantenimiento del Volquete Caterpillar modelo 772	112
Tabla V.6. Costo unitario de Mantenimiento del Cargador Frontal Caterpillar Modelo 988H	114
Tabla VI.1. Sistema Hidráulico – Equipo/ Sistema/ Sub Sistema/ Componente.....	118
Tabla VI.2. Sistema Hidráulico – Función y Falla Funcional	124
Tabla VI.3. Sistema Hidráulico – Modo de Falla/ Descripción de Tarea/ Frecuencia	127
Tabla VI.4. Selección de Gamas o Procedimientos	131
Tabla VI.5. Sistema Hidráulico – Modo de Falla y Efecto de Falla.....	132
Tabla VI.6. Sistema Hidráulico – Tareas Preventivas	137
Tabla VI.7. Sistema Hidráulico – Tareas Mecánicas.....	138
Tabla VI.8. Sistema Hidráulico – Tareas de Confiabilidad	138
Tabla VI.9. Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad del Camión Caterpillar 772	139

Tabla VI.10. Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad del Cargador Frontal Caterpillar 988H.....	142
Tabla VI.11. Formulas del cálculo de producción de Cargador Frontal 988H.....	148
Tabla VI.12. Cálculo de producción de Cargador Frontal 988H.....	149
Tabla VI.13. Cálculo de Costo de Producción.....	150
Tabla VI.14. Cálculo de producción de Camión Caterpillar 772	154
Tabla VI.15. Cálculo de Costo de Producción.....	156
Tabla VI.16. RCM Sistema Hidráulico.....	158
Tabla VI.17. Historial de fallas de Cilindros hidráulicos por modo de falla	159
Tabla VI.18. Efecto de falla de Rotura de sellos y seguro por fatiga	160
Tabla VI.19. Análisis del modo efecto de falla en base a optimización de costos	161
Tabla VI.20. Frecuencia eficiente de actividad con Weibull - Rotura de sellos y seguro por fatiga (Reparar cilindro hidráulico)	162
Tabla VI.21. Confiabilidad después de aplicar el Plan de Mantenimiento en Camiones Caterpillar 772	164
Tabla VI.22. Confiabilidad después de aplicar el Plan de Mantenimiento en Cargador Frontal 988H.....	166
Tabla VI.23. Costo Unitario de Volquete Caterpillar 772 después de aplicar el plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.....	168
Tabla VI.24. Costo Unitario del Cargador Frontal Caterpillar 988H después de aplicar el plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.....	169

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II.1. Valor para el Dueño.....	24
Figura II.2. Evolución del Mantenimiento.....	25
Figura II.3. Distribución de Costo de Ciclo de Vida	26
Figura II.4. Modos de Falla de una Bomba – SAE JA1012	34
Figura II.5. Modos de Falla en Diferentes Niveles de Detalle – SAE JA1012.....	34
Figura II.6. Seis Patrones de Falla – SAE JA1012	38
Figura II.7. La Curva P-F.....	40
Figura II.8. El intervalo P-F	41
Figura II.9. El Intervalo Neto P-F	42
Figura II.10. Fallas Aleatorias y el Intervalo P-F	43
Figura II.11. Una Curva P-F Lineal	44
Figura II.12. Primer Ejemplo de Diagrama de Decisión	50
Figura II.13. Segundo Ejemplo de Diagrama de Decisión	51
Figura II.14. Jerarquía de Equipo	53
Figura II.15. Seis Ficha Técnica de Camión Fuera de Carretera Caterpillar 772	61
Figura II.16. Vista Lateral del Camión Caterpillar Modelo 772.....	62
Figura II.17. Vista 3D del Tren de Potencia del Camión Caterpillar Modelo 772	63
Figura II.18. Caja de Transmisión del Camión Caterpillar Modelo 772	63
Figura II.19. Flujo de Aceite de la Transmisión del Camión Cat Modelo 772.....	64
Figura II.20. Vista Superior de Transmisión del Camión Cat Modelo 772.....	65
Figura II.21. Vista Posterior Diferencial del Camión Cat Modelo 772	66
Figura II.22. Control de la Transmisión del Camión Cat Modelo 772	67
Figura II.23. Módulo de la Transmisión del Camión Cat modelo 772	68
Figura II.24. Palanca de Cambios del Camión Cat Modelo 772	68
Figura II.25. Cilindros del Camión Caterpillar Modelo 772	69
Figura II.26. Palancas de Control de Tolva del Camión Cat modelo 772	69
Figura II.27. Sistema Hidráulico del Camión Cat Modelo 772	70
Figura II.28. Plano Hidráulico 1 del Camión Cat Modelo 772.....	71
Figura II.29. Plano Hidráulico 2 del Camión Cat Modelo 772.....	71
Figura II.30. Ficha Técnica de Cargador Frontal Caterpillar 988H.....	72
Figura II.31. Vista Lateral de Cargador Frontal Caterpillar 988H	73

Figura II.32. Vista Isométrica de Cargador Frontal Cat 988H	73
Figura II.33. Plano Hidráulico de Cargador Frontal Caterpillar 988H	74
Figura II.34. Caudal de Bomba Oleo hidráulica	75
Figura II.35. Bomba Oleo hidráulica	75
Figura II.36. Bomba Oleo hidráulica	76
Figura II.37. Diagrama de Presión de Bomba Oleo hidráulica	76
Figura II.38. Esfuerzo en Piñones de Bomba	77
Figura II.39. Ubicación de Bomba Oleo hidráulica	77
Figura II.40. Corte de Motor Oleo hidráulico	78
Figura III.1. Historial SAP de Cargadores Frontales Cat 988H	85
Figura III.2. Historial SAP de Volquetes Mineros Cat 772	86
Figura IV.1. Pareto de Criticidad de Sistemas del Camión Cat 772	93
Figura IV.2. Pareto de Criticidad de Sistemas del Cargador Frontal Cat 988H	95
Figura IV.3. Taxonomía de Sistemas	98
Figura IV.4. Taxonomía de Motor - Sistemas, Sub sistemas y Componentes	99
Figura IV.5. Taxonomía de Transmisión - Sistemas, Sub Sistemas, Componentes y Partes	100
Figura IV.6. Taxonomía del Sistema Hidráulico - Sistemas, Sub Sistemas y Componentes	101
Figura IV.7. General - Taxonomía de Sistemas, Subsistemas, Componentes y Partes	102
Figura V.1. Gráfica de Confiabilidad – Gamma – Camión Caterpillar 772	105
Figura V.2. Gráfica de Curva de Confiabilidad Volquete 772 – Situación Actual	107
Figura V.3. Gráfica de Confiabilidad – Gamma – Cargador Frontal 988H	108
Figura V.4. Gráfica de Curva de Confiabilidad Cargador Frontal 988H – Situación Actual	110
Figura V.5. Costos Acumulados de Mantenimiento del Volquete Caterpillar Modelo 772111	
Figura V.6. Costos Acumulados de Mantenimiento del Cargador Frontal Caterpillar Modelo 988H	113
Figura VI.1. Datos Técnicos del Cargador Frontal Caterpillar 988H	146
Figura VI.2. Datos Técnicos del Cargador Frontal Caterpillar 988H	147
Figura VI.3. Datos Técnicos del Camión Caterpillar 772 – Capacidad	151
Figura VI.4. Datos Técnicos del Camión Caterpillar 772 – Velocidad y Tracción	152
Figura VI.5. Datos Técnicos del Camión Caterpillar 772 – Velocidad y Pendiente	153

- Figura VI.6. Gráfica de confiabilidad después de aplicar el plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad del Camión Caterpillar 772 165
- Figura VI.7. Gráfica de confiabilidad después de aplicar el plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad del Cargador Frontal Caterpillar 988H 167





CAPÍTULO I

LOS ASPECTOS GENERALES

1. ASPECTOS GENERALES

1.1. Hipótesis

Un adecuado diseño e implementación del plan de mantenimiento basado en la metodología RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) disminuirá los costos y elevará la confiabilidad de los equipos críticos en una cementera del sur del país.

1.2. Objetivo

Diseñar e implementar un plan de mantenimiento basado en RCM para equipos críticos en una cementera del sur del país.

1.3. Objetivos Específicos

- Elaborar cuadro de criticidad de equipos pesados y sistemas.
- Diseñar plan de mantenimiento basado en RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad).
- Definir frecuencia de mantenimiento eficiente con Análisis Weibull.
- Implementar el plan de mantenimiento basado en RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad).

1.4. Nivel de estudio

Descriptivo y correlacional, describiremos cualidades, pronosticamos un hecho o un dato que tiene poca información.

1.5. Diseño de investigación

“Experimental- Longitudinal”, debido a que se manipularán las variables independientes para analizar su efecto en las variables dependientes, estimulo resultado, y longitudinal porque se recolectarán datos en dos o más momentos.

1.6. Planteamiento del Problema

¿Es posible reducir los costos de mantenimiento y aumentar la confiabilidad en los equipos críticos de una cementera del sur del país?

1.7. Descripción del problema

Falta de planes de mantenimiento basados en la metodología RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) de los cargadores frontales Caterpillar 988H y de los camiones mineros Caterpillar 772.





CAPITULO II

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Definición de Mantenimiento

Mantenimiento es el conjunto de actividades técnicas y administrativas cuya función y objetivo principal es mantener la función principal y secundaria para la cual fue diseñado.

Mantenimiento debe conservar la disponibilidad y confiabilidad de los activos, tomando en cuenta la necesidad de operaciones, esta es la función principal, durante la gestión de mantenimiento se debe considerar las normas de calidad y medio ambiente actuales.

Mantenimiento debe garantizar el uso eficiente de recursos para realizar el mantenimiento de los activos al menor costo.

Figura II.1. Valor para el Dueño
Valor para el Dueño



Nota. Flujo de mantenimiento y producción. Reproducida de gráfico Valor para el dueño, CC BY 2.0.

Fuente: UCSM - Curso de maestría -Tópicos de Mantenimiento (2019).

2.1.1. Misión del Mantenimiento

Mantener operativos los activos con una disponibilidad operacional mayor al 90%, con una elevada confiabilidad y una alta mantenibilidad al menor costo posible, siempre considerando la seguridad de los técnicos y de los activos.

2.1.2. Evolución del Mantenimiento

Las estrategias de mantenimiento se definieron en 1955 con la conceptualización del mantenimiento correctivo.

Desde 1985 se viene implementando en el mundo el mantenimiento preventivo junto con la mejora continua, esto se define como mantenimiento productivo.

Figura II.2. Evolución del Mantenimiento

Evolución del Mantenimiento

Evolución del Mantenimiento				
AÑOS	1955	1965	1975	1985
ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	MANTENIMIENTO BASADO EN EL TIEMPO	MANTENIMIENTO SEGÚN CONDICION	MANTENIMIENTO PREVENTIVO + MEJORA CONTINUA
CONCEPTOS DE MANTENIMIENTO	<u>MANTENIMIENTO DEBIDO A ROTURA</u>	<u>MANTENIMIENTO PREVENTIVO</u>		<u>MANTENIMIENTO PRODUCTIVO</u>

Nota. Estrategias y conceptos de mantenimiento. Reproducida de gráfico Evolución de Mantenimiento, CC BY 2.0.

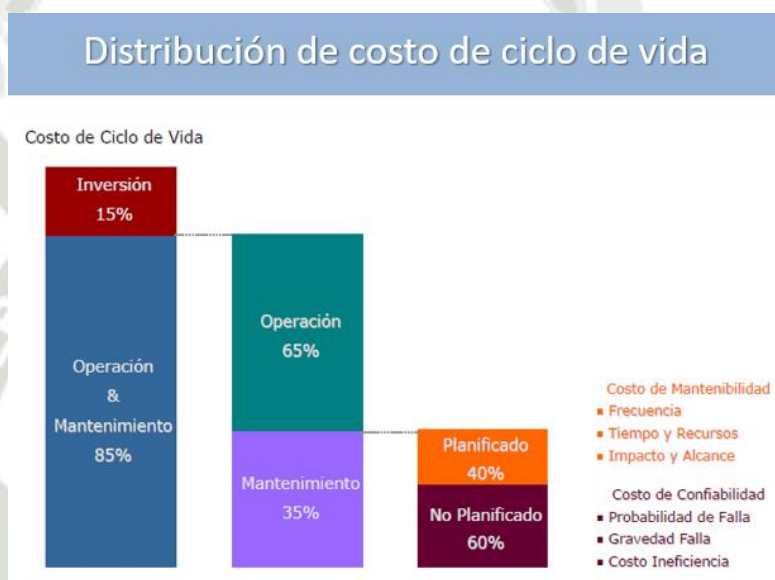
Fuente: UCSM - Curso de maestría -Tópicos de Mantenimiento (2019).

2.1.3. Distribución de costo de ciclo de vida

La inversión inicial del proyecto (CAPEX) es el 15%, mientras que los costos de operación y mantenimiento (OPEX) representan el 85% de los costos del ciclo de vida del activo (LCCA).

Figura II.3.

Distribución de Costo de Ciclo de Vida



Nota. Costos del ciclo de vida LCCA de los CAPEX. Reproducida de Distribución de costo de ciclo de vida, CC BY 2.0.

Fuente: UCSM - Curso de maestría -Tópicos de Mantenimiento (2019).

2.1.4. ¿Dónde Impacta el Mantenimiento?

El mantenimiento impacta en la capacidad de producción del activo, en los costos de mantenimiento, en la seguridad industrial o en la satisfacción del cliente dependiendo de la criticidad del activo, en mantenimiento el cliente es operaciones.

2.2. Norma SAE JA 1011 y SAE JA 1012

2.2.1. Funciones

La norma SAE JA 1011 nos da los lineamientos generales que debe tener toda aplicación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Los puntos importantes para considerar deben respetar la norma SAE JA 1011.

La norma SAE JA 1012 amplía la norma SAE JA 1011 con ejemplos y terminología adecuada para las empresas que deseen implementar el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).

Un proceso RCM que es elaborado conforme a la SAE JA1011 comienza por preguntarse “¿Cuáles son las funciones deseadas y los estándares de desempeño asociados del activo en su contexto operacional presente (funciones)?”. Esta sección discute los siguientes cuatro conceptos claves concernientes a las funciones que son listadas en la Sección 5.1 de la SAE JA1011:

- a. Contexto Operacional
- b. Funciones primarias y secundarias
- c. Enunciado de una función
- d. Estándares de desempeño (Subcomité MCC SAE G11, 2002, pág. 8).

2.2.2. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) – 7 preguntas

Todo proceso de mantenimiento que desee implementar el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad debe responder adecuadamente las 7 preguntas que forman parte de la norma SAE JA 1011, estas preguntas están ampliadas en la norma SAE JA 1012. En los siguientes párrafos se menciona conceptos de la norma:

Cualquier proceso MCC debe asegurarse de responder satisfactoriamente las siguientes siete preguntas:

- a. ¿Cuáles son las funciones deseadas y los estándares de desempeño asociados del activo en su contexto operacional presente (funciones)?

- b. ¿De qué maneras puede fallar al cumplir sus funciones (fallas funcionales)?
- c. ¿Qué causa cada falla funcional (modos de falla)?
- d. ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional (efectos de falla)?
- e. ¿De qué manera afecta cada falla (consecuencias de falla)?
- f. ¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla (tareas proactivas e intervalos de tareas)?
- g. ¿Qué se debe hacer si una tarea proactiva que conviene no está disponible (acciones predeterminadas)? (G11, Subcomité (MCC) SAE, 1999, pág. 6).

2.2.3. Contexto Operacional

El contexto operacional es el lugar donde el activo desarrollará sus funciones principales y donde los modos de falla se desarrollarán en el tiempo. A continuación, se presentan conceptos de la norma:

“Se debe definir el contexto operacional del activo”. (SAE JA1011, sección 5.5.1), las funciones, los modos de falla, las consecuencias de falla y las políticas de manejo de fallas que serán aplicadas a cualquier activo dependerán no sólo de cuál es el activo, sino también de las circunstancias exactas bajo las cuales será utilizado. Como resultado, se necesitan definir claramente estas circunstancias antes de intentar responder la pregunta citada anteriormente.

La definición de un contexto operacional de un activo físico típicamente incluye una descripción global breve de cómo se utilizará este activo, donde se utilizará, y los aspectos que gobiernan los criterios de desempeño global tales como producción, rendimiento, seguridad, integridad ambiental, y así sucesivamente. Los aspectos específicos que se deben documentar en la definición del contexto operacional incluyen el proceso fluido versus proceso por lotes: si el activo está operando en un proceso por lotes (o intermitente) o un proceso fluido (o continuo). (Subcomité MCC SAE G11, 2002, págs. 8,9).

2.2.4. Lista de funciones (primera pregunta)

Las funciones son las acciones que puede ejecutar determinados activo, estas funciones son definidas por el usuario antes de la adquisición de los activos, los activos tienen funciones primarias y secundarias.

Se deben identificar todas las funciones del activo/sistema (todas las funciones primarias y secundarias, incluyendo las funciones de todos los dispositivos de protección)”. (SAE JA1011, sección 5.1.2).

El objetivo del proceso MCC es desarrollar una serie de políticas que preserven las funciones del activo o sistema en consideración, a los estándares de desempeño que son aceptables para el dueño/usuario. Como resultado, el proceso MCC comienza por la definición de todas las funciones del activo en su contexto operacional.

Las funciones deben ser divididas en dos categorías: funciones primarias y secundarias. (Subcomité MCC SAE G11, 2002, pág. 9).

2.2.5. Funciones Primarias (primera pregunta)

La función primaria es el motivo por el cual la empresa adquiere el activo, es la acción principal que deberá cumplir el activo a lo largo de su vida, esta función primaria disminuye con el tiempo, es donde ingresa el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para retomar la confiabilidad de la función.

La razón por la que cualquier organización adquiere algún activo o sistema es para cumplir con una función o funciones específicas. Estas se conocen como funciones primarias del activo. Por ejemplo, la razón principal por la que alguien adquiere un carro puede ser “transportar cinco personas a 90 Km una hora en un buen camino”. (Subcomité MCC SAE G11, 2002, pág. 9).

2.2.6. Funciones Secundarias (primera pregunta)

Las funciones secundarias son actividades alternas que podrá ejecutar el activo a lo largo de su vida, estas funciones no son el motivo de la adquisición del activo, sin embargo, generan un valor agregado al activo. A continuación, se mencionan conceptos de la norma:

Se espera que la mayoría de los activos desarrollen otras funciones, además de las funciones primarias. Estas son conocidas como funciones secundarias. Las funciones secundarias normalmente son menos obvias que las funciones primarias. Pero la pérdida de una función secundaria también puede tener serias consecuencias, en ocasiones más serias que la pérdida de la función primaria. Como resultado, las funciones secundarias necesitan a menudo tanta, sino más, atención que las funciones primarias, por lo tanto, deben estar claramente identificadas. (Subcomité MCC SAE G11, 2002, págs. 9,10).

2.2.7. Fallas funcionales (segunda pregunta)

Un proceso MCC que sea conforme a la norma SAE JA1011 responde la pregunta, “¿De qué maneras puede fallar al cumplir sus funciones (fallas funcionales)?”. Para responder satisfactoriamente esta pregunta, SAE JA1011 en la sección 5.2 declara que “Se deben definir todos los estados de falla asociados con cada función”.

Un activo falla si es incapaz de hacer lo que el usuario desea que haga en un contexto operacional específico.

El activo o equipo debe estar definido como una función y que cada activo o equipo tiene más de una (y frecuentemente varias) funciones diferentes. Como para cada una de estas funciones existe la posibilidad de fallar, cualquier activo puede sufrir una variedad de estados de falla.

Por ejemplo, la función primaria de una bomba hidráulica era “bombear aceite del tanque X al tanque Y, a no menos de 900 galones por hora”, mientras que una función secundaria podría ser “contener el agua en la bomba”. Es posible que tal bomba sea capaz

de bombear la cantidad requerida de agua (no falla en términos de su función primaria) mientras gotea continuamente (falla en términos de su función secundaria). Recíprocamente, es equivalentemente posible que la bomba se deteriore al punto en el cual no pueda bombear el caudal requerido (falla en términos de su función primaria) mientras contiene el líquido requerido (no falla en términos de su función secundaria).

Por esta razón, definir la falla en términos de la pérdida de las funciones específicas es más preciso que definir la falla de un activo como un todo. Los ejemplos anteriores también muestran porque el proceso MCC utiliza el término “falla funcional” para describir estados de falla, en lugar de simplemente “falla”. (Nótese que MCC distingue entre una falla funcional o estado de falla, y un “modo de falla” el cual es un evento que causa un estado de falla).

Dos puntos adicionales que se deben considerar cuando se definen las fallas funcionales son: falla parcial y total, y los límites superiores e inferiores. (Subcomité MCC SAE G11, 2002, pág. 14).

2.2.8. Falla Total y parcial (segunda pregunta)

La falla total o parcial es la pérdida de función principal del activo, esta pérdida de función puede ser completa o parcial.

Las fallas funcionales que representan la falla total de la función son relativamente fáciles de identificar. Por ejemplo, está claro que la bomba hidráulica mencionada, sufrirá una falla funcional si no bombea ninguna cantidad de aceite (“falla total”). Sin embargo; la bomba también sufrirá una falla funcional si puede bombear aceite a una tasa menor de 900 galones por hora.

El segundo estado de falla en este ejemplo se conoce como “falla parcial”. Las fallas parciales necesitan identificarse separadamente porque ellas son causadas casi siempre por modos de falla diferentes de las fallas totales, y porque las consecuencias casi siempre son también diferentes.

Tenga presente que la falla parcial no es igual que el deterioro por debajo de la capacidad inicial.

Todo se deteriora por debajo de la capacidad inicial después de algún tiempo de uso, y tal deterioro puede ser tolerado con tal que no alcance el punto inaceptable para el usuario del activo, como se muestra en la Figura 2. El deterioro sólo se convierte en una falla funcional (parcial o total) cuando el desempeño cae por debajo del nivel mínimo requerido por el usuario. (Subcomité MCC SAE G11, 2002, pág. 14).

2.2.9. Límites Superiores e Inferiores

Los estándares asociados con algunas funciones incorporan límites superiores e inferiores. Estos límites implican que el activo ha fallado si el activo trabaja por encima del límite superior o por debajo del límite inferior. En estos casos, la demarcación del límite superior necesita ser documentada separadamente de la demarcación del límite inferior. Esto es porque los modos de falla y/o consecuencias asociadas cuando se excede el límite superior son generalmente diferentes que los asociados cuando se está por debajo del límite inferior. (Subcomité MCC SAE G11, 2002, pág. 14).

2.2.10. Modos de Falla (tercera pregunta)

Los modos de falla se definen como las causas que generan una falla funcional del activo, sistema o componente mantenible. Estos modos de falla se deben definir claramente para desarrollar la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, a continuación, se presenta el concepto de la norma:

Un proceso MCC que cumple con la norma SAE JA1011 responde la pregunta, “¿Qué causa cada falla funcional (modos de falla)?” Esta sección discute los cinco conceptos claves siguientes concernientes a los modos de falla que están listados en la Sección 5.3 de SAE JA1011:

- a. Identificar los modos de falla.
- b. Establecer que se entiende por “probable”.

- c. Niveles de causalidad.
- d. Fuentes de información.
- e. Tipos de modos de falla. (Subcomité MCC SAE G11, 2002, pág. 15).

2.2.11. Identificando los Modos de Falla (tercera pregunta)

Las causas de la falla o modos de falla deben identificarse y definirse con personal especializado y un moderador de la metodología RCM. Los modos de falla para la presente investigación llegarán a un nivel de componentes mantenibles críticos. La norma menciona:

“Se deben identificar los modos de falla probables que puedan causar cada falla funcional”. (SAE JA1011, sección 5.3). La Sección 7 de esta guía menciona que el RCM distingue entre el estado de falla del activo (falla funcional) y los eventos que causan los estados de falla (modos de falla). Debido a que es imposible definir las causas de una falla hasta que se haya establecido exactamente qué se entiende por “falla”, el proceso RCM identifica las fallas funcionales antes de definir los modos de falla. En la Figura 3 se muestra la manera usual de documentar esto para la función primaria de la bomba ilustrada en la Figura 1. La Figura 3 que lista las funciones de un activo, las fallas funcionales y los modos de falla, muestra casi todos los elementos de un Análisis de Modo y Efectos de Falla (AMEF). Los “efectos” de cada modo de falla son listados más adelante (ver la Sección 9 de esta guía). (Subcomité MCC SAE G11, 2002, pág. 15).

Modos de Falla de una Bomba

Fuente: UCSM - Curso de maestría -Tópicos de Mantenimiento (2019).

Modos de Falla en Diferentes Niveles de Detalle

Fuente: UCSM - Curso de maestría -Tópicos de Mantenimiento (2019).

2.2.12. Efectos de Falla (cuarta pregunta)

Los efectos de la falla son las consecuencias que se generan al dueño del activo por alguna falla funcional, los efectos de falla son económicos, ecológicos, sociales y operativos. Se referencia la norma con el concepto de efecto de falla:

Un proceso MCC que esté conforme a la norma SAE JA1011 debe preguntarse “¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional (efectos de falla)?” Esta sección discute los dos conceptos claves siguientes concernientes a los efectos de falla que son listados en la sección 5.4 de SAE JA1011:

- a. Suposiciones básicas.
- b. Información necesaria. (Subcomité MCC SAE G11, 2002, pág. 20).

2.2.13. Categorías de Consecuencia de Fallas (quinta pregunta)

Las consecuencias que genera una falla pueden afectar el rendimiento, la calidad del producto o el servicio, también se puede afectar la seguridad o el medio ambiente.

“Las consecuencias de cada modo de falla deben ser formalmente categorizadas” (SAE JA1011, sección 5.5.1), después que se ha identificado cada modo de falla y sus efectos a un nivel de detalle apropiado, el siguiente paso en el proceso MCC es evaluar las consecuencias de cada modo de falla. La fuente primordial de información utilizada para evaluar las consecuencias de falla es la descripción de los efectos de falla.

Algunos modos de falla perjudican el rendimiento, la calidad o el servicio al consumidor. Otros afectan la seguridad o el ambiente. Algunos aumentan los costos operacionales, por ejemplo, el incremento del consumo de energía, mientras otros pocos impactan hasta cinco, seis o incluso todas estas siete áreas. Aun así, otros pueden aparecer y no tener efecto alguno si ocurren aislados, pero pueden exponer a la organización al riesgo de modos de falla mucho más serios.

Si cualquiera de estos modos de falla no se previene o se anticipan, el tiempo y esfuerzo que se necesitará para corregirlos también perjudica la organización, ya que su puesta en operación consume recursos que sería mejor utilizarlos en otra parte.

La naturaleza y la severidad de estos efectos gobiernan la manera como cada modo de falla es visto por la empresa. El impacto preciso en cada caso en otras palabras, la magnitud en que cada modo de falla afecta depende de la zona de trabajo del activo, los estándares de desempeño que aplican a cada función y los efectos mecánicos de cada modo de falla.

Esta combinación de contexto, estándares y efectos implica que todo modo de falla tiene un conjunto específico de consecuencias asociadas a él. Si las consecuencias son muy serias, entonces se deberán hacer esfuerzos considerables para prevenir el modo de falla, o al menos para anticiparlo en el tiempo con la finalidad de reducir o eliminar las consecuencias. Por otro lado, si el modo de falla sólo tiene consecuencias menores, es posible que no se tome ninguna acción proactiva y el modo de falla simplemente se corregirá cada vez que ocurra.

Esto implica que las consecuencias de los modos de falla son más importantes que sus características técnicas. Esto también sugiere que la idea entera de manejo de falla no está muy cercana de anticipar o prevenir los modos de falla per se, más bien es cercana a evitar y reducir sus consecuencias.

El resto de esta sección considera el criterio utilizado para evaluar las consecuencias de los modos de falla, y el criterio para decidir si cualquier forma de manejo de falla vale la pena. Estas consecuencias están divididas en cuatro categorías en dos fases. La primera fase separa fallas ocultas de fallas evidentes. (Subcomité MCC SAE G11, 2002, págs. 22,23).

Consecuencias en la Seguridad: Una falla tiene consecuencias en la seguridad si existe una probabilidad muy alta de que pueda matar o dañar a una persona. La distinción entre una probabilidad “tolerable” e “intolerable” se explica a detalle en la norma.

Consecuencias Ambientales: A otro nivel, “seguridad” se refiere a la seguridad o el bienestar de la sociedad en general. Tales fallas tienden a ser clasificadas como aspectos “ambientales”. Las expectativas de la sociedad adquieren la forma de normas ambientales

municipales, regionales y nacionales. Algunas organizaciones también tienen sus propias normas corporativas, incluso más severas. Como resultado, una falla tiene consecuencias ambientales si existe una probabilidad intolerable de que pueda violar cualquier norma o regulación ambiental conocida.

Consecuencias Operacionales: La función primaria de la mayoría de los equipos en el comercio y en la industria está usualmente conectada con la necesidad de obtener ingresos o para soportar actividades de ganancia de réditos. Las fallas que afectan las funciones primarias de estos activos afectan la capacidad de ingreso de réditos de la organización. La magnitud de estos efectos depende de que tanto se utilice el equipo y de la disponibilidad de las alternativas. Sin embargo; en casi todos los casos, los costos de estos efectos son mayores frecuentemente mucho mayores que el costo de reparar las fallas, y estos costos necesitan ser tomados en cuenta cuando se evalúa la relación costo-efectividad de cualquier política de manejo de fallas. En general, las fallas afectan las operaciones de cuatro maneras:

- a. Afectan el rendimiento o la producción total.
- b. Afectan la calidad del producto.
- c. Afectan el servicio al consumidor (y pueden incurrir en penalidades financieras).
- d. Incrementan los costos operacionales en adición a los costos directos de reparación.

Consecuencias No Operacionales: Las consecuencias de una falla evidente que no tienen efectos adversos directos en la seguridad, el ambiente o la capacidad operacional, son clasificadas como no operacionales. Las únicas consecuencias asociadas con estas fallas son los costos directos de reparación

de estas y de cualquier daño secundario, entonces estas consecuencias son también económicas.

2.2.14. Selección de las Políticas de Manejo de Fallas (sexta pregunta)

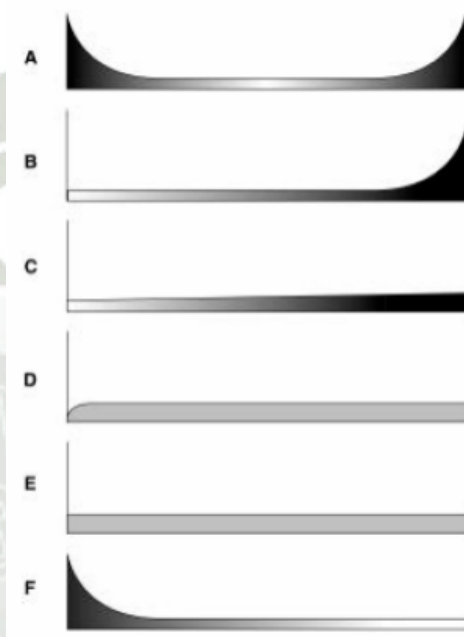
Las políticas de manejo de fallas pueden variar de acuerdo con el contexto operacional de cada empresa.

La Relación entre Longevidad y Falla— “El proceso de selección de manejo de fallas debe tomar en cuenta el hecho de que la probabilidad condicional de algunos modos de falla se incrementará con el tiempo (o con la exposición al esfuerzo), que la

probabilidad condicional de otros no cambiará con el tiempo y que la probabilidad condicional de otros tampoco decrecerá con el tiempo.” (SAE JA1011, sección 5.6.1) Uno de los factores más importantes que afecta la selección de cualquier política de manejo de fallas es la relación entre la longevidad (o exposición al esfuerzo) y la falla. (Subcomité MCC SAE G11, 2002, pág. 27).

Figura II.6.

Seis Patrones de Falla – SAE JA1012



Nota. Patrones de falla de un activo. Reproducida de gráfico Seis Patrones de Falla – SAE JA1012, CC BY 2.0.

Fuente: Norma SAE JA1012 (2002).

Los patrones A y B despliegan el punto al cual hay un incremento veloz de la probabilidad condicional de falla (a veces llamada “zona de desgaste”). El patrón C muestra un incremento sostenido en la probabilidad de falla, pero no distingue la zona de desgaste. El patrón D muestra una probabilidad condicional de falla baja cuando el elemento es nuevo o recién comprado, entonces ocurre un incremento rápido hacia un nivel que crece lento o constante, mientras que el patrón E muestra una probabilidad condicional de falla constante para toda la longevidad (falla aleatoria). El patrón F empieza con alta mortalidad infantil, cayendo a un decrecimiento constante o muy bajo de la probabilidad condicional de falla. En

general, los patrones de falla relacionados a la longevidad aplican a elementos que son muy simples, o elementos muy complejos que sufren un modo de falla dominante. En la práctica, están comúnmente asociados con el desgaste directo (más frecuente en donde los equipos entran en contacto directo con el producto), fatiga, corrosión, oxidación y evaporación. (Subcomité MCC SAE G11, 2002, págs. 27, 28).

2.2.15. Fallas potenciales y la curva P-F

La mayoría de los modos de falla no ocurren instantáneamente del todo. En tales casos, es muy posible detectar que los elementos concernientes se encuentran en etapas finales de deterioro antes de alcanzar su estado de falla.

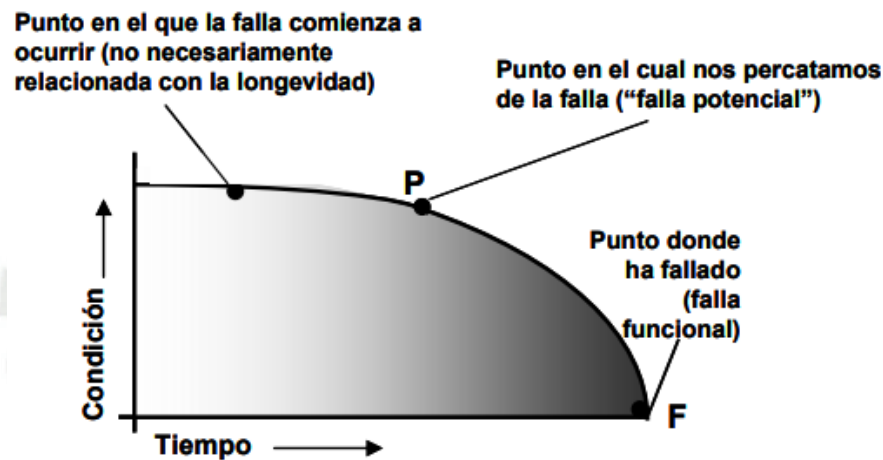
Esta evidencia de falla inminente se conoce como “falla potencial”, la cual se define como “una condición identificable que indica que una falla funcional está a punto de ocurrir o está en un proceso de ocurrencia”. Si esta condición puede ser detectada, podría ser posible tomar acción para prevenir que el elemento falle completamente y/o evitar las consecuencias del modo de falla.

Lo que ocurre en las fases finales del proceso de falla. Esta se llama curva P-F, porque muestra como comienza una falla, deteriora hasta el punto en el cual puede ser detectada (“P”) y entonces, si no es detectada y corregida, continúa deteriorándose –usualmente a una velocidad acelerada- hasta que alcanza el punto de falla funcional (“F”).

Si se detecta una falla funcional entre el punto P y el punto F de la figura, este es el punto al cual podría ser posible tomar acción para prevenir la falla funcional y/o evitar sus consecuencias. (si es posible o no tomar una acción significativa dependerá de cuán rápido ocurre la falla funcional, como se discutirá más adelante). Las tareas diseñadas para detectar las fallas potenciales se conocen como tareas basadas en condición. (Subcomité MCC SAE G11, 2002, pág. 33).

Figura II.7.

La Curva P-F



Nota. Curva de falla potencial del activo o componente. Reproducida del gráfico La Curva P-F, CC BY 2.0.

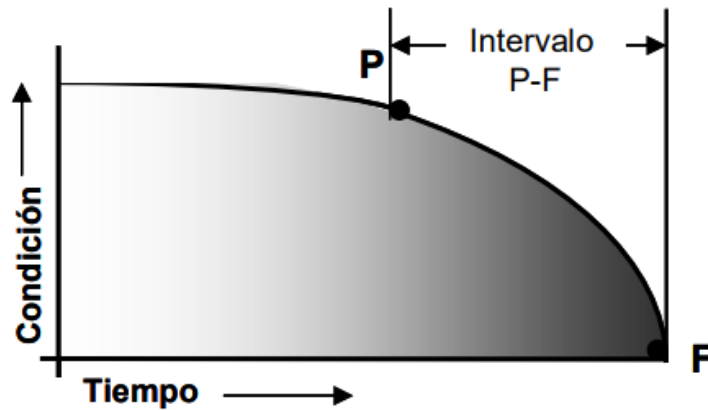
Fuente: Norma SAE JA1012 (2002).

Las tareas basadas en condición se llaman así porque los elementos se inspeccionan y se dejan en servicio bajo la condición de que continúen obteniéndose los estándares de operación especificados en otras palabras, bajo la condición que el modo de falla en consideración improbablemente ocurra antes de la próxima revisión. Esto también se conoce como mantenimiento predictivo (porque nosotros estamos tratando de predecir si y posiblemente cuando el elemento va a fallar en base a su comportamiento actual) o mantenimiento basado en condición (porque la necesidad de una acción correctiva o para evitar consecuencias está basada en una evaluación de la condición del elemento).

EL INTERVALO P-F, en adición a la falla potencial, también es necesario considerar la cantidad de tiempo (o el número de ciclos de esfuerzo) que transcurre entre el punto en el cual ocurre la falla potencial – en otras palabras, el punto en el cual se hace identificable- y el punto en el que se deteriora hacia una falla funcional. Como se muestra en la figura, este intervalo se conoce como el intervalo P-F. (Subcomité MCC SAE G11, 2002, pág. 34).

Figura II.8.

El intervalo P-F



Nota. Curva de intervalo de falla potencial del activo o componente. Reproducida del gráfico La Curva P-F, CC BY 2.0.

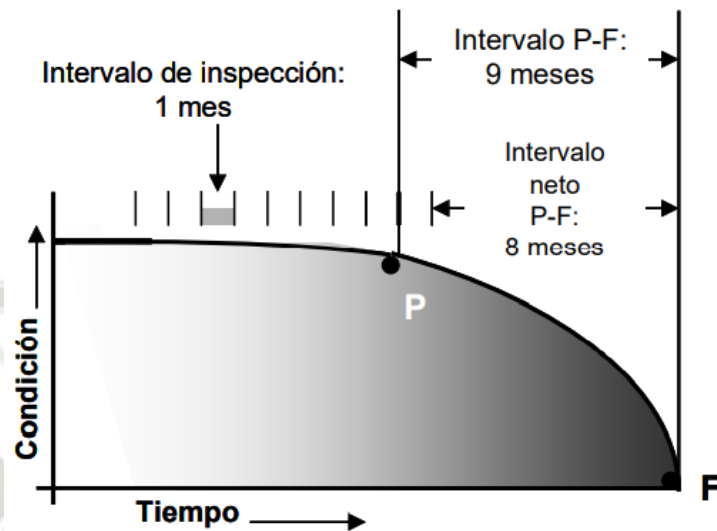
Fuente: Norma SAE JA1012 (2002).

El intervalo P-F determina que tan frecuente se deben hacer las tareas basadas en condición. Para detectar la falla potencial antes que se convierta en una falla funcional, el intervalo entre revisiones debe ser menor que el intervalo P-F. También es esencial que la condición de la falla potencial sea lo suficientemente clara para tener la certeza de que la persona que está entrenada para realizar la revisión detectará la falla potencial siempre y cuando ocurra (o al menos, que la probabilidad de que la falla potencial no sea detectada sea suficientemente baja para reducir la probabilidad de un modo de falla no anticipado a un nivel que sea tolerable para el dueño o usuario del activo).

EL INTERVALO NETO P-F: El intervalo neto P-F es el intervalo mínimo probable que transcurre entre la detección de una falla potencial y la ocurrencia de la falla funcional. Esto se ilustra en la Figura II.9, la cual muestra un proceso de falla con un intervalo P-F de nueve meses. La figura muestra que, si el elemento es revisado mensualmente, el intervalo neto P-F es de 8 meses. Por otro lado, si es revisado semestralmente, el intervalo neto P-F debería ser de tres meses. Entonces, en el primer caso el tiempo mínimo disponible para realizar cualquier cosa con respecto a la falla potencial es cinco meses mayores que en el segundo, pero la tarea basada en condición tiene que ser realizada con una frecuencia seis veces mayor.

Figura II.9.

El Intervalo Neto P-F



Nota. Curva de falla potencial del activo o componente con intervalo de inspección. Reproducida del gráfico La Curva P-F, CC BY 2.0.

Fuente: Norma SAE JA1012 (2002).

El intervalo P-F rige la duración del período disponible para tomar cualquier acción necesaria con la finalidad de reducir o eliminar las consecuencias del modo de falla. Para que una tarea basada en condición sea técnicamente factible, el intervalo neto P-F debe ser mayor que el período requerido para evitar o reducir las consecuencias del modo de falla. Si el intervalo neto P-F es demasiado corto para tomar una acción sensata, entonces la tarea basada en condición no es técnicamente factible. En general, se desean intervalos P-F mayores por dos razones: a. Es posible hacer cualquier cosa necesaria para evitar las consecuencias del modo de falla (incluyendo la planeación de la acción correctiva) de una manera más considerada y por demás controlada. b. Se requieren menos inspecciones basadas en condición. (Subcomité MCC SAE G11, 2002, pág. 36).

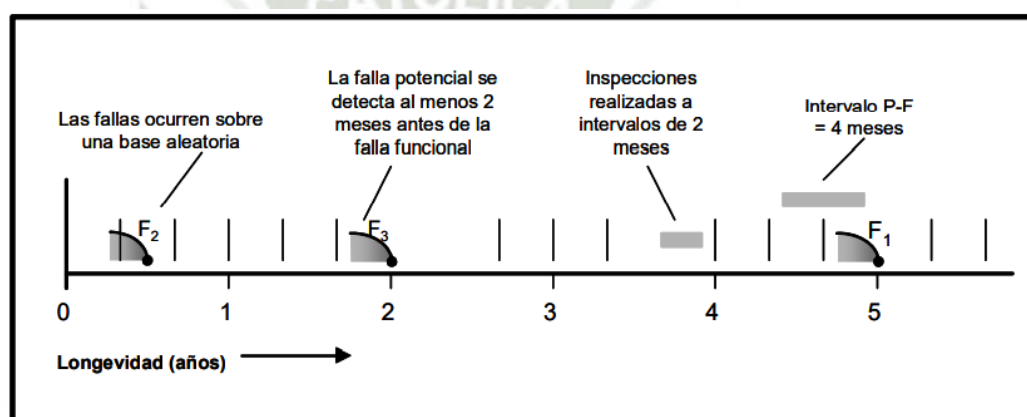
2.2.16. Intervalos P-F y Fallas Aleatorias

Cuando se aplican estos principios por primera vez, las personas frecuentemente tienen la dificultad de distinguir entre la “vida” de un componente y el intervalo P-F. Esto los lleva a basar las frecuencias de las tareas basadas en condición en la “vida” real o

imaginaria del elemento. Si esto existe, esta vida normalmente es mucho mayor que el intervalo P-F, de modo que la tarea logra poco o nada. En la realidad, nosotros medimos la vida de un componente hacia delante desde el momento en que entra en servicio. El intervalo P-F se mide hacia atrás desde la falla funcional, así los dos conceptos comúnmente no están ligados. La diferenciación es importante ya que los modos de falla que no están relacionados con la longevidad (en otras palabras, fallas aleatorias) tienen la misma probabilidad de ser advertidos como de no serlos.

Figura II.10.

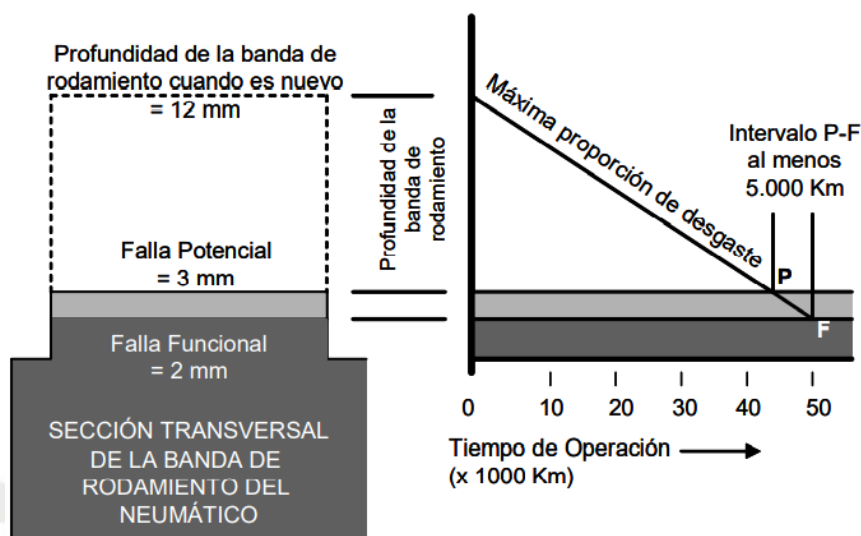
Fallas Aleatorias y el Intervalo P-F



Nota. Curva de fallas aleatorias y el intervalo de falla potencial del activo o componente con intervalo de longevidad en años. Reproducida del gráfico Fallas Aleatorias y el Intervalo P-F, CC BY 2.0.

Fuente: Norma SAE JA1012 (2002).

Por ejemplo, considere el uso de un GETs. Es probable que la superficie de una punta de cucharón se desgaste de una manera más o menos lineal hasta que la distancia de la punta alcance el mínimo aceptable. Si este mínimo es (se dice) 20 mm, es posible especificar un desgaste mayor a 20 mm que provea una advertencia adecuada para la ocurrencia inminente de la falla funcional. Este es, por supuesto, el nivel de la falla potencial.

Figura II.11.
Una Curva P-F Lineal


Fuente: Norma SAE JA1012 (2002).

La figura sugiere que si el neumático entra en servicio con una profundidad de banda de rodadura de (se dice) 12 mm, podría ser posible predecir el intervalo P-F basándose en la distancia total cubierta comúnmente antes de que el neumático tenga que ser reencauchado. Por ejemplo, si los neumáticos duran al menos 50.000 Km antes de que sean reencauchados, es razonable concluir que la banda de rodadura se desgasta a una proporción máxima de 1 mm por cada 5.000 Km de recorrido. Estas cantidades a un intervalo P-F de 5.000 Km. La tarea basada en condición asociada podría ser llamada por el conductor: “Revisar la profundidad de la banda de rodadura cada 2.500 Km y reportar los neumáticos cuya profundidad de banda de rodadura sea menor de 3 mm”. Esta tarea no sólo asegurará que se detecte el desgaste antes de exceder el límite legal, sino que también permite el tiempo suficiente -2.500 km en este caso- para que los operadores del vehículo planeen retirar el neumático antes de alcanzar el límite. En general, el deterioro lineal entre “P” y “F” probablemente sólo se encuentra en los casos en los cuales los mecanismos de falla estén intrínsecamente relacionados con la longevidad.

2.2.17. Selección de la Política de Manejo de Fallas – SAE JA1011 y SAE JA1012

Dos Aproximaciones: Las últimas tres preguntas de la metodología MCC, vinculan la selección de las políticas de manejo de fallas adecuadas para cada modo de falla

identificado en el AMEF. Se pueden utilizar dos aproximaciones distintas para seleccionar las políticas de manejo de fallas en los equipos. La primera es una aproximación rigurosa y la segunda es una aproximación de diagrama de decisión.

La aproximación rigurosa es más completa y produce una política de manejo de fallas totalmente costo-optimizada para tratar con cada modo de falla en el AMEF. Los diagramas de decisión son populares ya que son más rápidos y económicos que la aproximación rigurosa. Sin embargo; cualquier enfoque de diagrama de decisión debe direccionar totalmente las consecuencias en la seguridad y en el ambiente de cada modo de falla. También se debe tener presente que el uso de diagramas de decisiones introduce un elemento de suboptimización al proceso de selección de la política de manejo de fallas, desde el punto de vista del costo.

Note que cuando se aplican estas aproximaciones, la mayoría de las decisiones se deben hacer en ausencia de datos completos. Esto puede llevar a la tentación de confiar excesivamente en la “lógica predefinida”, en que las decisiones se hacen automáticamente si los datos comprensivos no se encuentran disponibles rápidamente. Sin embargo; la aplicación de tal lógica puede llevar a decisiones erróneas, especialmente en la evaluación de las consecuencias. En la práctica, la visión se debe dirigir, si es posible, hacia las repercusiones de tolerar demasiada incertidumbre, entonces las acciones deben girar en torno al cambio de las consecuencias del modo de falla – antes que contar con las decisiones predefinidas.

Aproximación Rigurosa, la aproximación rigurosa para la selección de la política de manejo de fallas requiere que los usuarios, al evaluar las consecuencias económicas y en la seguridad o ambiente de cada modo de falla, consideren todas las opciones de políticas de manejo de fallas técnicamente factibles que se puedan aplicar a cada modo de falla, y seleccionar una política de manejo de fallas que se ajuste más efectivamente tanto a las consecuencias económicas como a las consecuencias en la seguridad o ambiente. Este enfoque se aplica en las siguientes fases:

- a. Separar las fallas evidentes de las fallas ocultas.
- b. Para cada falla evidente:

1. Establecer la probabilidad real de que el modo de falla pueda dañar o matar a alguien.
2. Establecer la probabilidad tolerable de que el modo de falla pueda dañar o matar a alguien.
3. Establecer la probabilidad real de que el modo de falla pueda violar un estándar o una regulación ambiental.
4. Establecer la probabilidad tolerable de que el modo de falla pueda violar ese estándar o regulación.
5. Establecer las consecuencias operacionales y no operacionales totales del modo de falla.
6. En el caso de modos de falla que puedan tener consecuencias en la seguridad o en el ambiente, y en los que la probabilidad real de incurrir en estas consecuencias es mayor que la probabilidad tolerable, la identificación de todas las políticas de manejo de fallas podría reducir la probabilidad a un nivel tolerable.
7. Identificar todas las políticas de manejo de fallas (si existen) que puedan ser menos costosas que las consecuencias económicas del modo de falla cuando se comparan en el mismo período de tiempo.
8. Seleccionar la política de manejo de fallas que se ajuste más costo-efectivamente a las consecuencias económicas y en la seguridad/ambiente del modo de falla.

c. Para cada falla oculta:

1. Establecer la probabilidad real que la falla múltiple asociada pueda dañar o matar a alguien.
2. Establecer la probabilidad tolerable de que la falla múltiple pueda dañar o matar a alguien.
3. Establecer la probabilidad real de que la falla múltiple pueda violar un estándar o una regulación ambiental.
4. Establecer la probabilidad tolerable de que la falla múltiple pueda violar ese estándar o regulación.
5. Establecer las consecuencias operacionales y no operacionales totales del modo de falla y de la falla múltiple asociada.

6. En el caso de fallas múltiples que puedan tener consecuencias en la seguridad o en el ambiente, y en las que la probabilidad real de incurrir en estas consecuencias es mayor que la probabilidad tolerable, la identificación de todas las políticas de manejo de fallas podrían reducir la probabilidad de la falla múltiple a un nivel tolerable.

7. Identificar todas las políticas de manejo de fallas (si existen) que podrían ser menos costosas que las consecuencias económicas del modo de falla y de la falla múltiple combinadas cuando se comparan en el mismo período de tiempo.

8. Seleccionar la política de manejo de fallas que se ajuste más costo-efectivamente a las consecuencias económicas y en la seguridad/ambiente del modo de falla y de la falla múltiple.

2.2.18. Aproximación del Diagrama de Decisión (séptima pregunta)

Tareas Basadas en Condición, las tareas basadas en condición se consideran en primer lugar en el proceso de selección de tareas, por las siguientes razones:

a. Se pueden desarrollar casi siempre sin mover el activo desde su posición de instalación y normalmente mientras está en operación, así ellas pocas veces interfieren con las operaciones.

b. Normalmente son más fáciles de organizar.

c. Ellas identifican las condiciones de las fallas potenciales específicas para que las acciones correctivas estén claramente definidas antes de que comience el trabajo. Esto reduce la cantidad de trabajos de reparación a efectuar, y permite que sean realizadas más rápidamente.

d. Por la identificación del equipo en el punto de falla potencial, permiten comprender casi toda su vida útil.

Tareas de Desincorporación Programada y Restauración Programada, si no se puede encontrar una tarea basada en condición conveniente para una falla en particular, la próxima opción es unas tareas de desincorporación y restauración programadas. Las desventajas de la restauración programada y de la desincorporación programada son estas:

- a. En casi todos los casos, sólo se pueden hacer cuando los elementos están parados y (normalmente) se envían al taller, así las tareas casi siempre afectan las operaciones de alguna manera;
- b. La longevidad límite aplica a todos los elementos, así muchos elementos o componentes que puedan haber sobrevivido a longevidades mayores serán removidos; y
- c. Las tareas de restauración involucran talleres de reparación, así ellas generan un trabajo mucho mayor que las tareas basadas en condición.

Como se mencionó en la sección 13.2 de esta guía, la restauración y la desincorporación programadas normalmente se consideran juntas porque ellas tienen mucho en común. Cuando estas tareas se encuentran en la práctica, comúnmente es obvio que el componente involucrado deba manejarse por una desincorporación o una restauración programadas. Sin embargo, en el caso de algunos modos de falla, ambas categorías de tareas pueden satisfacer el criterio para la factibilidad técnica. En esos casos, se debe seleccionar la más costo-efectiva de las dos.

Detección de Fallas, el mantenimiento proactivo exitoso previene las fallas de los elementos, por cuanto la detección de fallas acepta que se invertirá algún tiempo –aunque no demasiado- en un estado de falla. Esto significa que el mantenimiento proactivo es inherentemente más conservador (en otras palabras, más seguro) que la detección de fallas, así esta última sólo se debe especificar si no se encuentra una tarea proactiva más efectiva. Por esta razón, los diagramas de decisión para MCC deben anteponer siempre las tres categorías de tareas proactivas ante la detección de fallas en el proceso de selección de tareas.

Combinación de Tareas, hasta este punto, los diagramas de decisión tratan de encontrar una sola tarea que se relacionará apropiadamente con las consecuencias del modo de falla en consideración. Sin embargo; como se mencionó en la sección 13.4, algunas veces ocurre que no se puede encontrar una sola tarea que por si misma reduzca el riesgo de falla a un nivel bajo tolerable. En este punto, podría ser apropiado buscar una combinación de tareas, como se explicó en la sección 13.4. La mayor desventaja de la combinación de tareas es que es inevitablemente más costosa que las tareas solas.

Operar hasta Fallar, cuando se evalúa la efectividad de las tareas proactivas concebidas para tratar con los modos de falla que tienen consecuencias económicas, la comparación siempre se hace entre el costo de la tarea y los costos asociados con el modo de falla no anticipado. En estos casos, sólo se seleccionan las tareas que reducen los costos totales de la falla. Si no se puede encontrar tal tarea, permitir que el modo de falla ocurra sería menos costoso que el mantenimiento proactivo y de ahora en adelante se debe seleccionar el permitir que ocurra el modo de falla (operar hasta fallar) como una política de manejo de fallas apropiada. (Si los costos de permitir que ocurra el modo de falla se consideran aún muy excesivos, entonces la única opción es implementar un cambio de especificaciones como se discutió previamente). Como se explicó, operar hasta fallar no es una opción para modos de falla solos o para fallas múltiples que tengan consecuencias en la seguridad o el ambiente.

Cambio de Especificaciones, la confiabilidad, el diseño, y el mantenimiento están relacionados intrínsecamente. Esto puede llevar a la tentación de realizar cambios de especificaciones a los sistemas existentes (especialmente modificaciones a equipos) antes de considerar sus requerimientos de mantenimiento. De hecho, todos los diagramas de decisión para MCC consideran el mantenimiento antes de los cambios de especificaciones por cuatro razones, como sigue:

a. La mayoría de las modificaciones toman de seis meses a tres años desde su concepción hasta su cometido, dependiendo del costo y de la complejidad del nuevo diseño. Por otro lado, la persona de mantenimiento debe mantener el equipo tal como existe hoy, no como lo que debería estar allí o lo que podría estar allí algún tiempo en el futuro. Así que las realidades de hoy deben tratarse con anterioridad a los cambios de diseño de mañana.

b. La mayoría de las organizaciones encaran muchos más las oportunidades de mejora de diseño deseables que son física y económicamente factibles. Por enfocarse en las consecuencias de la falla, el MCC es de gran ayuda en el desarrollo de un conjunto racional de prioridades para estos proyectos, especialmente porque separa los que son esenciales de aquellos que son meramente deseables. Claramente, tales prioridades sólo se pueden establecer después que se ha completado la revisión.

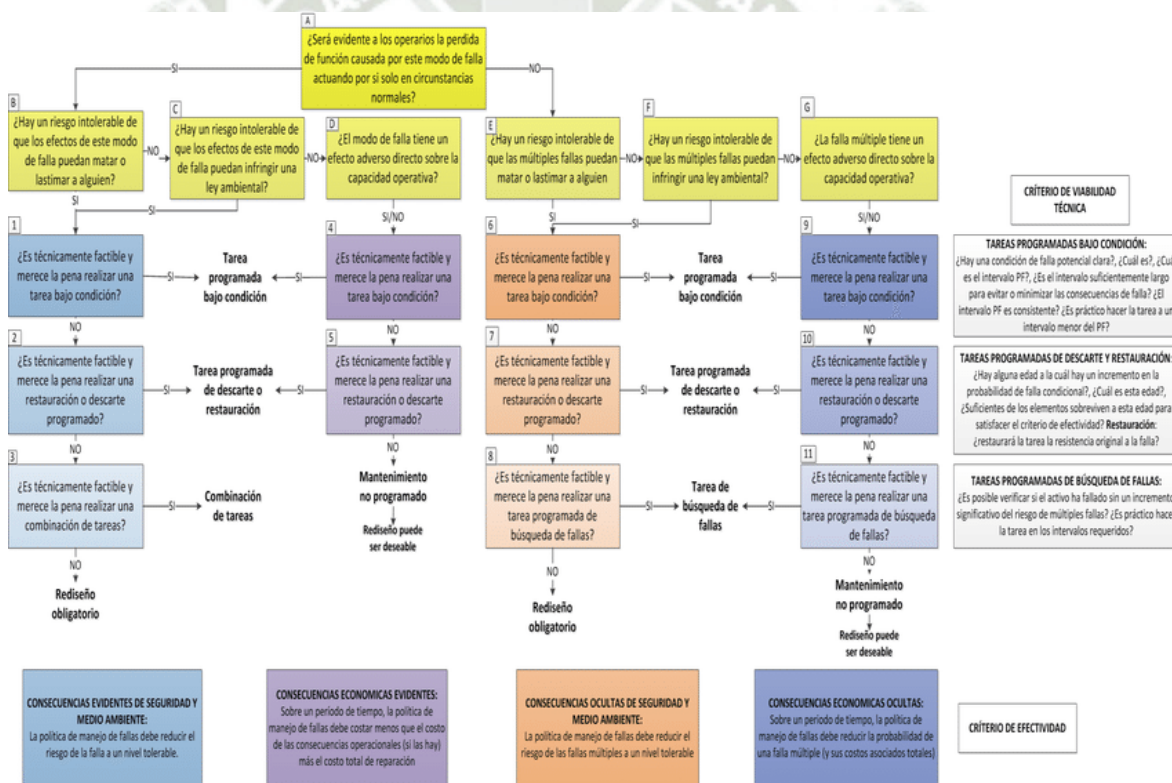
c. Los cambios de especificaciones son costosos. Estos incluyen el costo de desarrollar la nueva idea (el diseño de una nueva máquina, la incorporación de un nuevo

procedimiento operacional), el costo de llevar la idea a la realidad (la fabricación de una parte nueva, la compra de una nueva máquina, la compilación de un nuevo programa de entrenamiento). Adicionalmente se incurre en costos indirectos si el equipo o las personas tienen que estar fuera de servicio mientras se está implementando el cambio.

d. Existe un riesgo de que el cambio fallará en la eliminación o incluso en el alivio del problema que está supuesto a resolver. En algunos casos, puede incluso crear más problemas. Por todas estas razones las aproximaciones de los diagramas de decisión hacia el MCC buscan obtener el desempeño deseado de cualquier sistema en su configuración actual antes de intentar cambiar la configuración del sistema.

Figura II.12. Ejemplo de Diagrama de Decisión

Primer Ejemplo de Diagrama de Decisión



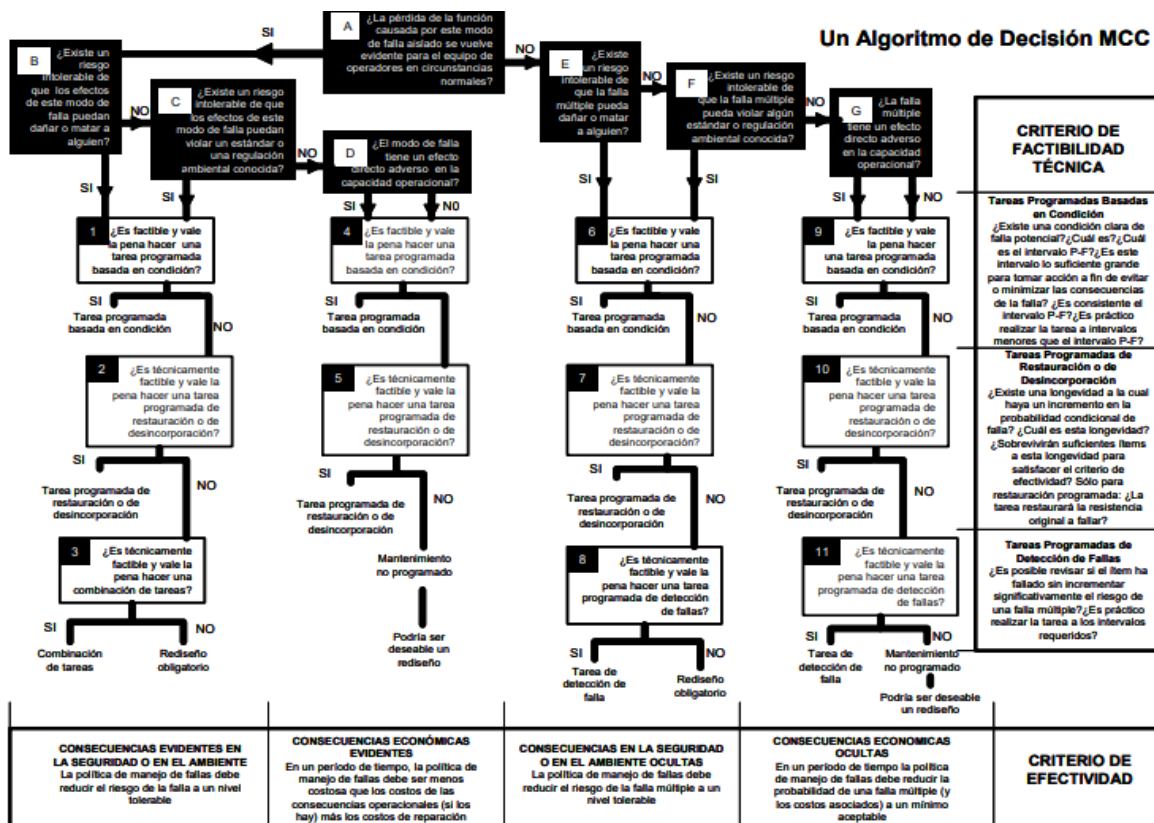
Nota. Ejemplo 1 de diagrama de decisión de mantenimiento centrado en confiabilidad.

Reproducida del gráfico Ejemplo de Diagrama de Decisión, CC BY 2.0.

Fuente: Norma SAE JA1012 (2002).

Figura II.13.

Segundo Ejemplo de Diagrama de Decisión



Nota. Ejemplo 2 de diagrama de decisión de mantenimiento centrado en confiabilidad.

Reproducida del gráfico Ejemplo de Diagrama de Decisión, CC BY 2.0.

Fuente: Norma SAE JA1012 (2002).

2.3. Norma ISO 14224

Esta Norma internacional brinda una base para la recolección de datos de Confiabilidad y Mantenimiento en un formato estándar para las áreas de perforación, producción, refinación transporte de petróleo y gas natural, con criterios que pueden extenderse a otras actividades e industrias. Sus definiciones son tomadas del RCM.

Presenta los lineamientos para la especificación, recolección y aseguramiento de la calidad de los datos que permitan Cuantificar la Confiabilidad de los Equipos y compararla con la de otros de características similares.

Los parámetros sobre Confiabilidad pueden determinarse para su uso en las fases de diseño, montaje, operación y mantenimiento.

El RCM es un proceso desarrollado durante los años 60's y 70's con la finalidad de ayudar a las empresas a determinar las políticas más adecuadas para mejorar las funciones de los activos físicos y para manejar las consecuencias de sus fallos.

El mantenimiento centrado en fiabilidad (MCF) o RCM (Reliability Centered Maintenance) es una de las técnicas organizativas actuales aplicadas al mantenimiento que más significativamente mejora sus resultados.

Es un proceso para determinar cuáles son las operaciones que debemos hacer para que un equipo o sistema continúe desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional, siempre y cuando sean rentables para la empresa.

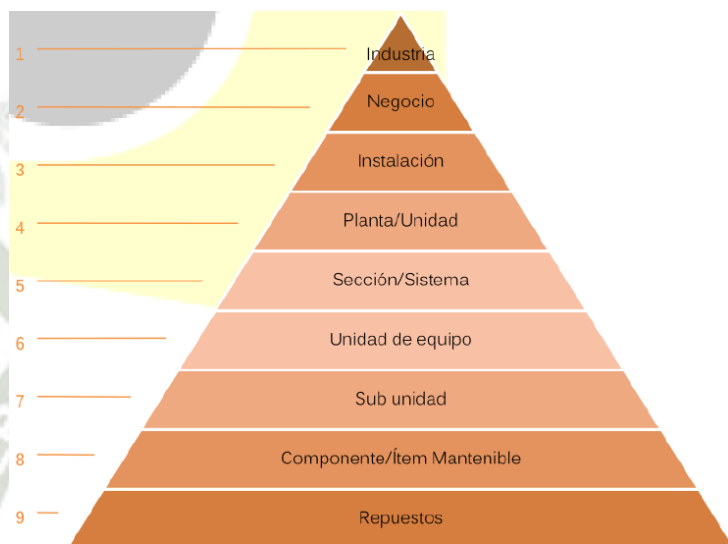
Las Normas ISO 14224, SAE 1739 / 1011 (RCM), y los Datos Estadísticos del OREDA.

Presenta los lineamientos para la especificación, recolección y aseguramiento de la calidad de los datos que permitan cuantificar la confiabilidad de equipos y compararla con la de otros de características similares.

La norma ISO14224, contiene en forma predefinida toda esta información, clasifica los equipos por jerarquías a saber: CLASES/ TIPOS /SISTEMAS/ SUBSISTEMAS/ COMPONENTES (Items mantenibles).

Figura II.14.

Jerarquía de Equipo



Norma ISO 14224 sugiere 9 niveles para la clasificación de los activos, dónde en el Nivel 8 se encuentra el Componente y Nivel 9 se indican sus repuestos.

Nota. Nueve niveles para la clasificación de los activos. Reproducida del gráfico Jerarquía de Equipos, CC BY 2.0.

Fuente: Norma ISO 14224 (2006).

Si bien la norma está orientada al registro de fallas, son de gran importancia las posibilidades de aplicación que presenta para definir los límites y jerarquía de los equipos de Operación, como también la calificación de la jerarquía de las Fallas. Parte desde el Modo de Falla (perdida de la función) hasta el detalle de la Causa de Falla y el componente (ítem mantenible para la norma), que provoca el evento. Esta calificación tiene como ventaja que limita la profundidad de detalle del análisis, acotando el nivel al que llega el Técnico de Mantenimiento (y las que quedan para un Especialista como metalografía, fractomecánica, etc.). (Subcomité MCC SAE G11, 2002)

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés) es una metodología reconocida y muy usada para elaborar estrategias de mantenimiento de equipos de línea amarilla, basándose en asegurar las funciones del equipo para la satisfacción de operaciones como usuario final. Actualmente existen distintas metodologías de RCM, sin embargo, la esencia de esta metodología está contenida en la norma SAE JA1011.

En la presente investigación se utilizarán las normas SAE JA1011 y SAE JA1012 para RCM, la metodología de análisis de modos de falla y efectos (FMEA por sus siglas en inglés) de la norma SAE J1739, la norma ISO 14224, la base de datos OREDA y casos de estudio.

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) fue documentado por primera vez en un reporte escrito por F.S. Nowlan y H.F. Heap y publicado por el Departamento de Defensa de U.S. en 1978. El mismo describió los procesos innovadores y actuales, para ese entonces, usados para desarrollar programas de mantenimiento para aviones comerciales. Desde entonces, el proceso MCC ha sido ampliamente utilizado por otras industrias, y desarrollado y mejorado ampliamente. Estas mejoras se han incorporado en numerosos documentos de aplicación, publicados por una variedad de organizaciones alrededor del mundo. Muchos de estos documentos permanecen fieles a los principios básicos del MCC expuestos por Nowlan y Heap.

Sin embargo, en el desarrollo de algunos de estos documentos, se han omitido o malinterpretado elementos claves del proceso MCC. Debido a la creciente popularidad de MCC, han surgido otros procesos a los cuales sus defensores les han dado el nombre de “MCC”, pero que no están basados en absoluto en Nowlan y Heap. Mientras que la mayoría de estos procesos pueden alcanzar algunas de las metas de MCC, otros pocos son activamente contraproducentes, y algunos son, incluso, dañinos.

Como resultado, ha habido un crecimiento de la demanda internacional por una norma que imponga los criterios que cualquier proceso deba cumplir para ser llamado “MCC”. SAE JA1011 contempla esa necesidad. Sin embargo, SAE JA1011 presupone un alto grado de familiaridad con los conceptos y la terminología de MCC. Esta guía amplifica,

y donde es necesario clarifica, estos conceptos claves y términos, especialmente aquellos que son únicos para MCC.

SAE JA1012 (“A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard”) amplifica y aclara cada uno de los criterios claves listados en SAE JA1011 (“Evaluation Criteria for RCM Processes”), y resume problemas adicionales que deben ser tomados en cuenta para aplicar MCC exitosamente. (Subcomité MCC SAE G11, 2002, pág. 1).

El RCM es una técnica de organización de las actividades y de la gestión del mantenimiento para desarrollar programas organizados que se basan en la confiabilidad de los equipos. El RCM asegura un programa efectivo de mantenimiento que se centra en que la confiabilidad original inherente al equipo se mantenga. John Moubray definió el RCM como un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional.

En la actualidad, el RCM es utilizado con frecuencia no solo para identificar tareas de mantenimiento, también se utiliza como marco de referencia para analizar el riesgo en equipos, clasificar por importancia los componentes significativos para el mantenimiento o detectar áreas de oportunidad de mejora en el mantenimiento de equipos complejos como turbinas eólicas. También se busca mejorar los resultados del RCM al combinarlo con otras metodologías tales como el mantenimiento radical, el mantenimiento basado en la condición y el proceso de jerarquía analítica.

La norma SAE JA1011 establece los criterios mínimos que debe cumplir una metodología para que pueda definirse como RCM.

2.3.1. Norma ISO 14224 - FMEA

Es una técnica aplicada al estudio Metódico de las consecuencias que provocan las Fallas de cada Componente (ítem mantenible para la norma ISO 14224) de un Equipo. Es un proceso sistemático para la identificación de las Fallas Potenciales del diseño de un

producto o proceso antes de que éstas ocurran, con el propósito de eliminarlas o de minimizar el Riesgo asociado a las mismas. Sus objetivos principales son:

- Reconocer y evaluar los Modos de Fallas Potenciales y las causas asociadas con el diseño y montaje, Operación y Mantenimiento de un equipo, a partir de los Componentes (ítem mantenibles para la norma ISO 14224).
- Determinar los Efectos de las Fallas Potenciales en el desempeño del Sistema, Identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la ocurrencia de la Falla Potencial.
- Analizar la Confiabilidad del Sistema
- Cuantificar Riesgos y Confiabilidad.
- Documentar el proceso

FMEA llega a los Modos de Falla partiendo de la Supuesta Falla de un Componente.

Considerando que los componentes son perfectamente identificables, la supuesta falla total o parcial de cada uno nos lleva directamente a todos los Modos de Falla Potenciales (pérdida de la función.)

Una tormenta de ideas en RCM NO asegura que se identifiquen TODOS los Modos de Falla.

Los responsables de las pérdidas de funciones de los Equipos (Sistemas), son los Componentes (Ítem Mantenibles, para la ISO 14224).

Si se identifican desde un principio los Modos de Falla estándar para cada tipo de equipo, definidos bajo un criterio netamente operacional, y se listan Sistemas y Sub-Sistemas, Componentes (Items Mantenibles), Causa de Fallas y Descriptores de Falla; y se los recorre en forma sistemática en esta secuencia ordenada, difícilmente pueda quedar afuera ninguna Falla supuesta que afecte a las Funciones del Equipo.

Los operadores y mantenedores están muy identificados con las Fallas Funcionales y los Componentes que las provocan.

Las listas de Causas de Falla (que incluye todas las Causas preestablecidas) limitan así la profundidad de análisis. Están adaptadas al Nivel de Conocimiento del personal involucrado; lo que le otorga Confiabilidad al Dato.

La estructuración de jerarquías ISO 14224 de la norma ISO 14224 toma la máquina dividiéndola de mayor a menor jerarquía o grado de detalle:

- Clases
- Sistema
- Subsistema
- Ítem mantenible
- Componente de detalle (en un grado último de división, opcional)

Mayor detalle se presenta en la NORMA ISO 14224, donde se muestra como quedan perfectamente determinados los límites constituyentes de cada Clase de Equipo.

Esta división es primordial y de la mayor importancia debido a que permite definir cómo se tratará a los equipos, respecto a la posterior interpretación de los resultados; y luego cómo se asociarán los registros de operación y mantenimiento, de modo de contar con metodologías sencillas de análisis (y la aplicación de software avanzados).

Los registros de mantenimiento deben relacionarse con cada nivel dentro de la jerarquía del Equipo a fin de que puedan compararse.

Clases de equipos, a partir de la estructura presentada por la norma, acorde a un orden de jerarquía, se establecen cuáles son las clases de equipos (siendo este el nivel más alto).

Se las puede asociar a Funciones; cada una en su contexto operacional; entendiendo por función, de acuerdo con la definición de RCM, a las razones por las cuales un equipo existe dentro del proceso.

Acorde al glosario definimos como clase a un determinado tipo de equipo, que para la norma son los siguientes:

Sistemas, bajo los conceptos de RCM / FMEA, y así lo toma la Norma ISO 14224, se considera sistema a un conjunto que realiza una función específica, en un servicio determinado dentro del proceso, pudiéndose identificar una entrada y una salida.

Incluyen todos los equipamientos disponibles para la operación de estos y, en general, comparten muy pocas partes con otros Sistemas.

Como norma genérica para la fijación de sus límites, se pueden tomar todas las válvulas que lo aíslan.

Para el caso de la norma quedan clasificados por tipos de equipos y aplicación. Ejemplos de Sistemas, Sistema de Bomba Centrífuga Agua de Inyección, Sistema de Bomba Alternativa Trasvase de Petróleo

Sub-Sistemas, son aquellos equipos que posibilitan que el sistema realice su función operativa y se pueden dividir por sus funciones específicas. Todo equipo calificado como subsistema que falle afecta directamente al sistema. Por ejemplo, el control, monitoreo e instrumentación, pueden considerarse como unidad. A modo de ejemplo se toma la bomba, vista desde la norma ISO 14224.

Ítem Mantenible, componente de detalle, la unidad final de la división es el Ítem Mantenible (componente), entendiendo como tal a las partes de los equipos sobre las cuales es necesario realizar acciones de mantenimiento, con el objeto de alcanzar la confiabilidad deseada.

Los datos de Confiabilidad deben relacionarse con cada nivel de subdivisión dentro de la jerarquía del Equipo a fin de que puedan compararse.

Funciones, relación con el RCM y FMEA, se vio que los Equipos quedan caracterizados por clase, tipo de equipo y aplicación. A esta calificación inicial, que define

a grandes rasgos la función, se agrega la tabla siguiente datos del equipo, en la que quedan establecidas todas las funciones requeridas. Así queda respondida la primera pregunta del RCM ¿Cual la función deseada y el estándar de performance en el presente contexto operativo?

La información completa se reproduce en tablas de la Norma ISO 14224. Esta información debe estar compilada antes de comenzar el análisis, para un equipo en particular. Para hacer un análisis genérico se pueden obviar datos específicos; pero es importante contar con este documento como guía de las funciones y sus desvíos.

Clasificación de las fallas, el modo de falla. Se comienza tomando un ítem mantenible y se fija y analiza cuales son las pérdidas de funciones, en caso de que falle. A diferencia del RCM la norma ISO 14224 tiene definidos los modos de falla por clase de equipo, de esta manera no se pierde tiempo definiéndolas, no se cae en la trampa de buscar o listar enormes cantidades de modos de fallas asociados a funciones principales y secundarias. Se comienza calificando a la falla con el modo de falla, la cual está asociada a las funciones del sistema. con esto queda contestada la segunda pregunta del RCM ¿De qué forma puede Fallar (no ser satisfactorias las funciones)?

Luego se calificará la Falla con dos niveles, que dan mayor detalle y están orientado al componente (ítem mantenible), estos son: descriptor de la falla (mecanismo de falla e la nueva edición de la ISO 14224) y causa de falla. Así la Falla del ítem mantenible queda perfectamente acotada comenzando el análisis por la pérdida de función del sistema calificada por el modo de falla, esto es desde los macros al detalle. Se parte de la función del equipo, sistema, incrementando en detalle, desde el descriptor de la falla hasta la causa de falla. De esta manera respondemos la tercera pregunta del RCM ¿Qué causa que falle?

Tareas preventivas, métodos de detección, en esta fase se pretende responder a la pregunta del RCM ¿Qué se puede hacer para prevenir los fallos? Se elige el método de detección basado en las preguntas del RCM. El orden va de lo simple y práctico, (la detección temprana), a lo más complejo como el cambio en el diseño.

La Norma ISO 14224 permite elegir las siguientes acciones que deberán tomarse, estas deben estar alineadas con las preguntas del RCM.

Para el cálculo correcto de la confiabilidad no puede separarse el hombre de la máquina, el tratamiento debe ser en conjunto. Se debe adoptar un criterio para ponderar cómo afecta el error humano a la frecuencia de ocurrencia. Esta norma lo tiene en cuenta.

Para conseguir un verdadero entendimiento de la manera como fallan los equipos de una planta es necesario determinar sus parámetros de falla, mediante el análisis de tiempos de vida de componentes soportado por el análisis Weibull. La distribución Weibull fue desarrollada por el Dr. Waloddi Weibull en 1937 cuando compraba ratas de mortalidad de diferentes grupos poblacionales. (Fernandez Morales, 2018)

2.4. Descripción de Equipos

2.4.1. Camión Fuera de Carretera Caterpillar 772

El camión fuera de carretera de marca caterpillar modelo 772 tiene una capacidad colmada de 24.2 m³, el camión tiene un motor de marca caterpillar modelo C18, una transmisión automática.

2.4.1.1. Ficha técnica Camión Fuera de Carretera Caterpillar 772

Figura II.15. Seis Ficha Técnica de Camión Fuera de Carretera Caterpillar 772

Seis Ficha Técnica de Camión Fuera de Carretera Caterpillar 772

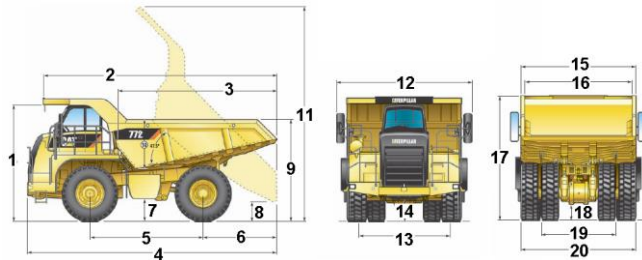
YURA S.A.
ELABORACION: Febrero 2012

CAMION FUERA DE CARRETERA 772 "EM-VCA-7"

DATOS GENERALES			
EQUIPO	: CAMION FUERA DE CARRETERA		
COLOR	: AMARILLO CAT		
AÑO	: 2011		
UBICACIÓN DE TRABAJO	: YURA S.A. - CANTERAS		
CÓDIGO SAP / INTERNO	: EM-VCA-7	: Y-368	
CLASE DE MATERIAL	: 3002374		
CONTADOR SAP	: 277017		
PRECIO USD	: 760.000.00		
DATOS DE MÁQUINA			
MARCA	: CATERPILLAR		
MODELO	: 772		
Nº SERIE	: RLB00678		
ARREGLO	: 347-0518		
CAPACIDAD COLMADA	: 24.2 m ³	: 31.7 yd ³	
CAPACIDAD AL RAS	: 31.2 m ³	: 40.8 yd ³	
PESO EQUIPO VACIO	: 38 500 Kg		
CAPACIDAD DE COMBUSTIBLE	: 530 L	: 140 gal	
RENDIMIENTO	: 6.5 Gal/Hr.		
DIMENSIÓN DEL NEUMÁTICO	: 21.00R33		
DATOS DE MOTOR			
FABRICANTE	: CATERPILLAR		
MODELO	: C18 ACERT		
Nº SERIE	: RHX10737		
ARREGLO	: 363-3207		
POTENCIA	: (535 HP / 399 KW)		
CILINDRADA	: 18.1 L		
N/P	: 363-3207		

DATOS DE LA TRANSMISIÓN			
FABRICANTE	: CATERPILLAR		
Nº SERIE	: NDG01304		
ARREGLO	: 294-5560		
CAMBIOS	: 7 AVANCE / 1 REVERSA		
VEL. MAX HACIA DELANTE	: 79.7 km/h	: 49.5 mph	
VEL. MAX EN REVERSA	: 16.9 km/h	: 10.5 km/h	
N/P	: 294-5560		
DATOS DEL CONVERTIDOR			
Nº SERIE	: T2C01027		
N/P	: 227-1037		
CONFIGURACIÓN GENERAL			
Nº SERIE	: RLB678		

DIMENSIONES

	1	Height to Top of ROPS	4093 mm	13 ft 6 in
	2	Overall Body Length	8125 mm	26 ft 8 in
	3	Inside Body Length	5549 mm	18 ft 3 in
	4	Overall Length	8740 mm	28 ft 9 in
	5	Wheelbase	3960 mm	13 ft 0 in
	6	Rear Axle to Tail	2605 mm	8 ft 6 in
	7	Ground Clearance	720 mm	2 ft 5 in
	8	Dump Clearance	560 mm	1 ft 10 in
	9	Loading Height - Empty	3950 mm	11 ft 8 in
	10	Inside Body Depth - Max	1706 mm	5 ft 8 in
	11	Overall Height - Body Raised	8357 mm	27 ft 5 in
	12	Operating Width	4780 mm	15 ft 8 in
	13	Centerline Front Tire Width	3165 mm	10 ft 5 in
	14	Engine Guard Clearance	714 mm	2 ft 5 in
	15	Outside Body Width	3952 mm	13 ft 0 in
	16	Inside Body Width	3688 mm	12 ft 2 in
	17	Front Canopy Height	4265 mm	14 ft 0 in
	18	Rear Axle Clearance	560 mm	1 ft 11 in
	19	Centerline Rear Dual Tire Width	2652 mm	8 ft 9 in
	20	Overall Tire Width	3927 mm	12 ft 11 in

Fuente: Elaboración propia

2.4.1.2. *Funcionamiento de sistemas del Camión Caterpillar 772*

El camión Caterpillar 772 tiene una capacidad de transporte de 45 toneladas en base a la densidad del material de la cantera de la cementera donde desarrolla sus actividades.

Figura II.16.

Vista Lateral del Camión Caterpillar Modelo 772



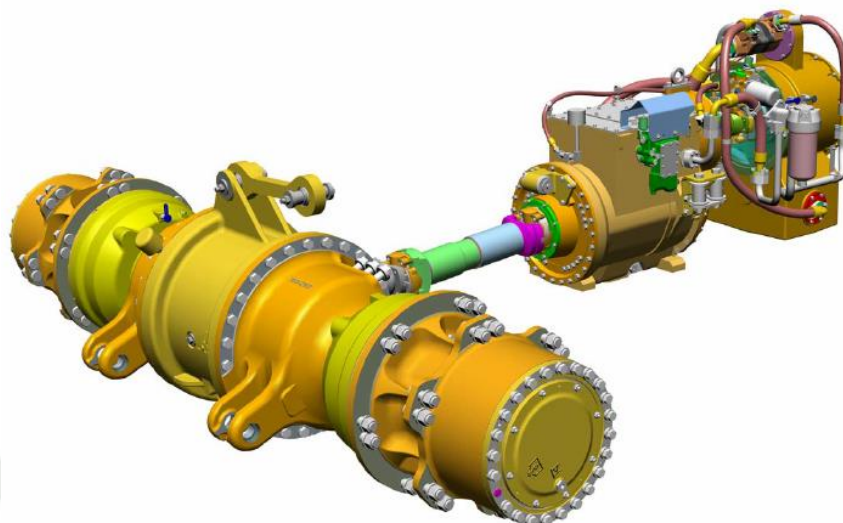
Fuente: Elaboración propia

2.4.1.3. *Sistema transmisión del Camión Caterpillar modelo 772*

El tren de potencia del Camión Caterpillar consiste en un motor Caterpillar modelo C18 con tecnología ACERT, una caja mecánica con power shift, un diferencial con frenos húmedos bañados con aceite hidráulico y unos mandos finales compuestos de planetarios y satélites que dan la última reducción de potencia.

Figura II.17.

Vista 3D del Tren de Potencia del Camión Caterpillar Modelo 772



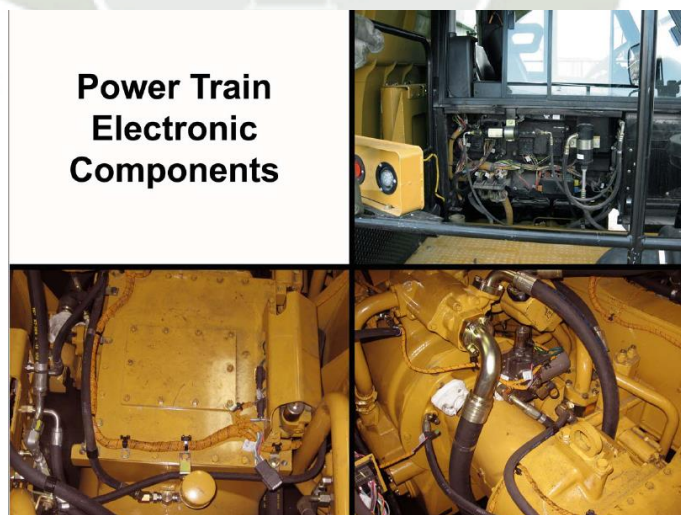
Nota. Vista del tren de potencia del camión Caterpillar modelo 772. Reproducida del gráfico

Vista 3D del Tren de Potencia del Camión Caterpillar Modelo 772, CC BY 2.0.

Fuente: Caterpillar SIS.CAT (2021).

Figura II.18. *Caja de Transmisión del Camión Caterpillar Modelo 772*

Caja de Transmisión del Camión Caterpillar Modelo 772



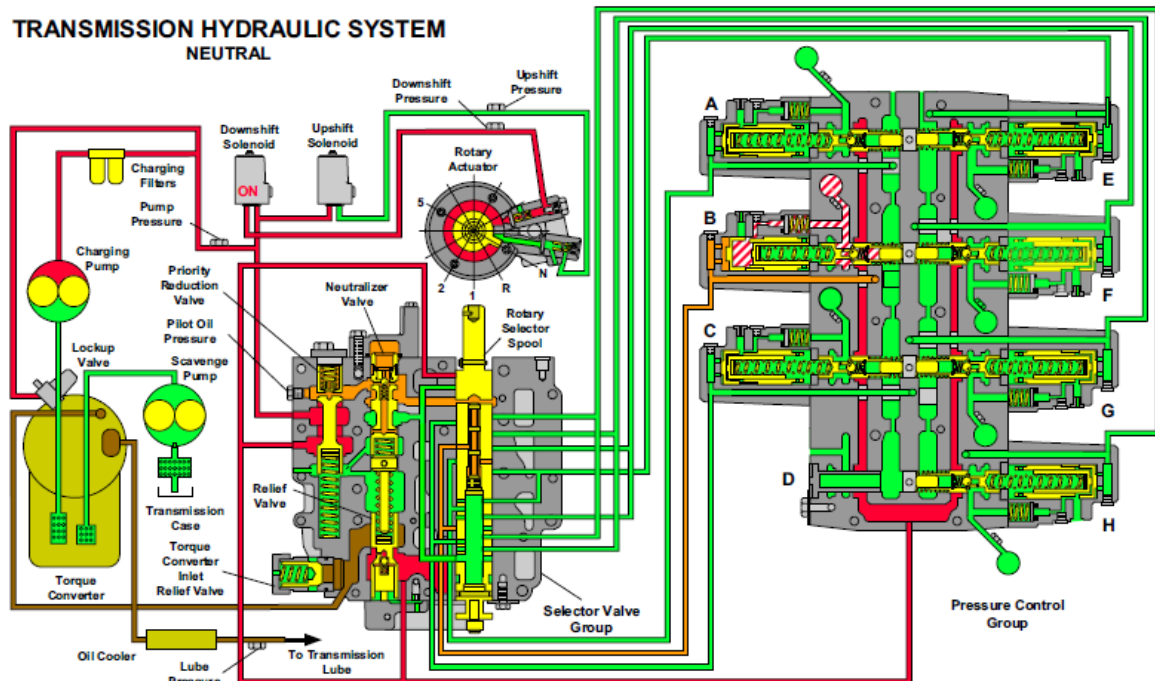
Nota. Caja de transmisión del camión Caterpillar modelo 772. Reproducida del gráfico Caja de Transmisión del Camión Caterpillar Modelo 772, CC BY 2.0.

Fuente: Caterpillar SIS.CAT (2021).

El sistema de transmisión automático funciona con un bloque de válvulas, accionado con una bomba de transmisión, este control es electrónico a través de un joystick.

Figura II.19.

Flujo de Aceite de la Transmisión del Camión Cat Modelo 772



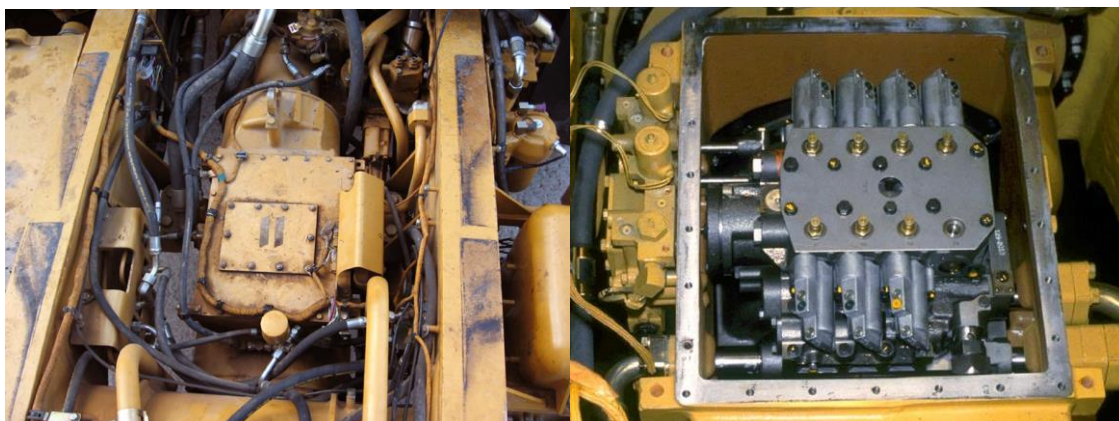
Nota. Flujo del sistema de transmisión del camión Caterpillar modelo 772. Reproducida del gráfico Flujo de Aceite de la Transmisión del Camión Cat Modelo 772, CC BY 2.0.

Fuente: Caterpillar Inc., 770 (BZZ), 772 (RLB) OFF-HIGHWAY TRUCKS INTRODUCTIO (2007).

En la siguiente imagen se visualiza la caja de transmisión física, la transmisión se ubica detrás del motor y convertidor, debajo inmediato de la tolva. Encima de los paquetes de la transmisión se encuentran las válvulas de control y las respectivas tomas de presión para controlar cada 2000 horas de operación las presiones de accionamiento de cada paquete de la transmisión.

Figura II.20.

Vista Superior de Transmisión del Camión Cat Modelo 772



Nota. Caja de transmisión del camión Caterpillar modelo 772. Reproducida del gráfico Vista Superior de Caja de Transmisión del Camión Cat Modelo 772, CC BY 2.0.

Fuente: Caterpillar Inc., 770 (BZZ), 772 (RLB) OFF-HIGHWAY TRUCKS INTRODUCTIO (2007).

El diferencial posterior es mecánico conformado por un piñón y cremallera con una caja de planetarios, los mandos finales tienen la última reducción de piñones, entre el diferencial y los mandos finales se encuentran los frenos que son bañados y accionados con el aceite hidráulico. El sistema de frenos es libre de mantenimiento formado con platos y discos.

Figura II.21.

Vista Posterior del Diferencial del Camión Cat Modelo 772



Nota. Diferencial del camión Caterpillar modelo 772. Reproducida del gráfico Vista Posterior y en 3D del Diferencial del Camión Caterpillar Modelo 772, CC BY 2.0.

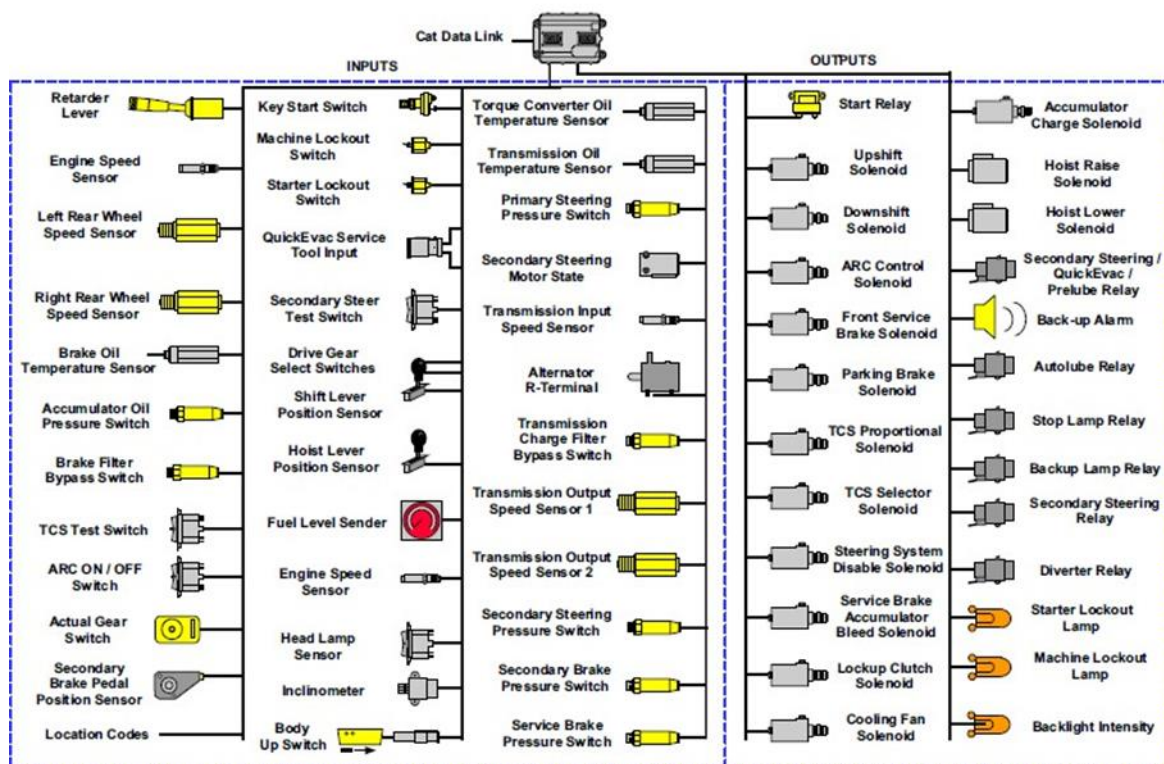
Fuente: Caterpillar Inc., 770 (BZZ), 772 (RLB) OFF-HIGHWAY TRUCKS INTRODUCTIO (2007).

En la siguiente gráfica se presentan los componentes del sistema de control de la transmisión y chasis del volquete de marca Caterpillar modelo 772.

Figura II.22.

Control de la Transmisión del Camión Cat Modelo 772

TRANSMISSION/CHASSIS CONTROL MODULE SYSTEM DIAGRAM



Nota. Componentes de la Transmisión del Camión Cat Modelo 772. Reproducida del gráfico Control de la Transmisión del Camión Cat Modelo 772, CC BY 2.0.

Fuente: Caterpillar Inc., 770 (BZZ), 772 (RLB) OFF-HIGHWAY TRUCKS INTRODUCTIO (2007).

Figura II.23.

Módulo de la Transmisión del Camión Cat modelo 772

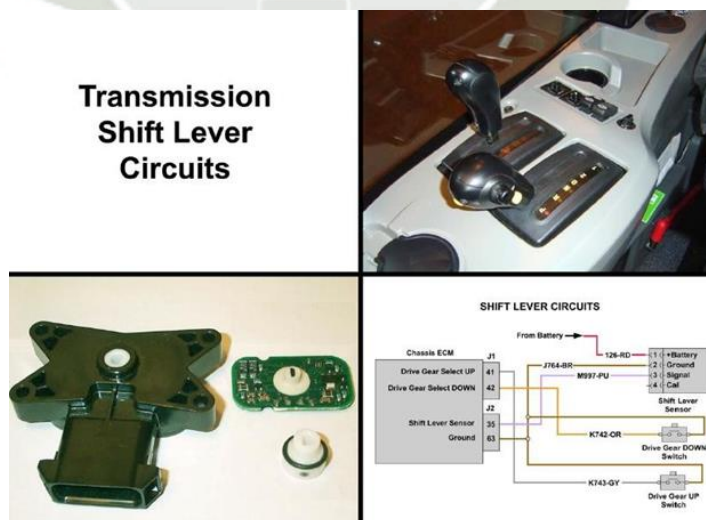


Fuente: Caterpillar Inc., 770 (BZZ), 772 (RLB) OFF-HIGHWAY TRUCKS INTRODUCTIO (2007).

El camión de marca Caterpillar modelo 772 funciona con una palanca de cambios automática secuencial.

Figura II.24. *Palanca de Cambios del Camión Cat Modelo 772*

Palanca de Cambios del Camión Cat Modelo 772



Nota. Vista de la Palanca de Cambios del Camión Cat Modelo 772. Reproducida del gráfico Palanca de Cambios del Camión Cat Modelo 772, CC BY 2.0.

Fuente: Caterpillar Inc., 770 (BZZ), 772 (RLB) OFF-HIGHWAY TRUCKS INTRODUCTIO (2007).

2.4.1.4. Sistema hidráulico del Camión Caterpillar modelo 772

El sistema hidráulico del camión Caterpillar modelo 772 está compuesto por una bomba hidráulica, bloques de válvulas de control y 02 cilindros hidráulicos telescópicos de dos etapas.

Figura II.25.

Cilindros del Camión Caterpillar Modelo 772



Fuente: Caterpillar Inc., 770 (BZZ), 772 (RLB) OFF-HIGHWAY TRUCKS INTRODUCTIO (2007).

Figura II.26.

Palancas de Control de Tolva del Camión Cat modelo 772

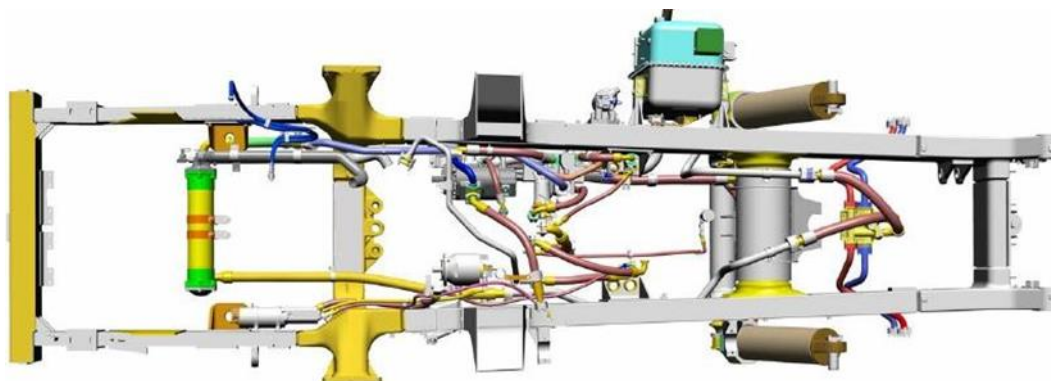


Fuente: Caterpillar Inc., 770 (BZZ), 772 (RLB) OFF-HIGHWAY TRUCKS INTRODUCTIO (2007).

La estructura del camión, llamada chasis, distribuye de forma accesible los componentes del sistema hidráulico, esto da como resultado una mantenibilidad eficiente para el área de mantenimiento.

Figura II.27.

Sistema Hidráulico del Camión Cat Modelo 772



Nota. Vista en 3D de los componentes del sistema hidráulico del camión Caterpillar modelo 772. Reproducida del gráfico Sistema Hidráulico del Camión Cat Modelo 772.

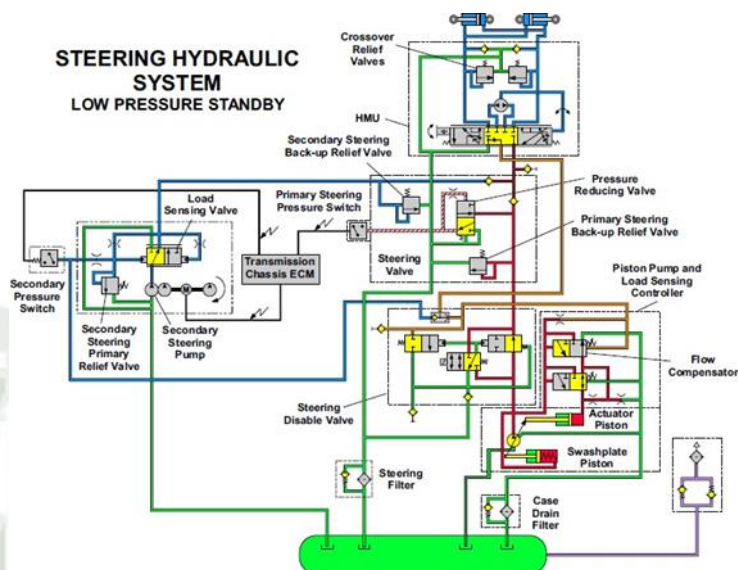
Fuente: Caterpillar Inc., 770 (BZZ), 772 (RLB) OFF-HIGHWAY TRUCKS INTRODUCTIO (2007).

El sistema hidráulico del camión de marca Caterpillar modelo 772 es accionado con válvulas electrohidráulicas controlado con el ECM del chasis. Son dos los cilindros hidráulicos telescópicos los que suben la tolva del camión tienen un retorno flotante.

El sistema de dirección es accionado con el sistema hidráulico, tiene una bomba hidráulica de freno primaria y una bomba eléctrica de freno secundario,

Figura II.28.

Plano Hidráulico 1 del Camión Cat Modelo 772

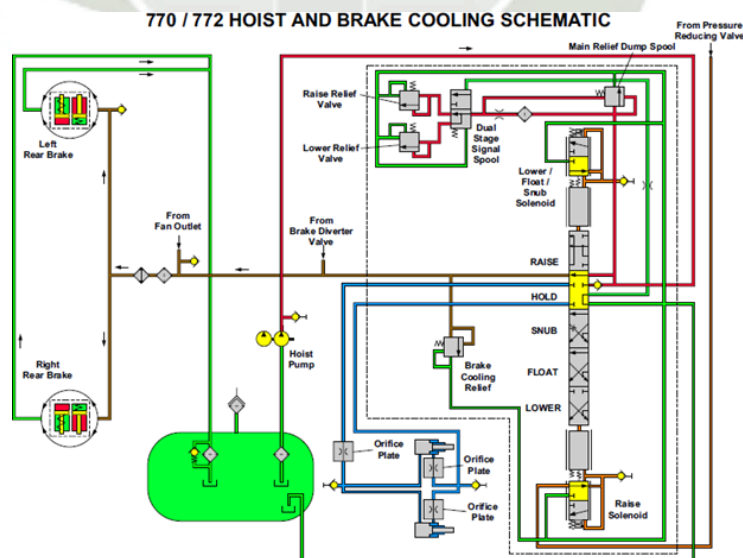


Nota. Plano Hidráulico 1 del Camión Cat Modelo 772. Reproducida del gráfico Plano Hidráulico del Camión Cat Modelo 772, CC BY 2.0.

Fuente: Caterpillar Inc., 770 (BZZ), 772 (RLB) OFF-HIGHWAY TRUCKS INTRODUCTIO (2007).

Figura II.29. *Plano Hidráulico 2 del Camión Cat Modelo 772*

Plano Hidráulico 2 del Camión Cat Modelo 772



Nota. Plano Hidráulico 2 del Camión Cat Modelo 772. Reproducida del gráfico Plano Hidráulico del Camión Cat Modelo 772, CC BY 2.0.

Fuente: Caterpillar Inc., 770 (BZZ), 772 (RLB) OFF-HIGHWAY TRUCKS INTRODUCTIO (2007).

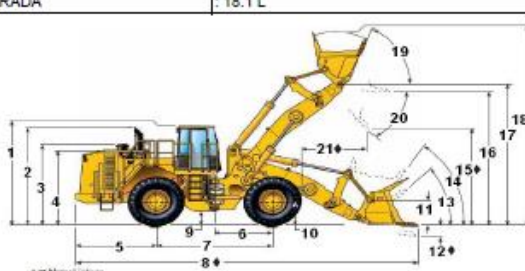
2.4.2. Cargador Frontal Caterpillar 988H

El cargador frontal de marca caterpillar modelo 988H tiene una capacidad de 6.4 m³, cuenta con un motor de combustión interna de marca caterpillar modelo C18, una transmisión automática y un convertidor de par, la potencia del motor es de 501 HP.

2.4.2.1. Ficha técnica Cargador Frontal Caterpillar 988H

Figura II.30.

Ficha Técnica de Cargador Frontal Caterpillar 988H

YURA S.A.		FICHA TÉCNICA CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 988H																																																																																													
ELABORACION: Febrero-2012																																																																																															
DATOS GENERALES																																																																																															
EQUIPO	: CARGADOR FRONTAL																																																																																														
COLOR	: AMARILLO CAT																																																																																														
AÑO	: 2010																																																																																														
UBICACIÓN DE TRABAJO	: YURA S.A. - CANTERAS																																																																																														
CODIGO SAP / INTERNO	: EM-CFR-14	Y-309																																																																																													
CLASE DE MATERIAL	: 3009076																																																																																														
PRECIO USD	: 755.000.00																																																																																														
CONTADOR SAP	: 270329																																																																																														
DATOS DE MÁQUINA																																																																																															
MARCA	: CATERPILLAR																																																																																														
MODELO	: 988H																																																																																														
N° SERIE	: BXY04012																																																																																														
CAPACIDAD COLMADA	: 8.33 yd ³	6.4 m ³																																																																																													
CAPACIDAD AL RAS	: 6.9 yd ³	5.3 m ³																																																																																													
PESO TOTAL	: 51 777Kg.(CARGADOR:42000Kg., RUEDAS: 5000Kg., LAMPON: 4777Kg.)																																																																																														
CAPACIDAD DE COMBUSTIBLE	: 188 gal	712 L																																																																																													
RENDIMIENTO	: 10.8 Gal/Hr.																																																																																														
	: 35/65 R33																																																																																														
PRESIÓN DE NEUMÁTICOS	95 LB/Pulg. ² ± 5 DEL./75 LB/Pulg. ² ± 5 POST. (En neumáticos Michelin)																																																																																														
DATOS DE MOTOR																																																																																															
FABRICANTE	: CATERPILLAR																																																																																														
MODELO	: C18 ACERT																																																																																														
N° SERIE	: RHXD8642																																																																																														
ARREGLO	: 281-6452																																																																																														
POTENCIA	: (501 HP / 373.5 KW)																																																																																														
CILINDRADA	: 18.1 L																																																																																														
DATOS DE LA TRANSMISIÓN																																																																																															
FABRICANTE	: CATERPILLAR																																																																																														
N° SERIE	: DRT02347																																																																																														
ARREGLO	: 230 6315																																																																																														
CAMBIOS	: 4 DELANTE; 3 REVERSA																																																																																														
VEL. MAX HACIA DELANTE	: 24 mph	38.6 km/h																																																																																													
VEL. MAX EN REVERSA	: 15.6 mph	25.1 km/h																																																																																													
																																																																																															
auto Meter linkage * Dimensions vary with bucket. Refer to Operation/Bucket Specifications.																																																																																															
<table><tr><td>1</td><td>4128 mm</td><td>13.54 ft</td><td>13</td><td>47.8"</td></tr><tr><td>2</td><td>4112 mm</td><td>13.49 ft</td><td></td><td>45.7**</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>14</td><td>56.5"</td></tr><tr><td>3</td><td>3382 mm</td><td>11.1 ft</td><td></td><td>54**</td></tr><tr><td>4</td><td>3156 mm</td><td>10.35 ft</td><td>15</td><td>3679 mm</td><td>12.73 ft</td></tr><tr><td>5</td><td>3132 mm</td><td>10.28 ft</td><td></td><td>3466 mm*</td><td>11.37 ft*</td></tr><tr><td>6</td><td>2275 mm</td><td>7.46 ft</td><td>16</td><td>5432 mm</td><td>17.82 ft</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>5016 mm*</td><td>16.47 ft*</td></tr><tr><td>7</td><td>4550 mm</td><td>14.93 ft</td><td>17</td><td>5853 mm</td><td>19.2 ft</td></tr><tr><td>8</td><td>♦</td><td>♦</td><td></td><td>5440 mm*</td><td>17.85 ft*</td></tr><tr><td>9</td><td>549 mm</td><td>1.8 ft</td><td>18</td><td>♦</td><td>♦</td></tr><tr><td>10</td><td>978 mm</td><td>3.21 ft</td><td>19</td><td>65"</td><td>♦</td></tr><tr><td>11</td><td>1000 mm</td><td>3.31 ft</td><td></td><td>23**</td><td></td></tr><tr><td></td><td>899 mm*</td><td>2.95 ft*</td><td>20</td><td>45"</td><td></td></tr><tr><td>12</td><td>226 mm</td><td>0.74 ft</td><td></td><td>45**</td><td></td></tr><tr><td></td><td>196 mm*</td><td>0.64 ft*</td><td>21</td><td>♦</td><td>♦</td></tr></table>				1	4128 mm	13.54 ft	13	47.8"	2	4112 mm	13.49 ft		45.7**				14	56.5"	3	3382 mm	11.1 ft		54**	4	3156 mm	10.35 ft	15	3679 mm	12.73 ft	5	3132 mm	10.28 ft		3466 mm*	11.37 ft*	6	2275 mm	7.46 ft	16	5432 mm	17.82 ft					5016 mm*	16.47 ft*	7	4550 mm	14.93 ft	17	5853 mm	19.2 ft	8	♦	♦		5440 mm*	17.85 ft*	9	549 mm	1.8 ft	18	♦	♦	10	978 mm	3.21 ft	19	65"	♦	11	1000 mm	3.31 ft		23**			899 mm*	2.95 ft*	20	45"		12	226 mm	0.74 ft		45**			196 mm*	0.64 ft*	21	♦	♦
1	4128 mm	13.54 ft	13	47.8"																																																																																											
2	4112 mm	13.49 ft		45.7**																																																																																											
			14	56.5"																																																																																											
3	3382 mm	11.1 ft		54**																																																																																											
4	3156 mm	10.35 ft	15	3679 mm	12.73 ft																																																																																										
5	3132 mm	10.28 ft		3466 mm*	11.37 ft*																																																																																										
6	2275 mm	7.46 ft	16	5432 mm	17.82 ft																																																																																										
				5016 mm*	16.47 ft*																																																																																										
7	4550 mm	14.93 ft	17	5853 mm	19.2 ft																																																																																										
8	♦	♦		5440 mm*	17.85 ft*																																																																																										
9	549 mm	1.8 ft	18	♦	♦																																																																																										
10	978 mm	3.21 ft	19	65"	♦																																																																																										
11	1000 mm	3.31 ft		23**																																																																																											
	899 mm*	2.95 ft*	20	45"																																																																																											
12	226 mm	0.74 ft		45**																																																																																											
	196 mm*	0.64 ft*	21	♦	♦																																																																																										
*3.88 Meter Linkage																																																																																															
Medida 8 para YURA S.A. es 12.74m (Cucharón en "V" para rocas con dientes y segmentos de 6.9yd ³)																																																																																															
* ANCHO ENTRE LOS NEUMATICOS SEGÚN MOM: 3574 MM * ANCHO DE CUCHARÓN SEGÚN PLACA: 4020 MM																																																																																															
* 3.88 Meter Linkage																																																																																															

Fuente: Elaboración propia

2.4.2.2. *Vista General del Cargador Frontal Caterpillar 988H*

El cargador frontal de marca Caterpillar modelo 988H tiene una transmisión de 4 velocidades y 3 velocidades de retroceso, tiene 02 cilindros de levante y 01 de basculamiento. Tiene un cucharón roquero para trabajo pesado.

Figura II.31.

Vista Lateral de Cargador Frontal Caterpillar 988H



Fuente: Elaboración propia

2.4.3. *Vista isométrica del Cargador Frontal Caterpillar 988H*

Figura II.32.

Vista isométrica del Cargador Frontal Cat 988H

Vista Isométrica de Cargador Frontal Cat 988H

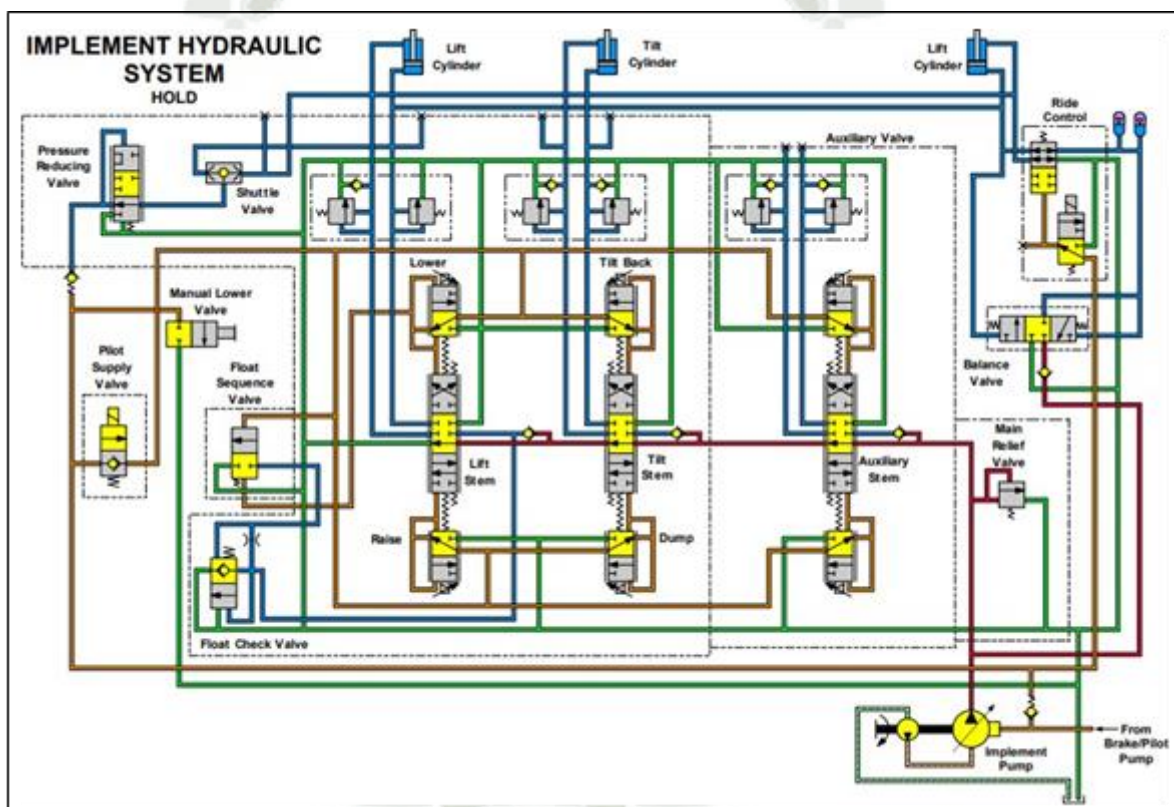


2.4.3.1. Sistema Hidráulico del Cargador Frontal Caterpillar 988H

El sistema hidráulico está conformado por dos cilindros de levante, un cilindro de volteo, un bloque de válvulas principal, un bloque auxiliar, válvulas de control de presiones, una bomba y un motor para el funcionamiento del implemento.

Figura II.33.

Plano Hidráulico de Cargador Frontal Caterpillar 988H



Nota. Plano Hidráulico de Cargador Frontal Caterpillar 988H. Reproducida del gráfico Plano Hidráulico de Cargador Frontal Caterpillar 988H, CC BY 2.0.

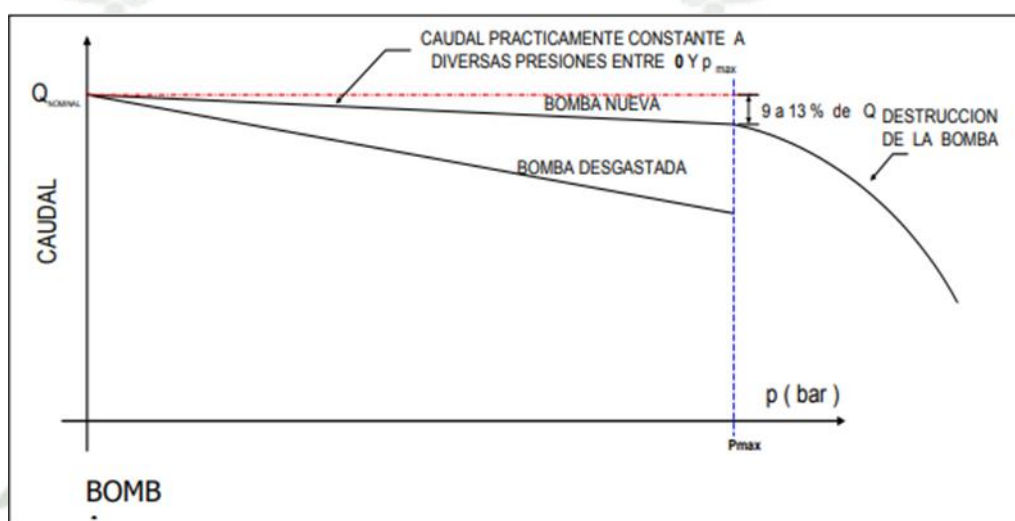
Fuente: Caterpillar Inc., 988H WHEEL LOADER 988H WHEEL LOADER New Product Introduction (NPI) (2005).

2.5. Curva característica de la Bomba hidráulica

Las bombas hidráulicas generan caudal, la siguiente figura presenta las curvas estándar de una bomba nueva y de una bomba usada (falla), también muestra una zona donde la bomba no debería trabajar para evitar fallas prematuras.

Figura II.34.

Caudal de Bomba Oleo hidráulica

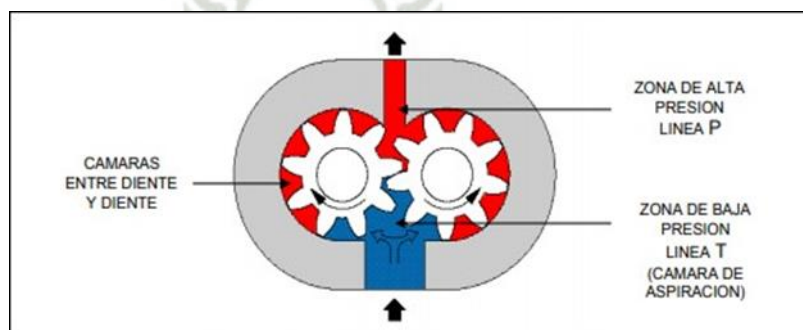


Nota. Evolución del caudal de Bomba Oleo hidráulica. Reproducida del gráfico Caudal de Bomba Oleo hidráulica, CC BY 2.0.

Fuente: Tecsup Arequipa (2007).

Figura II.35.

Bomba Oleo hidráulica

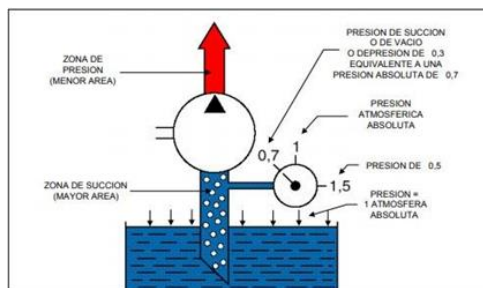


Nota. Bomba Oleo hidráulica. Reproducida del gráfico Bomba Oleo hidráulica, CC BY 2.0.

Fuente: Tecsup Arequipa (2007).

Figura II.36. Bomba Oleo hidráulica

Bomba Oleo hidráulica

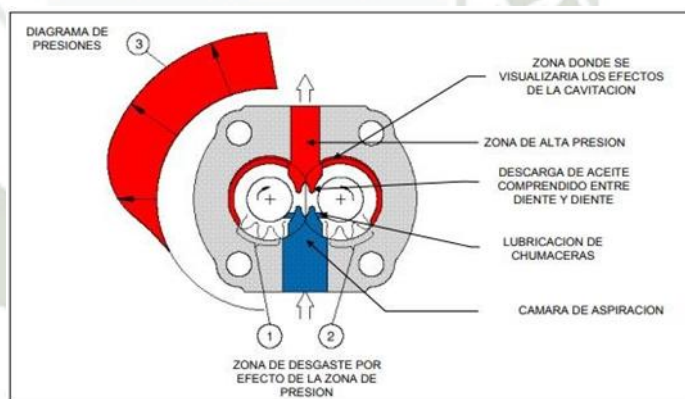


Nota. Flujo de bomba Oleo hidráulica. Reproducida del gráfico Bomba Oleo hidráulica, CC BY 2.0.

Fuente: Tecsup Arequipa (2007).

Figura II.37. Diagrama de Presión de Bomba Oleo hidráulica

Diagrama de Presión de Bomba Oleo hidráulica



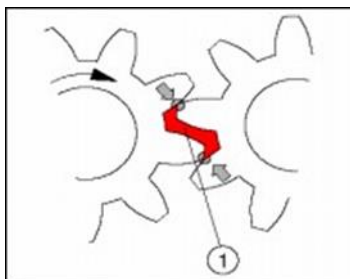
Nota. Diagrama de presión de bomba oleo hidráulica de la zona de desgaste por efecto de la zona de presión.

Reproducida del gráfico Diagrama de Presión de Bomba Oleo hidráulica, CC BY 2.0.

Fuente: Tecsup Arequipa (2007).

Figura II.38.

Esfuerzo en Piñones de Bomba

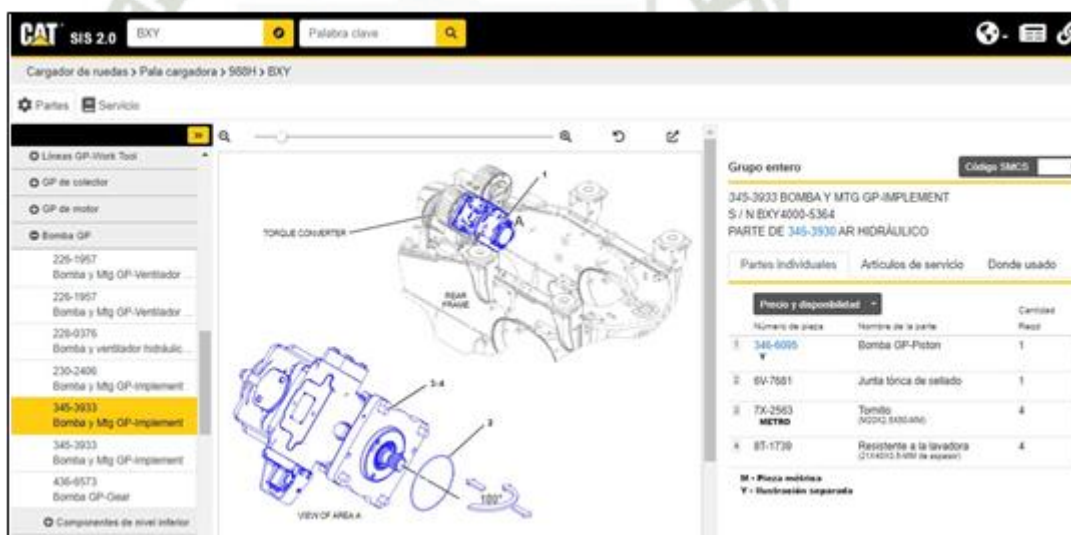


Nota. Esfuerzo en piñones de bomba por presión de aceite. Reproducida del gráfico Esfuerzo en Piñones de Bomba, CC BY 2.0.

Fuente: Tecsup Arequipa (2007).

Figura II.39. *Ubicación de Bomba Oleo hidráulica*

Ubicación de Bomba Oleo hidráulica



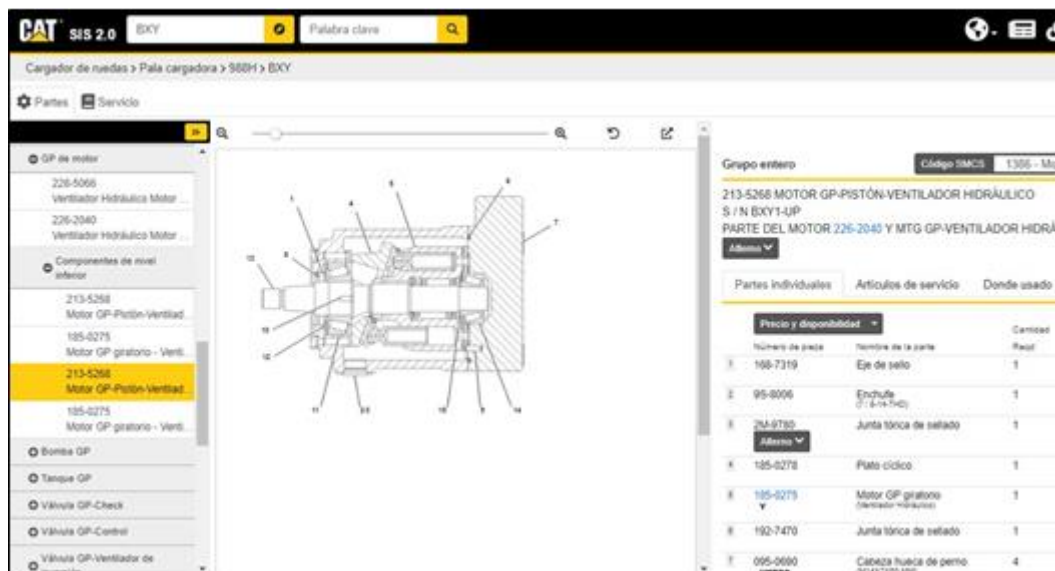
Nota. Ubicación en máquina de Bomba Oleo hidráulica. Reproducida del gráfico Ubicación de Bomba Oleo hidráulica, CC BY 2.0.

Fuente: Caterpillar & Caterpillar (2021).

2.6. Motor hidráulico de ventilador

Figura II.40.

Corte de Motor Oleo hidráulico



Nota. Corte de Motor Oleo hidráulico. Reproducida del gráfico Corte de Motor Oleo hidráulico, CC BY 2.0.

Fuente: Caterpillar & Caterpillar (2021).



CAPITULO III

TULO II. METODOLOGÍA

3. METODOLOGÍA

3.1. Definición de Variables

3.1.1. *Variable Independiente*

- Plan de mantenimiento basado en la metodología RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad)

3.1.2. *Variables dependientes*

- Ratio del Costo de Mantenimiento. (\$/Hr).
- Ratio de Confiabilidad (%).

3.2. Campo de Verificación

3.2.1. *Ubicación de Verificación*

Límite espacial: Cemento Yura S.A. en el Área de Mantenimiento

3.2.2. *Ubicación de Temporal*

Límite temporal: Desde el año 2019

3.2.3. *Población y Muestra*

Tamaño de la muestra

Escogemos el tipo de muestra no probabilística, seleccionamos los siguientes equipos:

Tabla III.1.

Lista de Equipos, Muestra de la Investigación

Cantidad	Código	Nombre del Activo	Función del Activo
4	EM-CFR- ^a	Cargador Frontal Caterpillar 988H	Cargar camiones para Chancadora
6	EM-CAM- ^b	Camión Minero caterpillar 772	Transporte de Materia Prima

Nota. Se tienen 10 equipos en el frente de carguío y transporte de materia prima

^a Código interno para cargadores frontales.

^b Código interno para camiones mineros.

Fuente: Elaboración propia



3.3. Matriz de consistencia

Tabla III.2.

Matriz de Consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA					
TITULO: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM (MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD) PARA EQUIPOS CRÍTICOS EN UNA CEMENTERA DEL SUR DEL PAÍS”					
FORMULACION DEL PROBLEMA	FORMULACION DEL OBJETIVO	FORMULACION DE HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	NIVEL DE INVESTIGACIÓN Descriptivo y correlacional, describiremos cualidades, pronosticamos un hecho o un dato que tiene poca información
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL			
¿Es posible reducir los costos de mantenimiento y aumentar la confiabilidad en los equipos críticos de una cementera del sur del país?	Diseñar e implementar un plan de mantenimiento basado en RCM para equipos críticos en una cementera del sur del país.	Un adecuado diseño e implementación del plan de mantenimiento basado en la metodología RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) disminuirá los costos y elevará la confiabilidad de los equipos críticos en una cementera del sur del país.	VARIABLE INDEPENDIENTE Plan de mantenimiento basado en la metodología RCM	Avance de las etapas programadas	DISEÑO DE INVESTIGACION “Experimental-Longitudinal”, debido a que se manipularán las variables independientes para analizar su efecto en las variables dependientes, estimulo resultado, y longitudinal porque se recolectarán datos en dos o más momentos.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPOTESIS ESPECÍFICA		Aumentar el porcentaje de Confiabilidad	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN Excel para los datos del monitoreo, SAP para el historial y costeo, herramientas de medición de comportamiento dinámico, laboratorio para monitorear el flujo lubricante y herramientas para monitorear la performance y las variables de operación de la máquina.
¿Cómo determinar la criticidad de equipos y sistemas?	Elaborar cuadro de criticidad de equipos pesados y sistemas		VARIABLE DEPENDIENTE Ratio del Costo de Mantenimiento. (\$/Hr) Ratio de Confiabilidad (%)		
¿Cómo implemento el plan de mantenimiento basado en RCM?	Diseñar plan de mantenimiento basado en RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad)			Reducción de costos de mantenimiento	

Fuente: Elaboración propia

MATRIZ DE CONSISTENCIA				
TÍTULO:	“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM (MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD) PARA EQUIPOS CRÍTICOS EN UNA CEMENTERA DEL SUR DEL PAÍS”			
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICA		
¿Cómo aumento la confiabilidad de mi plan?	Definir frecuencia de mantenimiento eficiente con Análisis Weibull			ESCENARIO Y MUESTRA Nuestro escenario experimental será de modo campo, el tipo cuasi-experimento MUESTRA Escogemos el tipo de muestra no probabilística
¿Cómo logro disminuir costos y aumentar la confiabilidad de los equipos críticos de una cementera del sur del país?	Implementar el plan de mantenimiento basado en RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad).			
				DELIMITACIÓN -Límite espacial: Cemento Yura S.A. en el Área de Mantenimiento. - Límite temporal: Desde el año 2021

Fuente: Elaboración propia

3.4. Técnica e Instrumento de Recolección de Datos

Tabla III.3.

Cuadro de Recolección de Datos

Elementos del plan: Boudon y Lazarsfeld Método de 4 pasos.	
¿Qué?	Fluctuación de variables
¿Cómo?	Registro de variables dependientes
¿Con qué?	- Plan de mantenimiento basado en RCM (Mantenimiento centrado en confiabilidad). - Historiales de costos y fallas.
1. Definición conceptual	VARIABLE INDEPENDIENTE - Plan de mantenimiento basado en la metodología RCM VARIABLES DEPENDIENTES - Ratio del Costo de Mantenimiento. (\$/Hr) - Ratio de Confiabilidad (%)
2. Identificación de las Dimensiones	- Ratio del Costo de Mantenimiento (\$/Hr) - Ratio de confiabilidad (%)
3. Elección de indicadores	Costo de Mantenimiento (\$/Hrs.): - Volquete 772 - Menor a 27 \$/Hr - Cargador 988H – Menor a 28 \$/Hr Confiabilidad (%): - Volquete 772 - Mayor a 58% - Cargador 988H – Mayor a 79%
4. Generación de los items	Costo de Mantenimiento (\$/Hrs.): - Volquete 772 - 26 \$/Hr - Cargador 988H - 27 \$/Hr Confiabilidad (%): - Volquete 772 - 82% - Cargador 988H – 90%

Fuente: Elaboración propia

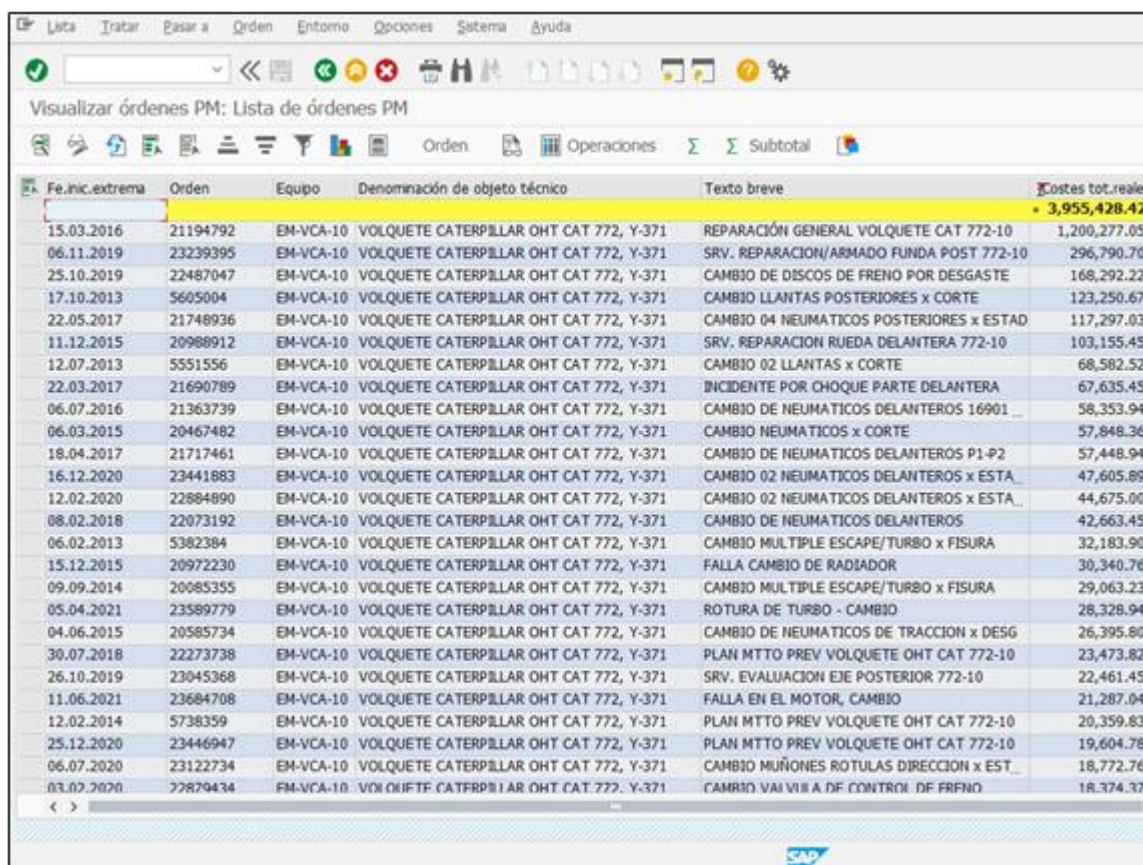
Figura III.1.

Historial SAP de Cargadores Frontales Caterpillar 988H

Visualizar órdenes PM: Lista de órdenes PM

Fe.inic.extrema	Orden	Equipo	Denominación de objeto técnico	Texto breve	Costes tot.reales
12.01.2016	20952841	EM-CFR-14	CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 988H, Y-367	REPARACIÓN GENERAL CARGADOR FRONTAL CF14	1,495,526.05
20.03.2014	5767448	EM-CFR-14	CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 988H, Y-367	CAMBIO DE 04 LLANTAS DELANTERAS/POST	233,366.50
13.06.2016	21337903	EM-CFR-14	CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 988H, Y-367	CAMBIO 04 NEUMATICOS DEL/POST 19606 HRS	201,888.94
22.01.2020	22872980	EM-CFR-14	CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 988H, Y-367	CAMBIO DE CILINDROS DE LEVANTE x FISURA	119,335.02
01.02.2014	5717804	EM-CFR-14	CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 988H, Y-367	REPARAC. TRANSMISION/CONVERTIDOR x FALLA	98,336.42
27.02.2016	21171617	EM-CFR-14	CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 988H, Y-367	SRV REPARACION TRANSMISION 988H-14	91,528.19
13.12.2019	23006396	EM-CFR-14	CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 988H, Y-367	FALLA BOMBA HID IMPLEMENTOS X DESGASASTE	83,004.34
23.05.2013	5495074	EM-CFR-14	CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 988H, Y-367	SRV EVALUA / REPARACION TRANSMISION GTIA	74,583.07
16.11.2020	23401804	EM-CFR-14	CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 988H, Y-367	FALLA CAMBIO 2 NEUMATICOS REENCAUC CFR14	52,759.44
30.05.2017	21773935	EM-CFR-14	CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 988H, Y-367	FUGA ACEITE ALOJAMIENTO PIN BOOM, REV.	50,626.17
26.06.2013	5517606	EM-CFR-14	CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 988H, Y-367	PLAN MTTO PREV CARGADOR CAT 988H CFR-14	37,238.30
29.01.2021	23495933	EM-CFR-14	CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 988H, Y-367	REPARACIÓN OVERHAUL CCR CARGADOR 988H-14	35,993.89
22.08.2019	22757814	EM-CFR-14	CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 988H, Y-367	FALLA ROTURA DE EJE DE TURBOCOMPRESOR	35,127.27
23.01.2015	20359691	EM-CFR-14	CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 988H, Y-367	SRV. INST SISTEMA PESAJE BALANZA 988H-14	34,015.03
01.09.2014	20075591	EM-CFR-14	CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 988H, Y-367	CAMBIO DE TURBOCOMPRESOR x FALLA 13704 H	32,799.87
20.01.2014	5691265	EM-CFR-14	CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 988H, Y-367	REPARACION DE CUCHARON	31,454.14
24.12.2018	22485646	EM-CFR-14	CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 988H, Y-367	REPARACION ARTICULACION CENTRAL 988H-14	26,085.54
01.07.2016	21359946	EM-CFR-14	CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 988H, Y-367	REPARACIÓN DE CUCHARÓN	24,369.89
13.08.2015	20775775	EM-CFR-14	CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 988H, Y-367	CAMBIO DE UÑAS Y SEGMENTOS x DESGASTE	23,609.46
17.01.2013	5354292	EM-CFR-14	CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 988H, Y-367	PLAN MTTO PREV CARGADOR CAT 988H CFR-14	22,198.36
31.07.2014	20003972	EM-CFR-14	CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 988H, Y-367	PLAN MTTO PREV CARGADOR CAT 988H CFR-14	21,793.06
05.02.2017	21642968	EM-CFR-14	CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 988H, Y-367	SRV. EVALUACION AFA DE MOTOR C18 CFR-14	21,483.00
12.01.2017	21605010	EM-CFR-14	CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 988H, Y-367	CAMBIO DE UÑAS/SEGMENTOS DE CUCHARON	21,196.93
03.09.2015	20831725	EM-CFR-14	CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 988H, Y-367	PLAN MTTO PREV CARGADOR CAT 988H CFR-14	21,056.66
11.07.2019	22766610	EM-CFR-14	CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 988H, Y-367	INTERCAMBIO DE MOTOR POR EXCESO DE COBRE	20,519.05
04.12.2020	23415395	FM-CFR-14	CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 988H, Y-367	PLAN MTTO PREV CARGADOR CAT 988H CFR-14	19,851.10

Fuente: Elaboración propia

Figura III.2.
Historial SAP de Volquetes Mineros Caterpillar 772


Fe.inic_extrema	Orden	Equipo	Denominación de objeto técnico	Texto breve	Costes tot. reales
					3,955,428.42
15.03.2016	21194792	EM-VCA-10	VOLQUETE CATERPILLAR OHT CAT 772, Y-371	REPARACIÓN GENERAL VOLQUETE CAT 772-10	1,200,277.05
06.11.2019	23239395	EM-VCA-10	VOLQUETE CATERPILLAR OHT CAT 772, Y-371	SRV. REPARACION/ARMADO FUNDA POST 772-10	296,790.70
25.10.2019	22487047	EM-VCA-10	VOLQUETE CATERPILLAR OHT CAT 772, Y-371	CAMBIO DE DISCOS DE FRENO POR DESGASTE	168,292.22
17.10.2013	5605004	EM-VCA-10	VOLQUETE CATERPILLAR OHT CAT 772, Y-371	CAMBIO LLANTAS POSTERIORES x CORTE	123,250.67
22.05.2017	21748936	EM-VCA-10	VOLQUETE CATERPILLAR OHT CAT 772, Y-371	CAMBIO 04 NEUMATICOS POSTERIORES x ESTAD	117,297.03
11.12.2015	20988912	EM-VCA-10	VOLQUETE CATERPILLAR OHT CAT 772, Y-371	SRV. REPARACION RUEDA DELANTERA 772-10	103,155.45
12.07.2013	5551556	EM-VCA-10	VOLQUETE CATERPILLAR OHT CAT 772, Y-371	CAMBIO 02 LLANTAS x CORTE	68,582.52
22.03.2017	21690789	EM-VCA-10	VOLQUETE CATERPILLAR OHT CAT 772, Y-371	INCIDENTE POR CHOQUE PARTE DELANTERA	67,635.45
06.07.2016	21363739	EM-VCA-10	VOLQUETE CATERPILLAR OHT CAT 772, Y-371	CAMBIO DE NEUMATICOS DELANTEROS 16901	58,353.94
06.03.2015	20467482	EM-VCA-10	VOLQUETE CATERPILLAR OHT CAT 772, Y-371	CAMBIO NEUMATICOS x CORTE	57,848.36
18.04.2017	21717461	EM-VCA-10	VOLQUETE CATERPILLAR OHT CAT 772, Y-371	CAMBIO DE NEUMATICOS DELANTEROS P1-P2	57,448.94
16.12.2020	23441883	EM-VCA-10	VOLQUETE CATERPILLAR OHT CAT 772, Y-371	CAMBIO 02 NEUMATICOS DELANTEROS x ESTA	47,605.89
12.02.2020	22884890	EM-VCA-10	VOLQUETE CATERPILLAR OHT CAT 772, Y-371	CAMBIO 02 NEUMATICOS DELANTEROS x ESTA	44,675.00
08.02.2018	22073192	EM-VCA-10	VOLQUETE CATERPILLAR OHT CAT 772, Y-371	CAMBIO DE NEUMATICOS DELANTEROS	42,663.45
06.02.2013	5382384	EM-VCA-10	VOLQUETE CATERPILLAR OHT CAT 772, Y-371	CAMBIO MULTIPLE ESCAPE/TURBO x FISURA	32,183.90
15.12.2015	20972230	EM-VCA-10	VOLQUETE CATERPILLAR OHT CAT 772, Y-371	FALLA CAMBIO DE RADIADOR	30,340.76
09.09.2014	20085355	EM-VCA-10	VOLQUETE CATERPILLAR OHT CAT 772, Y-371	CAMBIO MULTIPLE ESCAPE/TURBO x FISURA	29,063.23
05.04.2021	23589779	EM-VCA-10	VOLQUETE CATERPILLAR OHT CAT 772, Y-371	ROTURA DE TURBO - CAMBIO	28,328.94
04.06.2015	20585734	EM-VCA-10	VOLQUETE CATERPILLAR OHT CAT 772, Y-371	CAMBIO DE NEUMATICOS DE TRACCION x DESG	26,395.80
30.07.2018	22273738	EM-VCA-10	VOLQUETE CATERPILLAR OHT CAT 772, Y-371	PLAN MTTO PREV VOLQUETE OHT CAT 772-10	23,473.82
26.10.2019	23045368	EM-VCA-10	VOLQUETE CATERPILLAR OHT CAT 772, Y-371	SRV. EVALUACION EJE POSTERIOR 772-10	22,461.45
11.06.2021	23684708	EM-VCA-10	VOLQUETE CATERPILLAR OHT CAT 772, Y-371	FALLA EN EL MOTOR, CAMBIO	21,287.04
12.02.2014	5738359	EM-VCA-10	VOLQUETE CATERPILLAR OHT CAT 772, Y-371	PLAN MTTO PREV VOLQUETE OHT CAT 772-10	20,359.83
25.12.2020	23446947	EM-VCA-10	VOLQUETE CATERPILLAR OHT CAT 772, Y-371	PLAN MTTO PREV VOLQUETE OHT CAT 772-10	19,604.78
06.07.2020	23122734	EM-VCA-10	VOLQUETE CATERPILLAR OHT CAT 772, Y-371	CAMBIO MUÑONES ROTULAS DIRECCION x EST	18,772.76
03.07.2020	22879434	EM-VCA-10	VOLQUETE CATERPILLAR OHT CAT 772, Y-371	CAMBIO VALVULA DE CONTROL DE FRENO	18,374.37

Fuente: Elaboración propia

3.5. Instrumentos de Medición

Excel para los datos del monitoreo, SAP para el historial y costeo, herramientas de medición de comportamiento dinámico, laboratorio para monitorear el flujo lubricante y herramientas para monitorear la performance y las variables de operación de la máquina.

3.6. Técnica de Procesamiento y Análisis de Datos

Para procesar toda la información recopilada se ha usado Microsoft Excel. La información se recopila del sistema SAP.



CAPITULO IV

CRITICIDAD DE EQUIPO PESADO

4. CRITICIDAD DE EQUIPO PESADO

4.1. Generalidades:

En el capítulo de estudio determinaremos:

- Criticidad de equipos.
- Criticidad de Sistemas de equipos críticos.
- Taxonomía de equipos.

4.2. Objetivo:

El estudio tiene por finalidad determinar la criticidad de equipos pesados y sus respectivos sistemas críticos en base a la NORMA UNE 20654-4 de Análisis de Criticidad de Activos.

4.3. Cuadro de Equipos Críticos

En el siguiente cuadro se observa la matriz de criticidad en base al riesgo, la cual definirá los equipos críticos de la flota.

Tabla IV.1.

Matriz de Criticidad en Base al Riesgo

Matriz de criticidad		Peso	VALORACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO				
			Muy Bajo = 1	Bajo = 3	Medio = 5	Alto=7	Muy Alto =9
Criterios	Frecuencia de Falla	1	>=1 año	de 3 meses a 1 año	de 15 días a 3 meses	de 1 a 2 semanas	1 día
	Impacto en producción (por falla)	0.3	1 hora	6 horas	12 horas	1 día	<= a 3 días
	Costo de reparación	0.1	Gastos Irrelevante < 1 K\$	Gastos Bajo 1 K\$-10K\$	Gastos Razonable 10 K\$-50K\$	Gastos Importantes 50 K\$-100K\$	Gastos Altos 100K\$
	Impacto en la seguridad	0.3	No existe riesgo para las personas	Puede producir daños leves, que desaparecen con el tratamiento	Puede producir daños graves, que desaparecen con el tratamiento	Puede producir daños muy graves, que dejan secuela despues de un tratamiento	Riesgo de muerte inminente
	Impacto ambiental y comunidades	0.3	No provocan ningun daño	Producen daños medio ambientales reversibles	Producen daños medio ambientales cuyos efectos no violan las normativas	Provoca daños medio ambientales irreversibles dentro de la mina	Provoca daños medio ambientales irreversibles fuera de la mina

Nota. NORMA UNE 20654-4 - Análisis de Criticidad de Activos (NORMA UNE 20654-4 - Análisis de Criticidad de Acti, 2002)

Fuente: Elaboración propia

Tabla IV.2.

Resultado de Matriz de Criticidad de Equipos Pesados

Item	TIPO	AREA	NOMBRE DEL ÁREA	TAG NUMBER	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	CANTIDAD DE EQUIPO	CRITERIOS DE CRITICIDAD					CRITICIDAD DE EQUIPO	CRITICIDAD
							Frecuencia de Falla	Impacto en producción (por falla)	Costo de reparación	Impacto en la seguridad	Impacto ambiental y comunidades		
							1	0.3	0.1	0.3	0.3		
1	CFR	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-CFR-1	CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 988H	1	7	7	5	5	3	35	A
2	CFR	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-CFR-2	CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 988H	1	5	9	9	9	1	33	A
3	CFR	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-CFR-3	CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 988H	1	7	7	5	5	3	35	A
4	CFR	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-CFR-4	CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 988H	1	7	7	5	5	3	35	A
5	CAM	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-CAM-1	CAMIÓN OHT CATERPILLAR 772	1	7	7	5	5	3	35	A
6	CAM	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-CAM-2	CAMIÓN OHT CATERPILLAR 772	1	7	7	5	5	3	35	A
7	CAM	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-CAM-3	CAMIÓN OHT CATERPILLAR 772	1	7	7	5	5	3	35	A
8	CAM	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-CAM-4	CAMIÓN OHT CATERPILLAR 772	1	7	7	5	5	3	35	A
9	CAM	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-CAM-5	CAMIÓN OHT CATERPILLAR 772	1	7	7	5	5	3	35	A
10	CAM	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-CAM-6	CAMIÓN OHT CATERPILLAR 772	1	7	7	5	5	3	35	A
11	CAM	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-CAM-7	CAMIÓN OHT KOMATSU HD 465	1	3	9	9	7	1	18	B
12	CAM	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-CAM-8	CAMIÓN OHT KOMATSU HD 465	1	5	5	5	3	1	16	B
13	CAM	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-CAM-9	CAMIÓN OHT KOMATSU HD 465	1	3	5	7	9	1	16	B
14	CAM	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-CAM-10	CAMIÓN OHT KOMATSU HD 465	1	3	9	9	7	1	18	B
15	CAM	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-CAM-11	CAMIÓN OHT KOMATSU HD 465	1	5	5	5	3	1	16	B
16	CAM	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-CAM-12	CAMIÓN OHT KOMATSU HD 465	1	3	5	7	9	1	16	B
17	PER	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-PER-1	PERFORADORA ATLAS COPCO ROC L8-30	1	3	5	1	3	1	8	C
18	PER	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-PER-2	PERFORADORA ATLAS COPCO ROC L8-30	1	3	5	1	3	1	8	C
19	PER	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-PER-3	PERFORADORA FURUKAWA DCR20	1	1	9	9	9	1	7	C
20	TRA	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-TRA-1	TRACTOR ORUGA CATERPILLAR D8T	1	1	5	5	9	1	5	C
21	TRA	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-TRA-2	TRACTOR ORUGA CATERPILLAR D8T	1	1	5	9	5	1	4	C
22	EXC	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-EXC-1	EXCAVADORA KOMATSU PC600	1	1	3	3	7	3	4	C
23	EXC	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-EXC-2	EXCAVADORA KOMATSU PC600	1	1	5	5	5	1	4	C
24	EXC	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-EXC-3	EXCAVADORA KOMATSU PC600	1	1	3	5	3	1	3	C
25	MTN	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-MTN-1	MOTONIVELADORA CATERPILLAR 140K	1	1	3	5	3	1	3	C
26	MTN	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-MNT-2	MOTONIVELADORA CATERPILLAR 140K	1	1	3	5	3	1	3	C

Fuente: Elaboración propia

4.3.1. Población y muestra por criticidad de flota

En el siguiente cuadro se muestra la población de estudio que es la totalidad de equipos críticos de la operación carguío y desbroce de material de una cementera del sur del país.

Tabla IV.3.

Población y Muestra por Criticidad de Flota

Item	TIPO	AREA	NOMBRE DEL ÁREA	TAG NUMBER	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO
1	CFR	EM	Equipo móvil	EM-CFR-1	Cargador frontal Caterpillar 988H
2	CFR	EM	Equipo móvil	EM-CFR-2	Cargador frontal Caterpillar 988H
3	CFR	EM	Equipo móvil	EM-CFR-3	Cargador frontal Caterpillar 988H
4	CFR	EM	Equipo móvil	EM-CFR-4	Cargador frontal Caterpillar 988H
5	CAM	EM	Equipo móvil	EM-CAM-1	Camión OHT Caterpillar 772
6	CAM	EM	Equipo móvil	EM-CAM-2	Camión OHT Caterpillar 772
7	CAM	EM	Equipo móvil	EM-CAM-3	Camión OHT Caterpillar 772
8	CAM	EM	Equipo móvil	EM-CAM-4	Camión OHT Caterpillar 772
9	CAM	EM	Equipo móvil	EM-CAM-5	Camión OHT Caterpillar 772
10	CAM	EM	Equipo móvil	EM-CAM-6	Camión OHT Caterpillar 772

Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Plan de criticidad de Equipos y sistemas

La criticidad de flota determina los equipos que deben evaluarse para determinar si se aplica la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, en la tabla siguiente se presenta el cuadro resultado de esta etapa.

Los equipos con criticidad media y baja se les debe aplicar un plan de mantenimiento basado en los manuales de mantenimiento que proporciona el fabricante o marcas de clase mundial (benchmarking).

Los equipos con criticidad alta se le debe aplicar la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, también se le conoce por su abreviación “RCM”.

Tabla IV.4.
Plan de Criticidad de Equipos

EQUIPOS DE CRITICIDAD BAJA	EQUIPOS DE CRITICIDAD MEDIA	EQUIPOS DE CRITICIDAD ALTA
C 	B 	A 
EM-PER-1	EM-CAM-7	EM-CFR-1
EM-PER-2	EM-CAM-8	EM-CFR-2
EM-PER-3	EM-CAM-9	EM-CFR-3
EM-TRA-1	EM-CAM-10	EM-CFR-4
EM-TRA-2	EM-CAM-11	EM-CAM-1
EM-EXC-1	EM-CAM-12	EM-CAM-2
EM-EXC-2		EM-CAM-3
EM-EXC-3		EM-CAM-4
EM-MTN-1		EM-CAM-5
EM-MNT-2		EM-CAM-6
		
MANUALES DEL FABRICANTE Y BENCHMARKING		RCM

Fuente: Elaboración propia

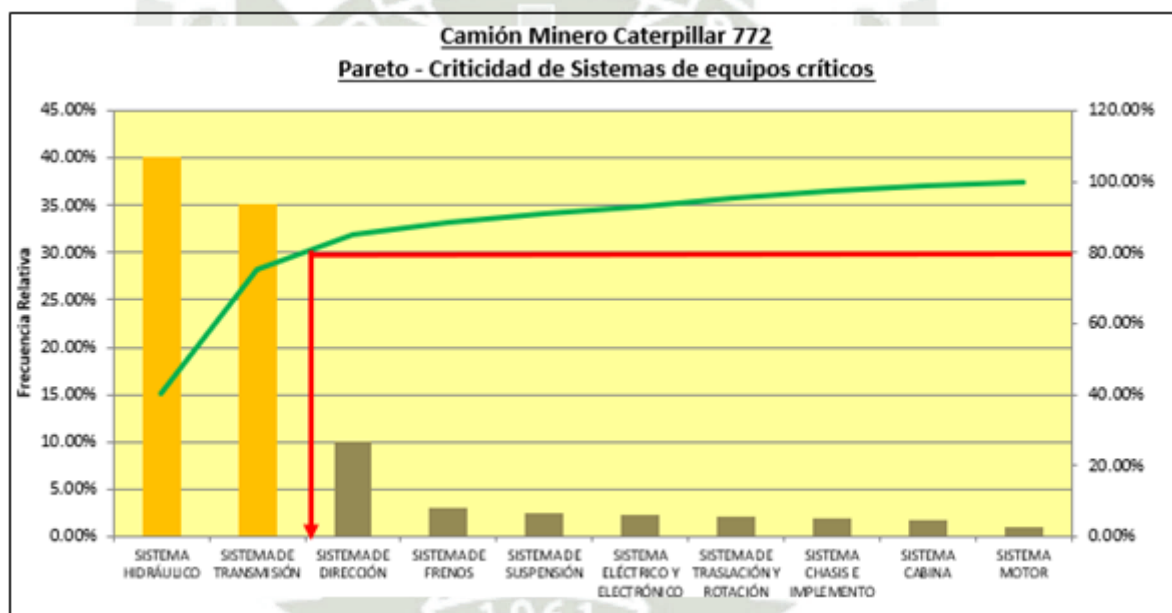
4.3.3. Criticidad de Sistemas de equipos críticos – Camión Minero Caterpillar 772

La criticidad de los sistemas del camión minero de marca Caterpillar modelo 772 en el contexto operacional de una cementera del sur del país es el sistema hidráulico y el sistema de transmisión.

En la siguiente gráfica se presenta el resumen del Pareto de la criticidad del sistema de los equipos críticos determinados en el presente estudio.

Figura IV.1.

Pareto de Criticidad de Sistemas del Camión Cat 772



Fuente: Elaboración propia

La criticidad focalizada determina los sistemas que deben evaluarse para determinar si se aplica la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, en la tabla siguiente se presenta el cuadro resultado de esta etapa.

Los sistemas con criticidad media y baja se les debe aplicar un plan de mantenimiento basado en los manuales de mantenimiento que proporciona el fabricante o marcas de clase mundial (benchmarking).

Los sistemas con criticidad alta se le debe aplicar la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, también se le conoce por su abreviación “RCM”.

Tabla IV.5.

Tabla de Criticidad de Sistemas de Equipos Críticos – Camión Minero Caterpillar 772

CRITICIDAD DE SISTEMAS POCOS VITALES	— —	CRITICIDAD DE SISTEMAS MUCHOS TRIVIALES
20%  SISTEMA HIDRÁULICO SISTEMA DE TRANSMISIÓN 		80%  SISTEMA DE DIRECCIÓN SISTEMA DE FRENOS SISTEMA DE SUSPENSIÓN SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO SISTEMA DE TRASLACIÓN Y ROTACIÓN SISTEMA CHASIS E IMPLEMENTO SISTEMA CABINA SISTEMA MOTOR 
APLICAR RCM		NO APLICAR RCM

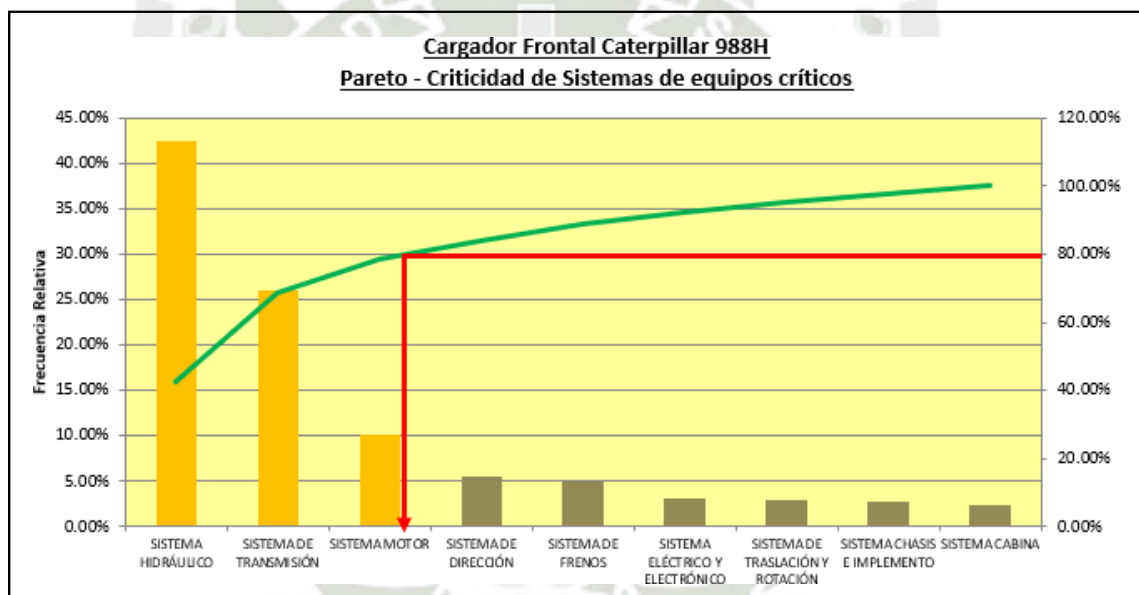
Fuente: Elaboración propia

4.3.4. Criticidad de Sistemas de equipos críticos – Cargador Frontal Caterpillar 988H

La criticidad de los sistemas del cargador frontal de marca Caterpillar modelo 988H en el contexto operacional de una cementera del sur del país es el sistema hidráulico, el sistema de transmisión y el sistema motor.

En la siguiente gráfica se presenta el resumen del Pareto de la criticidad del sistema de los equipos críticos determinados en el presente estudio.

Figura IV.2. Pareto de Criticidad de Sistemas del Cargador Frontal Cat 988H



Fuente: Elaboración propia

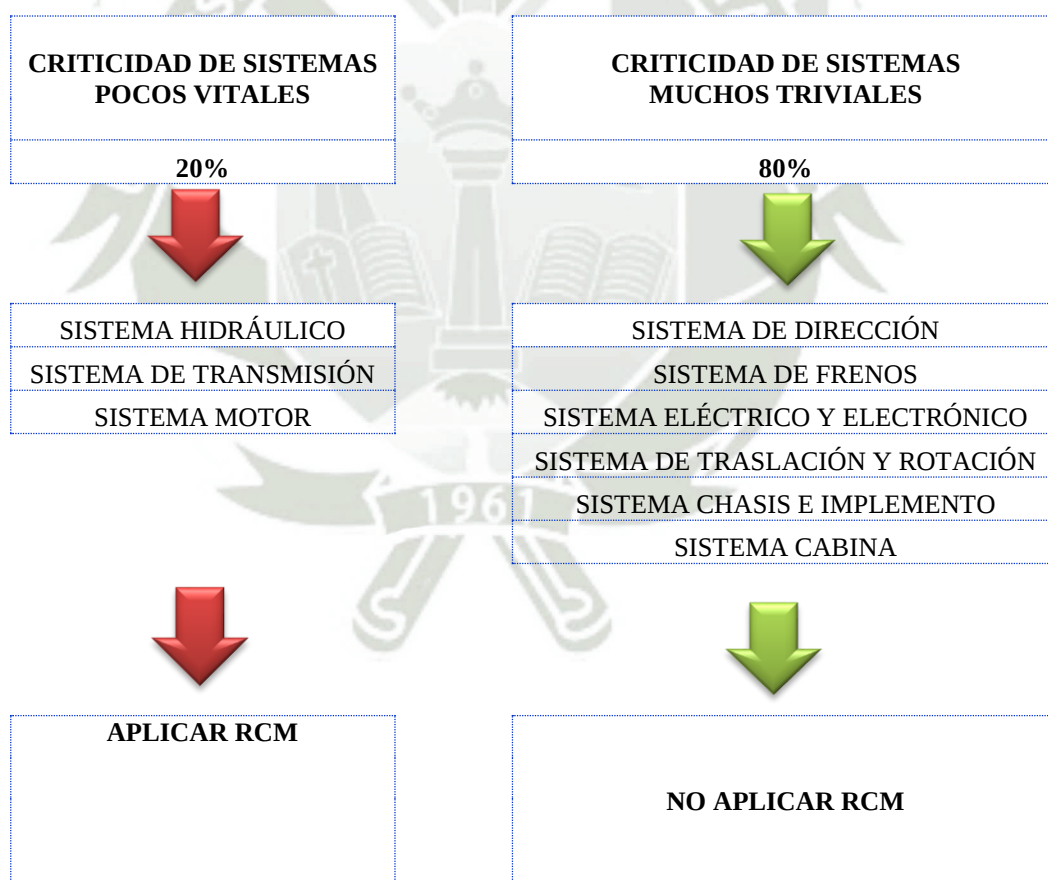
La criticidad focalizada determina los sistemas que deben evaluarse para determinar si se aplica la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, en la tabla siguiente se presenta el cuadro resultado de esta etapa.

Los sistemas con criticidad media y baja se les debe aplicar un plan de mantenimiento basado en los manuales de mantenimiento que proporciona el fabricante o marcas de clase mundial (benchmarking).

Los sistemas con criticidad alta se le debe aplicar la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, también se le conoce por su abreviación “RCM”.

Tabla IV.6. *Tabla de Criticidad de Sistemas de equipos críticos – Cargador Frontal*

Tabla de Criticidad de Sistemas de equipos críticos – Cargador Frontal Caterpillar 988H



Fuente: Elaboración propia

4.3.5. Ubicación Técnica de Equipos - Flota

La flota de equipos considerados para el presente estudio pertenece al control de mantenimiento del área de equipo móvil.

Tabla IV.7.

Ubicación Técnica de Equipos

Item	TIPO	AREA	ÁREA	UBICACIÓN TÉCNICA
1	CFR	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-CFR-1
2	CFR	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-CFR-2
3	CFR	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-CFR-3
4	CFR	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-CFR-4
5	CAM	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-CAM-1
6	CAM	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-CAM-2
7	CAM	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-CAM-3
8	CAM	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-CAM-4
9	CAM	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-CAM-5
10	CAM	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-CAM-6
11	CAM	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-CAM-7
12	CAM	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-CAM-8
13	CAM	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-CAM-9
14	CAM	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-CAM-10
15	CAM	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-CAM-11
16	CAM	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-CAM-12
17	PER	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-PER-1
18	PER	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-PER-2
19	PER	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-PER-3
20	TRA	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-TRA-1
21	TRA	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-TRA-2
22	EXC	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-EXC-1
23	EXC	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-EXC-2
24	EXC	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-EXC-3
25	MTN	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-MTN-1
26	MTN	EM	EQUIPO MÓVIL	EM-MNT-2

Fuente: Elaboración propia

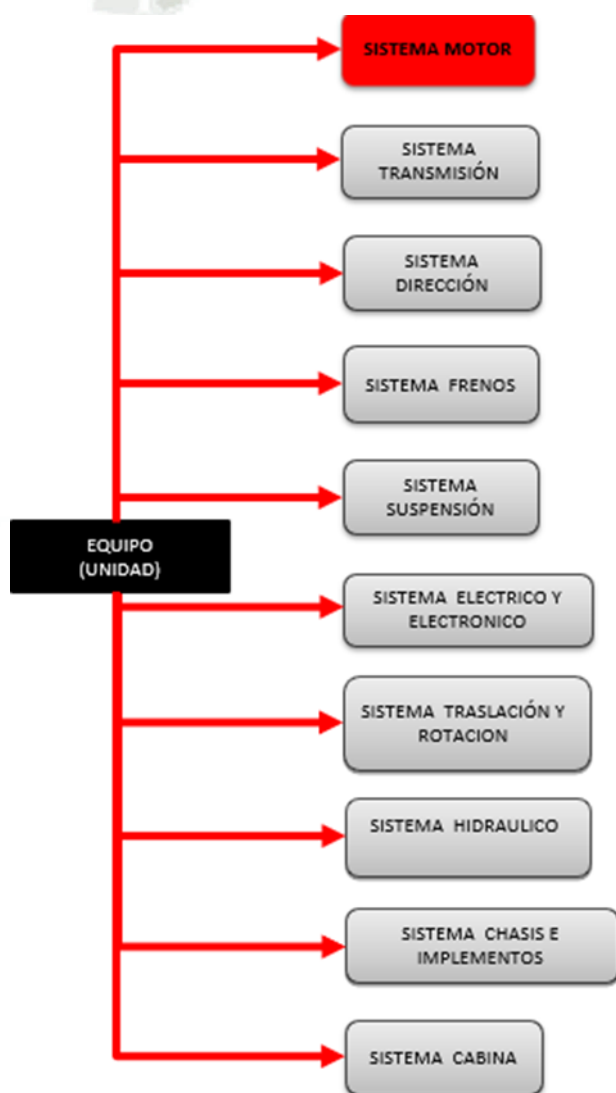
4.3.6. Taxonomía de Equipos

Los equipos se dividen en sistemas.

En la siguiente figura se muestra la distribución de sistemas realizada para el presente estudio de investigación.

Figura IV.3.

Taxonomía de Sistemas



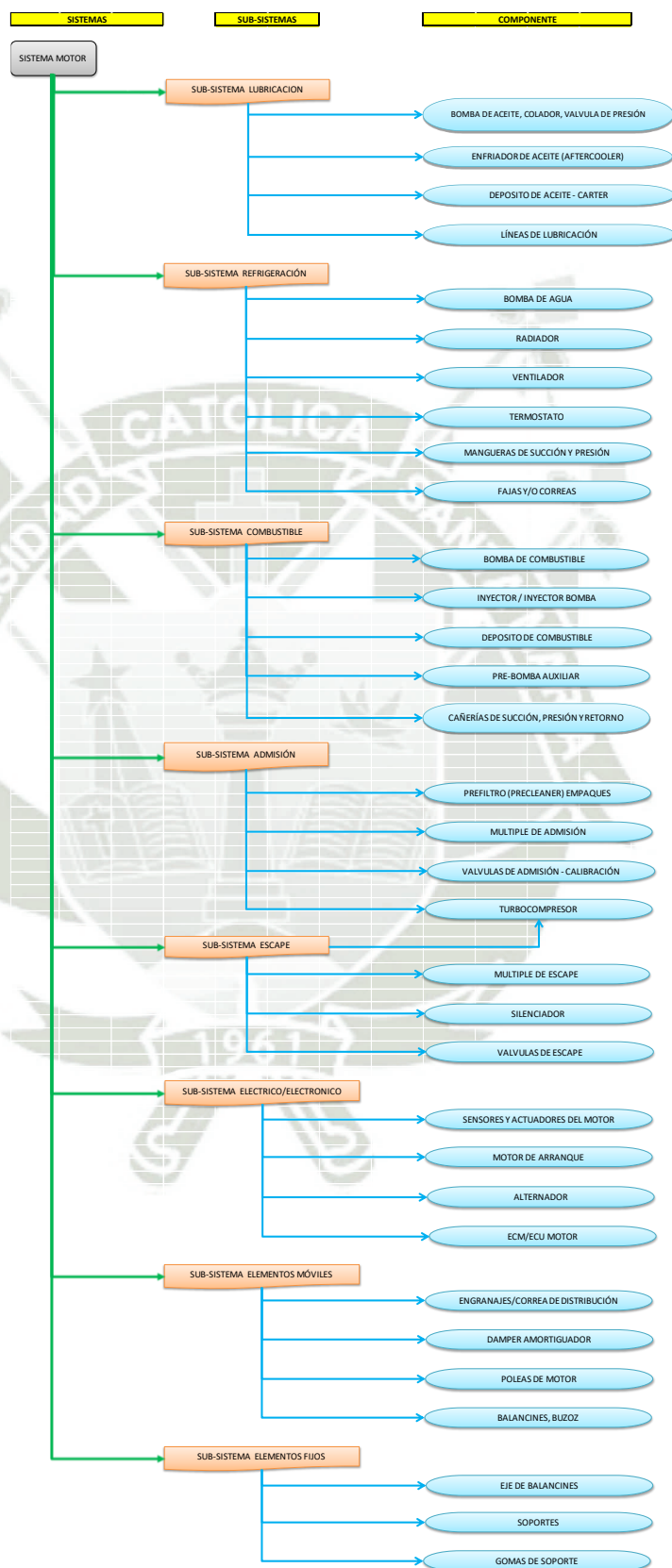
Fuente: Elaboración propia

El sistema motor se divide en subsistemas y componentes.

En la siguiente figura se muestra la distribución del sistema motor con sus respectivos subsistemas y componentes realizada para el presente estudio de investigación.

Figura IV.4.

Taxonomía de Motor - Sistemas, Sub sistemas y Componentes

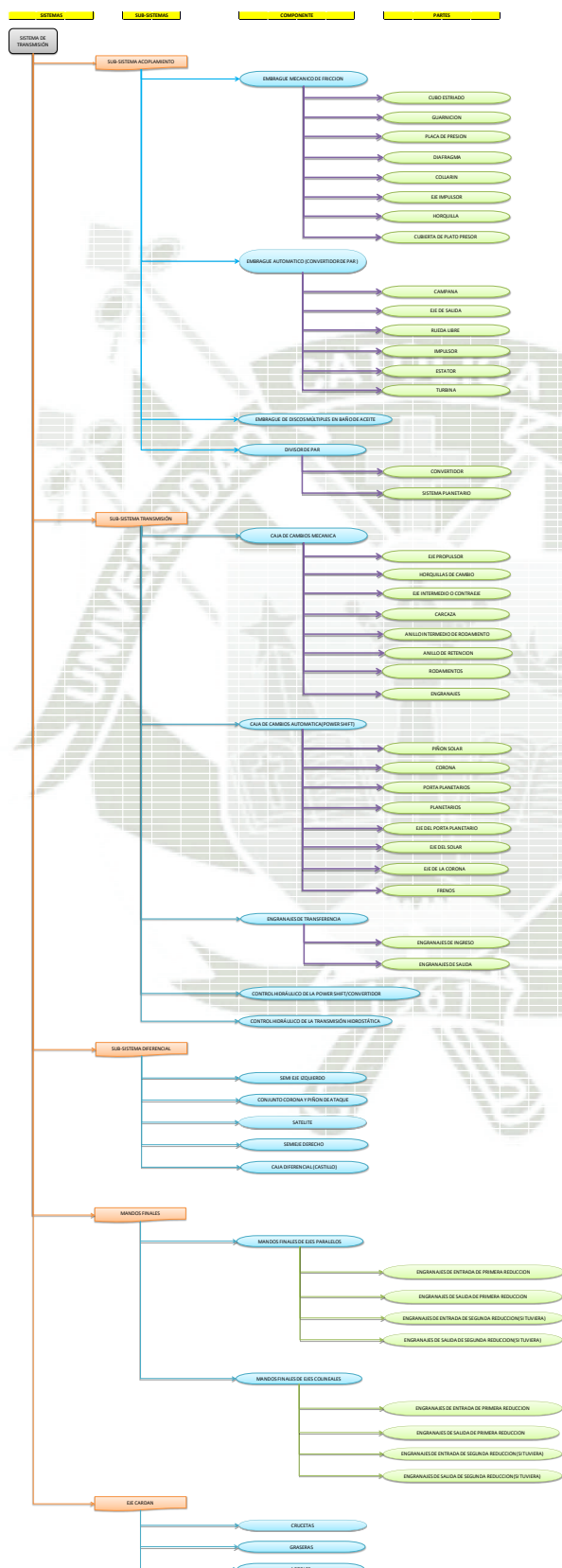


Fuente: Elaboración propia.

El sistema transmisión se divide en subsistemas y componentes.

Figura IV.5.

Taxonomía de Transmisión - Sistemas, Sub Sistemas, Componentes y Partes



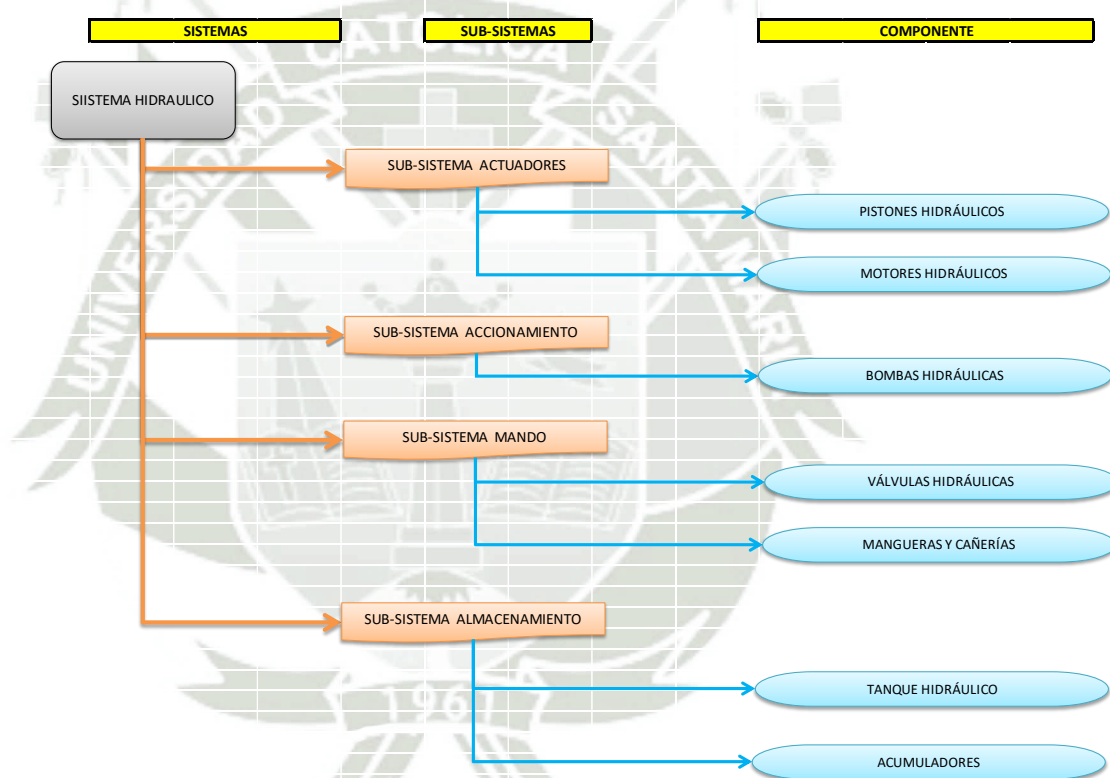
Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior se muestra la distribución del sistema de transmisión con sus respectivos subsistemas y componentes realizada para el presente estudio de investigación.

El sistema hidráulico se divide en subsistemas y componentes.

En la siguiente figura se muestra la distribución del sistema hidráulico con sus respectivos subsistemas y componentes realizada para el presente estudio de investigación.

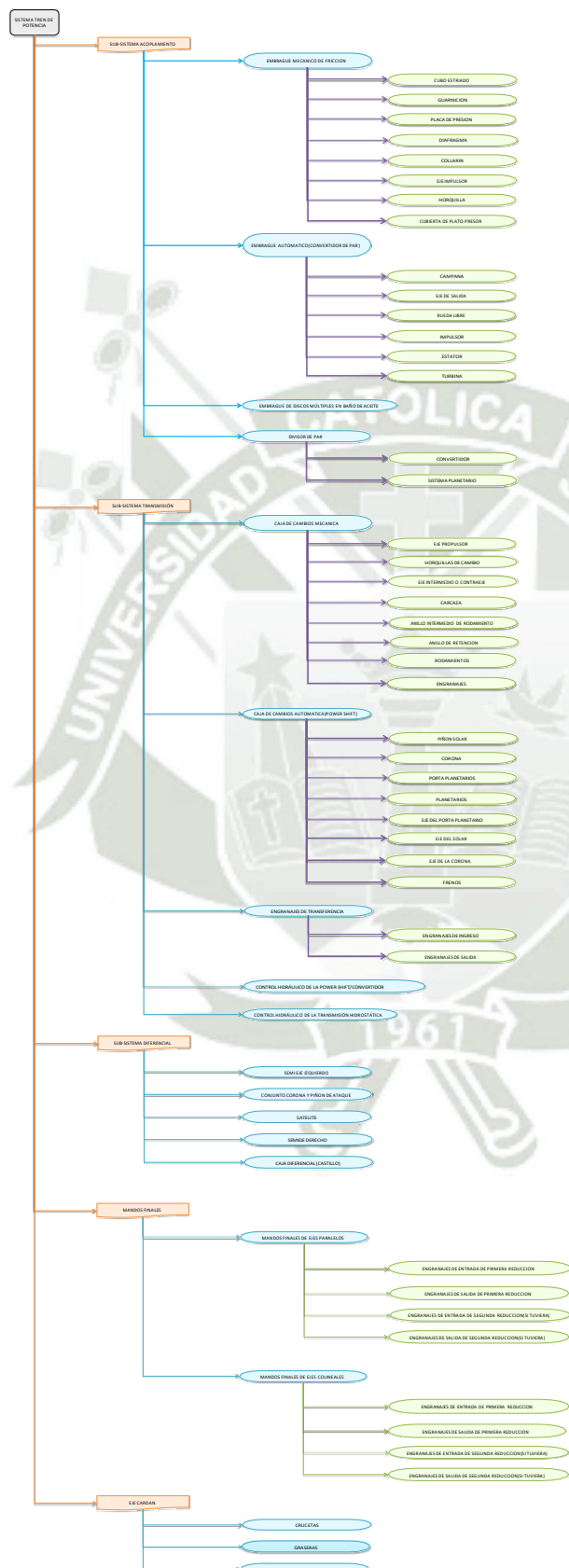
Figura IV.6. *Taxonomía del Sistema Hidráulico - Sistemas, Sub Sistemas y Componentes*



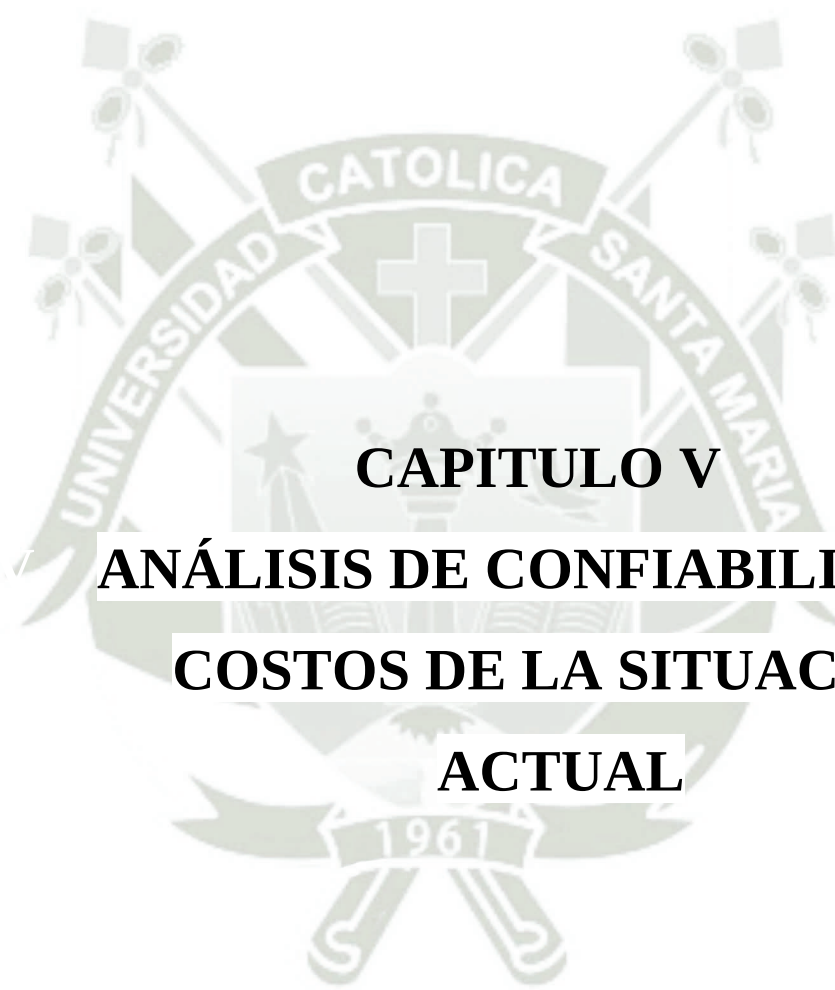
Fuente: Elaboración propia

Figura IV.7.

General - Taxonomía de Sistemas, Subsistemas, Componentes y Partes



Fuente: Elaboración propia.



CAPITULO V

ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD Y COSTOS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

5. ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD Y COSTOS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

5.1. Generalidades – Confiabilidad de la situación Actual

Determinar la confiabilidad actual de los Cargadores Frontales Caterpillar 988H y Camiones Mineros Caterpillar 772

5.2. Análisis de Confiabilidad de Camión Minero Caterpillar 772 con metodología Weibull

El análisis de confiabilidad actual de los camiones mineros Caterpillar modelo 772 se determina con el logaritmo de Weibull.

Tabla V.1. Cálculo de Confiabilidad de Situación Actual – Volquete Caterpillar

Cálculo de Confiabilidad de Situación Actual – Volquete Caterpillar 772

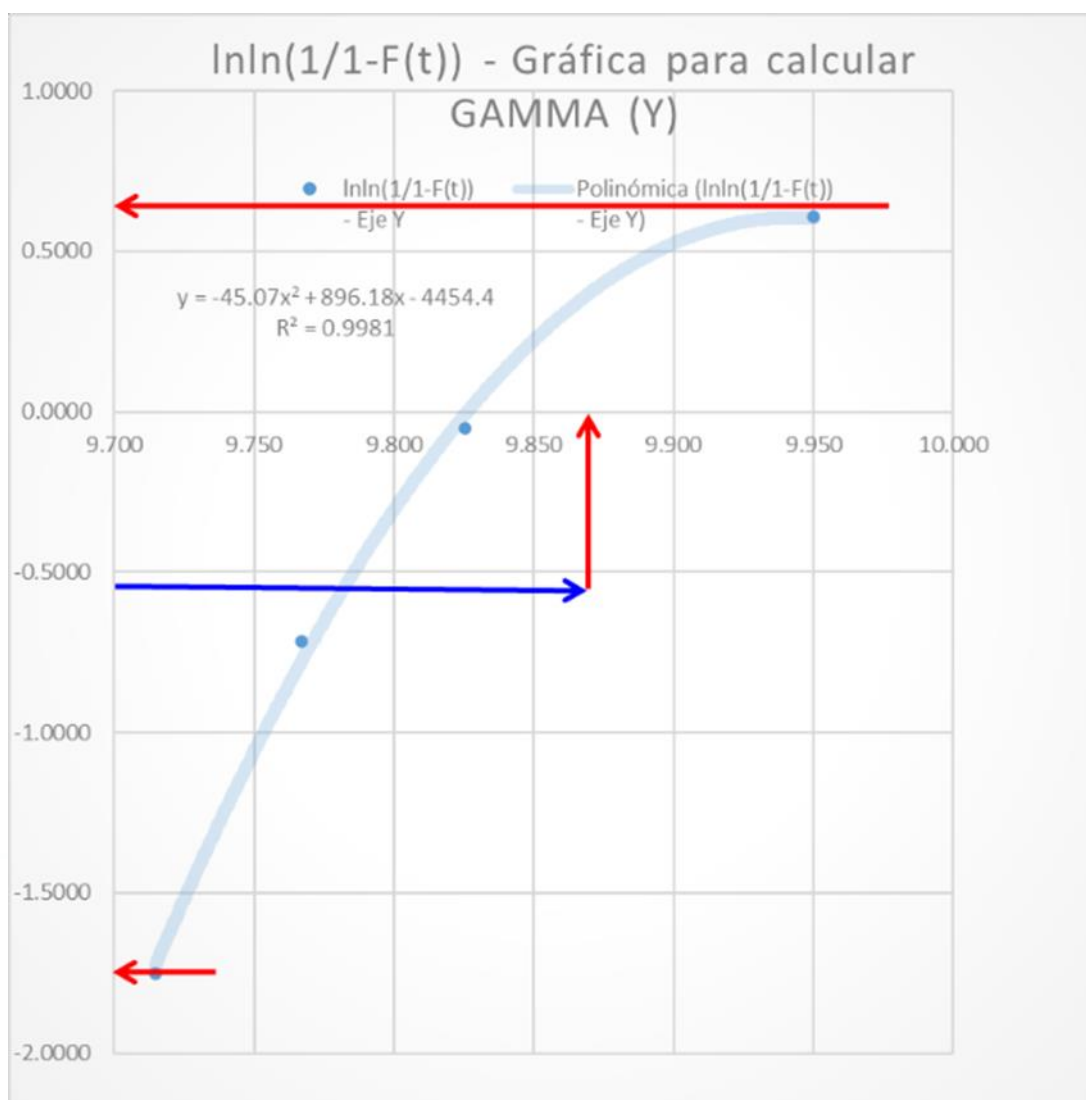
i	TBF(horas) - OVER HAUL	F(t) Estimación de Bernard	ln(t) - Eje X	lnln(1/1-F(t)) - Eje Y	TBF con (Gamma Y)	ln(t-GAMMA) - Eje X	lnln(1/1-F(t)) - Eje Y
1	16557	15.9%	9.715	-1.7529	16557.00	9.715	-1.753
2	17450	38.6%	9.767	-0.7167	17450.00	9.767	-0.717
3	18497	61.4%	9.825	-0.0503	18497.00	9.825	-0.050
4	20948	84.1%	9.950	0.6088	20948.00	9.950	0.609

Nota. Fuente de formulas (B. Abernethy , 1951)

Fuente: Elaboración propia

Figura V.1.

Gráfica de Confiabilidad – Gamma – Camión Caterpillar 772



Fuente: Elaboración propia

El rango de confiabilidad para los camiones Caterpillar modelo 772 se determina de acuerdo con el contexto operacional de la cementera del sur del país en la cual se realiza la presente investigación, el rango de tiempo es de 18000 horas de operación con una confiabilidad del 58.71%.

Tabla V.2.

Confiabilidad Actual del Camión 772

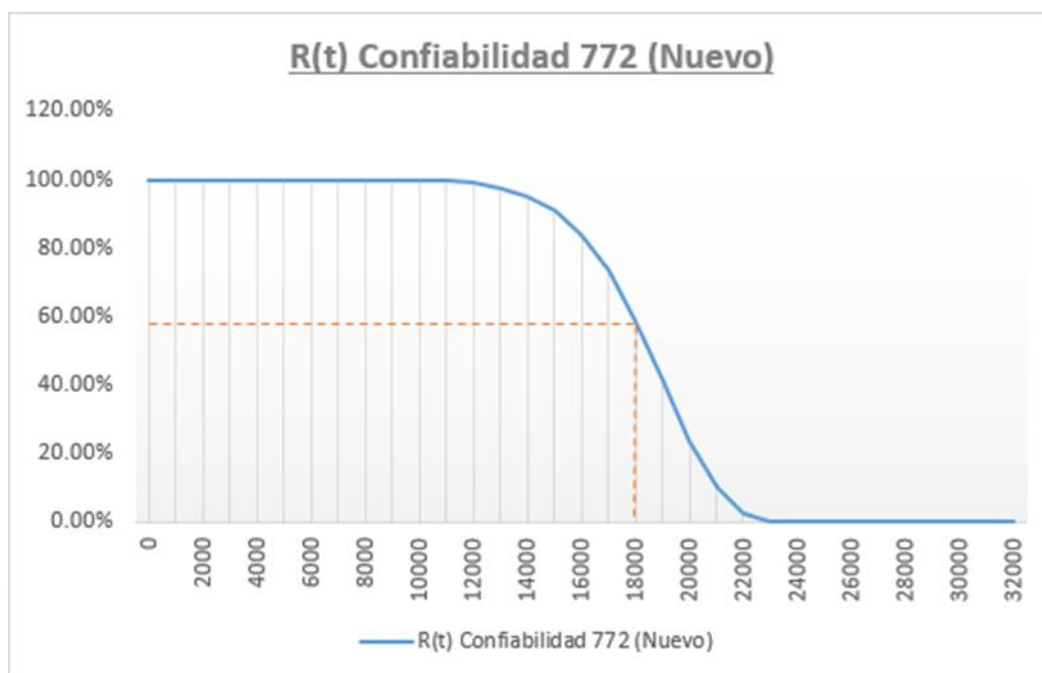
t (Rango de tiempo)	R(t) Confiabilidad 772
0	100.00%
1000	100.00%
2000	100.00%
3000	100.00%
4000	100.00%
5000	100.00%
6000	100.00%
7000	99.99%
8000	99.98%
9000	99.93%
10000	99.80%
11000	99.50%
12000	98.86%
13000	97.59%
14000	95.19%
15000	90.97%
16000	83.99%
17000	73.35%
18000	58.71%

Fuente: Elaboración propia

El rango de confiabilidad para los camiones Caterpillar modelo 772 se determina de acuerdo con el contexto operacional de la cementera del sur del país en la cual se realiza la presente investigación, el rango de tiempo es de 18000 horas de operación con una confiabilidad del 58.71%.

Figura V.2.

Gráfica de Curva de Confiabilidad Volquete 772 – Situación Actual



Fuente: Elaboración propia

5.3. Análisis Weibull Cargador Frontal Caterpillar 988H con metodología Weibull

El análisis de confiabilidad actual de los Cargador Frontal Caterpillar 988H 772 se determina con el logaritmo de Weibull.

Tabla V.3.

Cálculo de Confiabilidad de Situación Actual – Cargador Frontal Caterpillar 988H

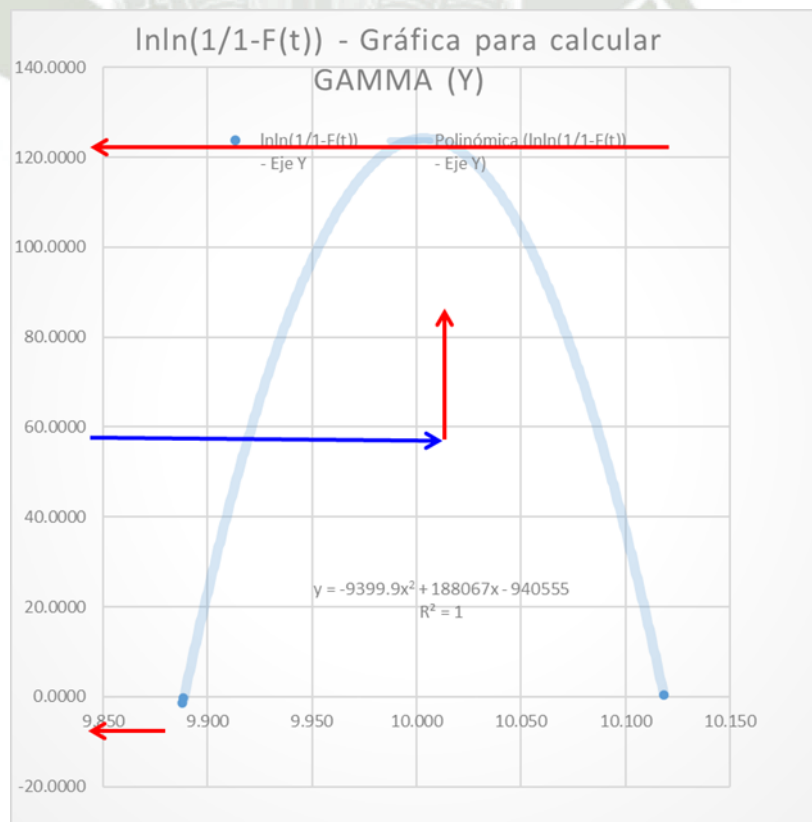
I	TBF(horas) - OVER HAUL	F(t) Estimación de Bernard	ln(t) - Eje X	lnln(1/1- F(t)) - Eje Y	TBF con (Gamma Y)	ln(t- GAMMA) - Eje X	lnln(1/1- F(t)) - Eje Y
1	19694	20.6%	9.888	-1.4674	19694.00	9.888	-1.467
2	19704	50.0%	9.889	-0.3665	19704.00	9.889	-0.367
3	24795	79.4%	10.118	0.4577	24795.00	10.118	0.458

Nota. Fuente de las formulas (B. Abernethy , 1951)

Fuente: Elaboración propia

Figura V.3. *Gráfica de Confiabilidad – Gamma – Cargador Frontal 988H*

Gráfica de Confiabilidad – Gamma – Cargador Frontal 988H



Fuente: Elaboración propia

El rango de confiabilidad para los cargadores frontales marca Caterpillar modelo 988H se determina de acuerdo con el contexto operacional de la cementera del sur del país en la cual se realiza la presente investigación, el rango de tiempo es de 18000 horas de operación con una confiabilidad del 79.22%.

Tabla V.4.

Confiabilidad de Cargador Frontal Caterpillar 988H – Situación Actual

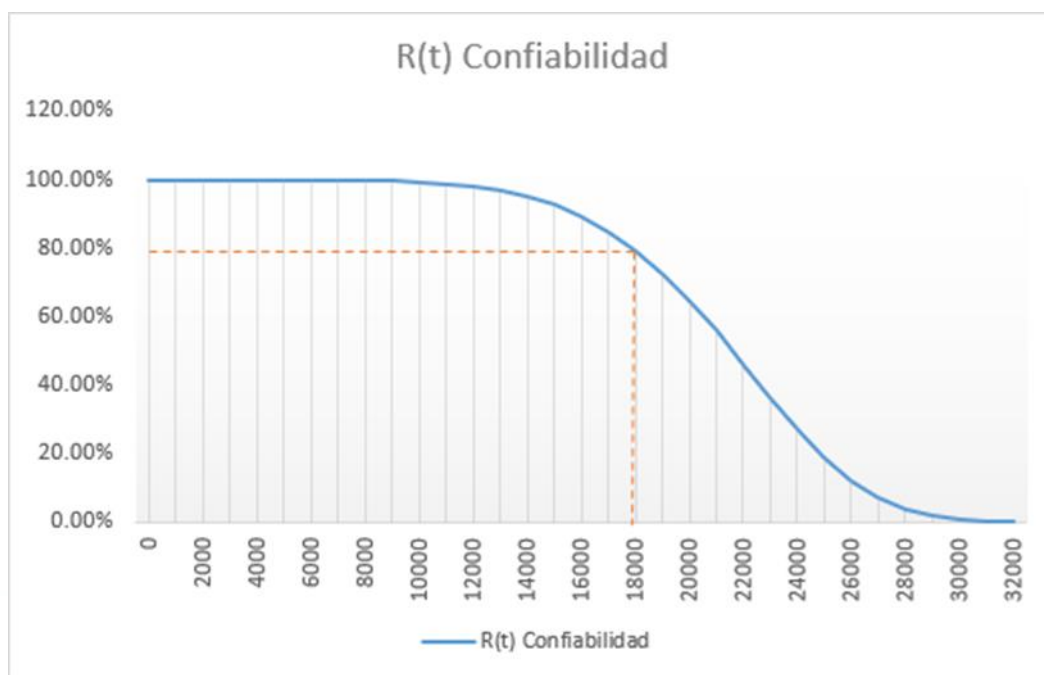
t (Rango de tiempo)	R(t) Confiabilidad 988H
0	100.00%
1000	100.00%
2000	100.00%
3000	100.00%
4000	100.00%
5000	99.99%
6000	99.97%
7000	99.92%
8000	99.82%
9000	99.63%
10000	99.31%
11000	98.78%
12000	97.96%
13000	96.73%
14000	94.95%
15000	92.47%
16000	89.13%
17000	84.75%
18000	79.22%

Fuente: Elaboración propia

El rango de confiabilidad para los cargadores frontales marca Caterpillar modelo 988H se determina de acuerdo con el contexto operacional de la cementera del sur del país en la cual se realiza la presente investigación, el rango de tiempo es de 18000 horas de operación con una confiabilidad del 79.22%.

Figura V.4.

Gráfica de Curva de Confiabilidad Cargador Frontal 988H – Situación Actual



Fuente: Elaboración propia

5.4. Generalidades – Costos de la situación actual

Determinar los costos de mantenimiento de la situación actual del Volquete Caterpillar modelo 772 y del Cargador Frontal Caterpillar modelo 988H de una cementera del sur del país.

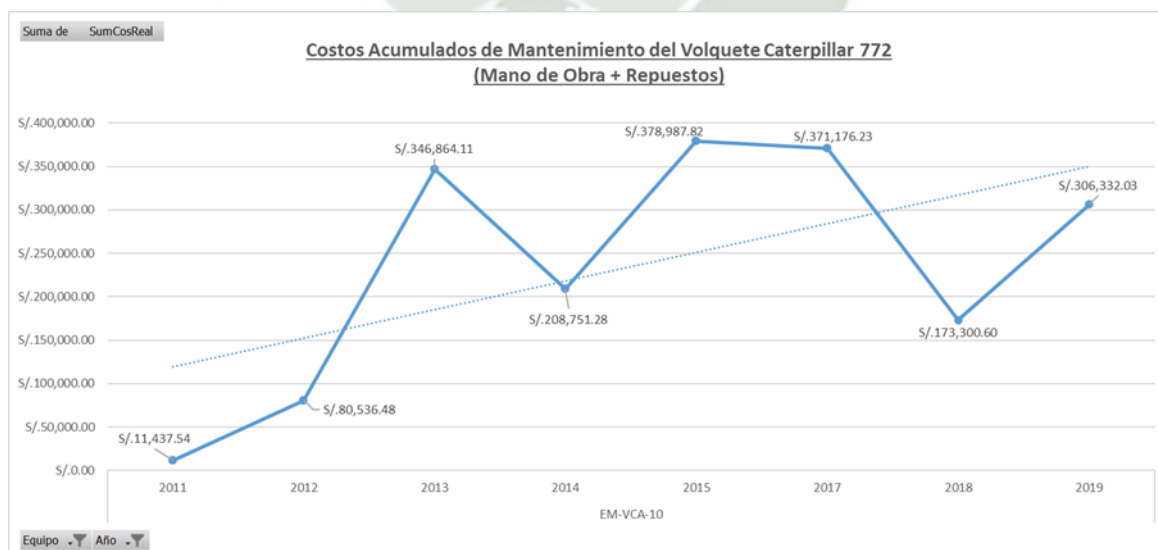
5.5. Costos unitarios de mantenimiento del volquete Caterpillar 772

Se determina el costo de mantenimiento en dólares por hora del Volquete Caterpillar modelo 772 de una cementera del sur del país.

5.5.1. Costos Acumulados de Mantenimiento de Volquete Caterpillar 772

La determinación de costos de mantenimiento acumulados se obtuvo por medio del análisis del historial obtenido desde el sistema SAP.

Figura V.5. *Costos Acumulados de Mantenimiento del Volquete Caterpillar Modelo 772*



Fuente: Elaboración propia

5.5.2. Costo unitario de Mantenimiento de Volquete Caterpillar 772

Los costos unitarios de mantenimiento del volquete de marca Caterpillar modelo 772 en el contexto operacional de una cementera del sur del país es el que se muestra en la siguiente tabla, se obtuvo un historial desde el 2011. Para el presente estudio de investigación se considera un costo unitario promedio final de 27 \$/ Hr.

Tabla V.5.

Costo unitario de Mantenimiento del Volquete Caterpillar modelo 772

Costos Unitarios de Mantenimiento de Volquete Caterpillar 772		
Año	\$/hr	Unidad
2011	16	
2012	20	
2013	32	
2014	25	
2015	31	
2016	32	
2017	30	
2018	25	
2019	28	
Costo Unitario 772	27	\$/hr

Fuente: Elaboración propia

5.6. Costos unitarios de mantenimiento del cargador frontal Caterpillar 988H

Se determina el costo de mantenimiento en dólares por hora del cargador frontal Caterpillar modelo 988H de una cementera del sur del país.

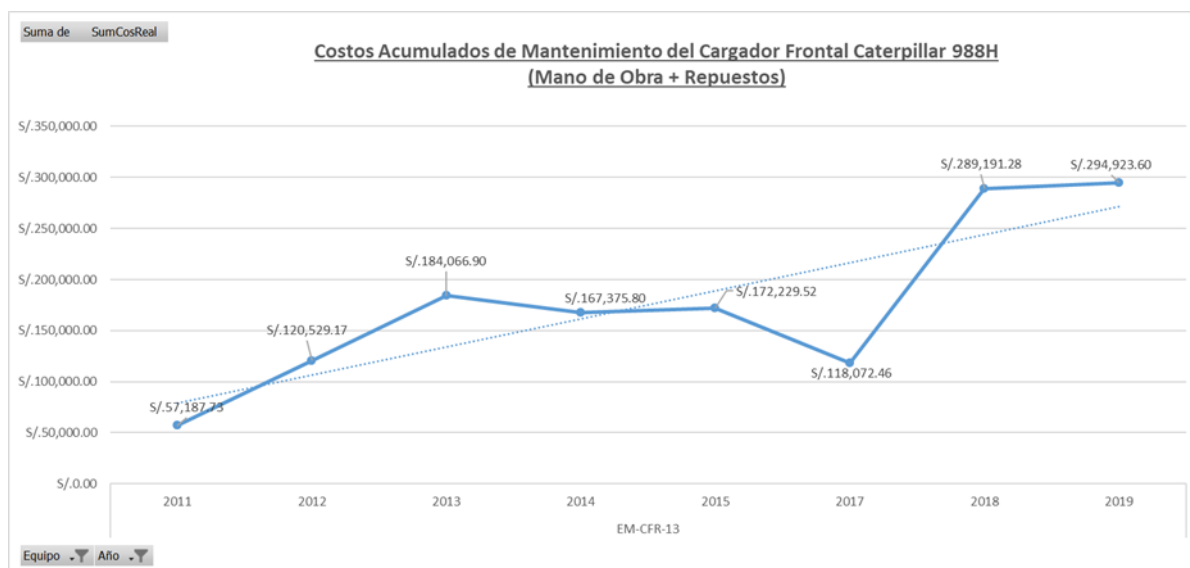
5.6.1. Costos Acumulados de mantenimiento del Cargador Frontal Caterpillar 988H

Se determina el costo de mantenimiento en dólares por hora del Cargador Frontal Caterpillar 988H de una cementera del sur del país.

La determinación de costos de mantenimiento acumulados se obtuvo por medio del análisis del historial obtenido desde el sistema SAP.

Figura V.6.

Costos Acumulados de Mantenimiento del Cargador Frontal Caterpillar Modelo 988H



Fuente: Elaboración propia

5.6.2. Costo Unitario de Mantenimiento de Cargador Frontal Caterpillar 988H

Los costos unitarios de mantenimiento del volquete de marca Caterpillar modelo 772 en el contexto operacional de una cementera del sur del país es el que se muestra en la siguiente tabla, se obtuvo un historial desde el 2011. Para el presente estudio de investigación se considera un costo unitario promedio final de 27 \$/ Hr.

Tabla V.6.

Costo unitario de Mantenimiento del Cargador Frontal Caterpillar Modelo 988H

Costos Unitarios de Mantenimiento de Cargador Frontal Caterpillar 988H		
Año	\$/hr	Unidad
2011	18	
2012	22	
2013	30	
2014	25	
2015	26	
2016	32	
2017	28	
2018	35	
2019	36	
Costo Unitario 988H	28	\$/hr

Fuente: Elaboración propia



CAPITULO VI

VI RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Generalidades

Determinar los resultados de la investigación y presentar las conclusiones correspondientes a los objetivos específicos y el objetivo principal.

Se diseña el plan de mantenimiento basado en RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad).

Se define la frecuencia de mantenimiento eficiente con análisis Weibull.

Se presentan resultados de la implementación a la fecha del plan de mantenimiento basado en RCM.

6.2. Desarrollo del Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

Desarrollar el plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para la población crítica de estudio en base a la metodología RCM presente en la norma SAE JA 1011 y SAE JA 1012.

La aplicación de la metodología es dinámica y permite moldear la estructura de acuerdo con el contexto operacional donde se aplique, debido a ello el éxito de esta metodología.

Se detecta que la norma no contempla indicadores de costos unitarios de mantenimiento, ni de porcentajes de confiabilidad que se podrían mejorar con la aplicación de la metodología, la norma es más una guía para realizar mejoras en el área de mantenimiento y de forma indirecta mejorar en los costos, la vida útil de los activos y aumento de la confiabilidad de estos. Esto se debe a que cada contexto operacional es distinto, cada empresa es distinta y cada una tiene particularidades donde trabajan los activos como son clima, materia prima (densidad, abrasión), personal, políticas, entre otros.

6.2.1. RCM – Equipo, Sistema, subsistema y descripción de función

El inicio del RCM consiste en plasmar en un cuadro inicial el equipo o grupo de equipo al cual se le aplicará la metodología RCM (Mantenimiento centrado en confiabilidad) seguido de su sistema crítico, también se llega al tercer nivel de subsistema (componente) y la determinación de la función principal del componente a evaluar.



Tabla VI.1.

Sistema Hidráulico – Equipo/ Sistema/ Sub Sistema/ Componente

ITEM	LOCATION DESCRIPCION						ID F	FUNCTION DESCRIPTION
	LEVEL	EQUIPMENT	LEVEL	SYSTEM	LEVEL	SUB SYSTEM		
1	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	CIL	Cilindro hidráulico de levante	1	Elevar el cucharón con material de 0 a 3.8 m. con una carga del cucharón de 8 Tn. (4.5 m3) en un tiempo de 6 segundos (864 mm.) de desplazamiento del cilindro hidráulico a una presión de 3050 PSI a una temperatura de 65°C+-3°C
2	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	CIL	Cilindro hidráulico de levante	1	
3	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	CIL	Cilindro hidráulico de levante	1	
4	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	CIL	Cilindro hidráulico de levante	1	
5	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	CIL	Cilindro hidráulico de levante	1	
6	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	CIL	Cilindro hidráulico de levante	1	
7	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	CIL	Cilindro hidráulico de levante	1	
8	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	CIL	Cilindro hidráulico de levante	1	
9	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	CIL	Cilindro hidráulico de levante	1	

Fuente: Elaboración propia.

ITEM	LOCATION DESCRIPCION							ID F	FUNCTION DESCRIPTION
10	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	PUM	Bomba hidráulica principal	1	1	Bompear el aceite hidráulico desde el tanque hidráulico hasta los implementos con un caudal de 126 gpm a una temperatura de 55°C +/- 5°C y a una velocidad de giro de la bomba de 2100 rpm
11	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	PUM	Bomba hidráulica principal	1		
12	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	PUM	Bomba hidráulica principal	1		
13	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	PUM	Bomba hidráulica principal	1		
14	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	PUM	Bomba hidráulica principal	1		
15	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	PUM	Bomba hidráulica principal	1		
16	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	PUM	Bomba hidráulica principal	1		
17	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	PUM	Bomba hidráulica principal	1		
18	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	PUM	Bomba hidráulica principal	1		
19	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	PUM	Bomba hidráulica principal	1		

Fuente: Elaboración propia.

ITEM	LOCATION DESCRIPCION						ID F	FUNCTION DESCRIPTION
20	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	MH	Motores hidráulicos	1	Convierte presión hidráulica y flujo en un par de torsión y en desplazamiento a 3500 PSI a una temperatura de 55°C+/- 5°C
21	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	MH	Motores hidráulicos	1	
22	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	MH	Motores hidráulicos	1	
23	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	MH	Motores hidráulicos	1	
24	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	MH	Motores hidráulicos	1	
25	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	MH	Motores hidráulicos	1	
26	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	MH	Motores hidráulicos	1	
27	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	MH	Motores hidráulicos	1	
28	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	MH	Motores hidráulicos	1	
29	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	MOT	Motores hidráulicos	1	

Fuente: Elaboración propia.

ITEM	LOCATION DESCRIPCION						ID F	FUNCTION DESCRIPTION
30	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	VAL	Válvulas hidráulicas	1	Las válvulas hidráulicas limitan la presión máxima del sistema a 4000 PSI a una temperatura de 55°C+/- 5°C
31	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	VAL	Válvulas hidráulicas	1	
32	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	VAL	Válvulas hidráulicas	1	
33	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	VAL	Válvulas hidráulicas	1	
34	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	VAL	Válvulas hidráulicas	1	
35	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	VAL	Válvulas hidráulicas	1	
36	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	VAL	Válvulas hidráulicas	1	
37	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	VAL	Válvulas hidráulicas	1	
38	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	VAL	Válvulas hidráulicas	1	
39	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	VAL	Válvulas hidráulicas	1	

Fuente: Elaboración propia.

ITEM	LOCATION DESCRIPCION						ID F	FUNCTION DESCRIPTION
40	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	MYC	Mangueras y cañerías	1	Conducción de fluido hidráulico a una presión máxima de 6000 PSI con una temperatura de 55°C+/- 5°C
41	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	MYC	Mangueras y cañerías	1	
42	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	MYC	Mangueras y cañerías	1	
45	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	MYC	Mangueras y cañerías	1	
46	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	MYC	Mangueras y cañerías	1	
47	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	MYC	Mangueras y cañerías	1	
50	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	TK	Tanque hidráulico	1	Almacenar el aceite, eliminar el calor, separar el aire del aceite, extraer los gases y metales extraños del fluido a una temperatura de 55°C+/- 5°C
51	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	TK	Tanque hidráulico	1	
52	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	TK	Tanque hidráulico	1	
53	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	TK	Tanque hidráulico	1	
55	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	TK	Tanque hidráulico	1	
56	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	TK	Tanque hidráulico	1	
57	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	TK	Tanque hidráulico	1	
58	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	TK	Tanque hidráulico	1	

Fuente: Elaboración propia.

ITEM	LOCATION DESCRIPCION							FUNCTION DESCRIPTION
60	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	ACU	Acumulador	1	Almacenar energía a una presión de 2500 PSI y liberarla en el momento de demanda y mantener estable las oscilaciones en el sistema.
61	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	ACU	Acumulador	1	
62	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	ACU	Acumulador	1	
63	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	ACU	Acumulador	1	
65	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	ACU	Acumulador	1	
66	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	ACU	Acumulador	1	
67	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	ACU	Acumulador	1	
68	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	ACU	Acumulador	1	
69	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	ACU	Acumulador	1	

Nota. Fuente de estructura (G11, Subcomité (MCC) SAE, 1999)

Fuente: Elaboración propia

6.2.2. RCM – Descripción de función y descripción de la falla funcional

En el siguiente cuadro se debe describir las funciones y las fallas funcionales de los componentes correspondientes a los sistemas críticos de los equipos críticos.

Tabla VI.2.

Sistema Hidráulico – Función y Falla Funcional

ID F	FUNCTION DESCRIPTION	ID FF	FUNCTIONAL FAILURE DESCRIPTION
1	Elevar el cucharón con material de 0 a 3.8 m. con una carga del cucharón de 8 Tn. (4.5 m3) en un tiempo de 6 segundos (864 mm.) de desplazamiento del cilindro hidráulico a una presión de 3050 PSI a una temperatura de 65°C+/-3°C	A	Incapaz de elevar cucharón con material de 0 a 3 m con una carga del cucharón de 5tn/ 3m3 en un tiempo de 6 segundos (864 mm) de desplazamiento del cilindro hidráulico a una presión de 3050 psi y una temperatura menor a 65°C+/-3°C
1		A	
1		A	
1		A	
1		B	Elevación parcial de la carga del cucharón menor a 3m carga suspendida por el cucharón menor a 5tn/3m3 tiempo de desplazamiento del cilindro mayor a 6 segundos (864 mm) a una presión de 3050psi y una temperatura menor a 65°C+/-3°C
1		B	
1		B	
1		B	
ID F	FUNCTION DESCRIPTION	ID FF	FUNCTIONAL FAILURE DESCRIPTION
1	Bombear el aceite hidráulico desde el tanque hidráulico hasta los implementos con un caudal de 126 gpm a una temperatura de 55°C+/- 5°C y a una velocidad de giro de la bomba de 2100 rpm	A	Incapaz de bombear el aceite hidráulico desde el tanque hidráulico hasta los implementos a un caudal de 126 gpm a una temperatura de 55°C+/- 5°C y a una velocidad de giro de la bomba de 2100 rpm
1		A	
1		A	
1		A	
1		B	Bombear parcialmente el aceite hidráulico desde el tanque hidráulico hasta los implementos a un caudal de 126 gpm a una temperatura de 55°C+/- 5°C y a una velocidad de giro de la bomba de 2100 rpm
1		B	
1		B	
1		B	

Fuente: Elaboración propia.

ID F	FUNCTION DESCRIPTION	ID FF	FUNCTIONAL FAILURE DESCRIPTION
1	Convierte presión hidráulica y flujo en un par de torsión y en desplazamiento a 3500 PSI a una temperatura de 55°C+/- 5°C	A	Incapaz de convertir presión hidráulica y flujo en un par de torsión y en desplazamiento a 3500 PSI a una temperatura de 55°C+/- 5°C
1		A	
1		A	
1		A	
1		A	
1		B	Convertir parcialmente la presión hidráulica y flujo en un par de torsión y en desplazamiento a 3500 PSI a una temperatura de 55°C+/- 5°C
1		B	
1		B	
1		B	
1		B	
ID F	FUNCTION DESCRIPTION	ID FF	FUNCTIONAL FAILURE DESCRIPTION
1	Las válvulas hidráulicas limitan la presión máxima del sistema a 4000 PSI a una temperatura de 55°C+/- 5°C	A	Incapaz de limitar la presión máxima del sistema a 4000 PSI a una temperatura de 55°C+/- 5°C
1		A	
1		A	
1		A	
1		A	
1		B	Limitar parcialmente la presión máxima del sistema a 4000 PSI a una temperatura de 55°C+/- 5°C
1		B	
1		B	
1		B	
1		B	

Fuente: Elaboración propia.

ID F	FUNCTION DESCRIPTION	ID FF	FUNCTIONAL FAILURE DESCRIPTION
1	Conducción de fluido hidráulico a una presión máxima de 6000 PSI con una temperatura de 55°C+/- 5°C	A	Incapaz de conducir el fluido hidráulico a una presión máxima de 6000 PSI con una temperatura de 55°C+/- 5°C
1		A	
1		A	
1		B	Conducir parcialmente el fluido hidráulico a una presión máxima de 6000 PSI con una temperatura de 55°C+/- 5°C
1		B	
1		B	
1	Almacenar el aceite, eliminar el calor, separar el aire del aceite, extraer los gases y metales extraños del fluido a una temperatura de 55°C+/- 5°C	A	Incapaz de almacenar el aceite, eliminar el calor, separar el aire del aceite, extraer los gases y metales extraños del fluido a una temperatura de 55°C+/- 5°C
1		A	
1		A	
1		B	Realizar parcialmente el almacenar el aceite, eliminar el calor, separar el aire del aceite, extraer los gases y metales extraños del fluido a una temperatura de 55°C+/- 5°C
1		B	
1		B	
1		B	
ID F	FUNCTION DESCRIPTION	ID FF	FUNCTIONAL FAILURE DESCRIPTION
1	Almacenar energía a una presión de 2500 PSI y liberarla en el momento de demanda y mantener estable las oscilaciones en el sistema.	A	Incapaz de almacenar energía a una presión de 2500 PSI y liberarla en el momento de demanda y mantener estable las oscilaciones en el sistema.
1		A	
1		A	
1		A	
1		B	Almacenar parcialmente la energía a una presión de 2500 PSI y liberarla en el momento de demanda y mantener estable las oscilaciones en el sistema.
1		B	
1		B	
1		B	

Nota. Fuente de la estructura de la tabla (G11, Subcomité (MCC) SAE, 1999)

Fuente: Elaboración propia

6.2.3. RCM – Modos de Falla, descripción de la actividad, frecuencia y tipo de mantenimiento

En este paso de la aplicación del RCM se debe definir con el equipo de trabajo y personal mecánico los modelos de falla para así poder definir con el cuadro de decisión del RCM la mejor actividad y tipo de mantenimiento correctivo, preventivo, predictivo o monitoreo.

Tabla VI.3.

Sistema Hidráulico – Modo de Falla/ Descripción de Tarea/ Frecuencia

ID FM	FAILURE MODE	TASK DESCRIPTION	SHUT DOWN	FREC (HR/MES)	WORK GROUP
		SCHEDULE TASK			
1	Rotura de vástago	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	NO		MC
2	Rotura de base de cilindro	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	NO		MC
3	Rotura de sellos y seguros por fatiga	Reparar cilindro hidráulico	YES	10 000 HR	PM
4	Rotura de contratuercas interna de pistón	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	NO		MC
1	Fuga de aceite hidráulico por sellos	Inspección visual	YES	1 MES	CBM
2	Fuga de aceite hidráulico por conectores del cilindro	Inspección visual	YES	1 MES	CBM
3	Fuga interna por sellos de embolo del pistón	Prueba de corrimiento de cilindro	YES	2500 HR	CBM
4	Contaminación de aceite hidráulico	Análisis de aceite	YES	500 HR	REL
5	Aire en el circuito hidráulico	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	NO		MC

ID FM	FAILURE MODE	TASK DESCRIPTION	SHUT DOWN	FREC (HR/MES)	WORK GROUP
1	Rotura del eje principal de la bomba	Análisis de aceite	YES	500 HR	REL
2	Rotura de los engranajes de acople	Análisis de aceite	YES	500 HR	REL
3	Agarrotamiento de los bujes de la bomba	Análisis de aceite	YES	500 HR	REL
4	Rodamientos amarrados	Cambio de rodamientos de bomba	YES	10 000 HR	PM
5	Obstrucción del tubo de succión de aceite	Análisis de aceite	YES	500 HR	REL
1	Fatiga del resorte de la válvula de alivio	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	NO		MC
2	Desgaste de bujes de la bomba	Análisis de aceite	YES	500 HR	REL
3	Desgaste del eje principal de la bomba	Análisis de aceite	YES	500 HR	REL
4	Desgaste del housing	Análisis de aceite	YES	500 HR	REL
5	Recalentamiento de los sellos	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	NO		MC
ID FM	FAILURE MODE	TASK DESCRIPTION	SHUT DOWN	FREC (HR/MES)	WORK GROUP
1	Rotura de eje principal	Reparación de bomba hidráulica principal	Yes	10 000 HR	PM
2	Rodamientos amarrados	Análisis de aceite	Yes	500 HR	REL
3	Rotura de actuadores internos	Análisis de aceite	Yes	500 HR	REL
4	Fractura de housing principal	Análisis de aceite	Yes	500 HR	REL
5	Rotura de válvula de control	Análisis de aceite	Yes	500 HR	REL
1	Desgaste de bujes internos	Análisis de aceite	Yes	500 HR	REL
2	Desgaste de Housing	Análisis de aceite	Yes	500 HR	REL
3	Desgaste de sellos y retenes	Análisis de aceite	Yes	500 HR	REL
4	Desgaste de engranajes	Análisis de aceite	Yes	500 HR	REL
5	Desgaste de válvula	Análisis de aceite	Yes	500 HR	REL

Fuente: Elaboración propia

ID FM	FAILURE MODE	TASK DESCRIPTION	SHUT DOWN	FREC (HR/MES)	WORK GROUP
1	Rotura de spool principal	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	No		MC
2	Rotura de resortes internos	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	No		MC
3	Rotura de housing principal	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	No		MC
4	Rotura de sellos y retenes	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	No		MC
5	Rotura de zonas deslizantes	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	No		MC
1	Desgaste de spool principal	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	No		MC
2	Desgaste de resortes internos	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	No		MC
3	Desgaste de housing principal	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	No		MC
4	Desgaste de sellos y retenes	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	No		MC
5	Desgaste de zonas deslizantes	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	No		MC
ID FM	FAILURE MODE	TASK DESCRIPTION	SHUT DOWN	FREC (HR/MES)	WORK GROUP
1	Rotura de acople prensado	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	No		MC
2	Rotura de sellos y retenes	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	No		MC
3	Rotura de cuerpo principal	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	No		MC
1	Desgaste de acople prensado	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	No		MC
2	Desgaste de sellos y retenes	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	No		MC
3	Desgaste de cuerpo principal	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	No		MC
1	Rotura de rompeolas interno	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	No		MC
2	Rotura de housing principal	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	No		MC
3	Rotura de válvula de purga	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	No		MC
4	Rotura de filtros internos	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	No		MC
1	Desgaste de rompeolas interno	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	No		MC
2	Desgaste de housing principal	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	No		MC
3	Desgaste de válvula de purga	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	No		MC
4	Desgaste de filtros internos	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	No		MC

Fuente: Elaboración propia

ID FM	FAILURE MODE	TASK DESCRIPTION	SHUT DOWN	FREC (HR/MES)	WORK GROUP
1	Rotura de diafragma interno	Cambio de acumulador hidráulico	Yes	10 000 HR	PM
2	Rotura de housing principal	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	No		MC
3	Rotura de válvula de control	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	No		MC
4	Rotura de sellos	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	No		MC
1	Desgaste de diafragma interno	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	No		MC
2	Desgaste de housing principal	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	No		MC
3	Desgaste de válvula de control	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	No		MC
4	Desgaste de sellos	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	No		MC
5	Descarga de nitrógeno o aceite	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	No		MC

Fuente: Elaboración propia

Tabla VI.4.

Selección de Gamas o Procedimientos

ASSET DESCRIPTION	TASK DESCRIPTION	FREC (HR/MES)	WORK GROUP	SHUT DOWN	HRS	MAN-POWER	REFERENT CODE_No	GAMA
	SCHEDULE TASK							
CIL.1.A.1	NINGUN MANTENIMIENTO PROGRAMADO (01 CILINDRO EN ALMACEN)			YES	8	2	EM-CFR-CIL-1-A-1	EM_071 EM_072
CIL.1.A.2	NINGUN MANTENIMIENTO PROGRAMADO (01 CILINDRO EN ALMACEN)			YES	8	2	EM-CFR-CIL-1-A-2	EM_071 EM_072
CIL.1.A.3	CAMBIAR PIN Y BUJE DE BASE DE CILINDRO	10 000 HR	MEC	YES	8	2	EM-CFR-CIL-1-A-3	EM_071 EM_072
CIL.1.A.4	NINGUN MANTENIMIENTO PROGRAMADO, MANTENIMIENTO CORRECTIVO.			YES	8	2	EM-CFR-CIL-1-A-4	EM_071 EM_072
CIL.1.B.1	INSPECCION VISUAL	1 MES	PM	YES	1	1	EM-CFR-CIL-1-B-1	EM_047
CIL.1.B.2	INSPECCION VISUAL	1 MES	PM	YES	1	1	EM-CFR-CIL-1-B-2	EM_047
CIL.1.B.3	PRUEBA DE TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO SEGÚN PROCEDIMIENTO	2500 HR	PM	YES	2	1	EM-CFR-CIL-1-B-3	SIS_1
CIL.1.B.4	ANÁLISIS DE ACEITE HIDRAULICO	500 HR	REL	YES	1	1	EM-CFR-CIL-1-B-4	EM_033
CIL.1.B.5	NINGUN MANTENIMIENTO PROGRAMADO, MANTENIMIENTO CORRECTIVO.			YES	1	1	EM-CFR-CIL-1-B-5	
PUM.1.A.1	ANÁLISIS DE ACEITE (01 BOMBA EN ALMACEN)	500 HR	REL	YES	1	1	EM-CFR-PUM-1-A-1	EM_033
PUM.1.A.2	ANÁLISIS DE ACEITE (01 BOMBA EN ALMACEN)	500 HR	REL	YES	1	1	EM-CFR-PUM-1-A-2	EM_033
PUM.1.A.3	ANÁLISIS DE ACEITE	500 HR	REL	YES	1	1	EM-CFR-PUM-1-A-3	EM_033
PUM.1.A.4	ANÁLISIS DE ACEITE	500 HR	REL	YES	1	1	EM-CFR-PUM-1-A-4	EM_033
PUM.1.A.5	ANÁLISIS DE ACEITE	500 HR	REL	YES	1	1	EM-CFR-PUM-1-A-5	EM_033
PUM.1.B.1	NINGUN MANTENIMIENTO PROGRAMADO, MANTENIMIENTO CORRECTIVO.			YES	4	2	EM-CFR-PUM-1-B-1	EM_075 EM_076
PUM.1.B.2	ANÁLISIS DE ACEITE	500 HR	REL	YES	1	1	EM-CFR-PUM-1-B-2	EM_033
PUM.1.B.3	ANÁLISIS DE ACEITE	500 HR	REL	YES	1	1	EM-CFR-PUM-1-B-3	EM_033
PUM.1.B.4	ANÁLISIS DE ACEITE	500 HR	REL	YES	1	1	EM-CFR-PUM-1-B-4	EM_033

Fuente: Elaboración propia

6.2.4. AMEF – Modo de Falla

Tabla VI.5.

Sistema Hidráulico – Modo de Falla y Efecto de Falla

ASSET DESCRIPTION	FAILURE MODE	EFFECTO DE FALLA
CIL.1.A.1	ROTURA DE VASTAGO	Evidente: Si Descripción: El cilindro de levante no se desplaza, se presenta una ligera inclinación del castillo y se inicia una fuga de aceite hidráulico. Tiempo de parada: 15 días/240 hrs. Tiempo de reparación :3 días/ 48 hrs. Recursos: 02 mecánicos, 01 grúa + 01 operador. Repuestos: 01 cilindro de levante(20 000 \$) Afecta la seguridad: No Afecta al Medio Ambiente: No Perdida de producción :\$120 000 Impacto en mantto: \$ 21 240
CIL.1.A.2	ROTURA DE BASE DE CILINDRO	Evidente: Si Descripción: El cilindro de levante no se desplaza, se presenta una gran inclinación del castillo y golpes/ ruidos fuertes. Tiempo de parada: 15 días/240 hrs. Tiempo de reparación :3 días/ 48 hrs. Recursos: 02 mecánicos, 01 grúa + 01 operador. Repuestos: 01 cilindro de levante (20 000 \$) Afecta la seguridad: No Afecta al Medio Ambiente: No Perdida de producción: \$ 120 000 Impacto en mantto: \$ 21 240
CIL.1.A.3	Rotura de sellos y seguro por fatiga	Evidente: Si Descripción: El cilindro de levante se desplaza: pero no eleva el castillo, la ruptura del pin del cilindro viene acompañado de un ruido/golpe, se presenta una ligera inclinación del castillo. Tiempo de parada: 2 días/32 hrs. Tiempo de reparación :1 días/ 8 hrs. Recursos: 02 mecánicos, 01 grúa + 01 operador. Repuestos: 01 pin de la base del cilindro (500 \$) Afecta la seguridad: No Afecta al Medio Ambiente: No Perdida de producción :\$ 16 000 Impacto en mantto: \$ 49,986.55

Fuente: Elaboración propia

ASSET DESCRIPTION	FAILURE MODE	EFFECTO DE FALLA
CIL.1.A.4	ROTURA DE CONTRATUERCA INTERNA DEL PISTÓN	Evidente: Si Descripción: El cilindro de levante no se desplaza, afecta al control hidráulico del sistema por contaminación del aceite. Tiempo de parada: 15 días/240 hrs. Tiempo de reparación :3 días/ 48 hrs. Recursos: 02 mecánicos, 01 grúa + 01 operador. Repuestos: 01 cilindro de levante (20 000 \$) Afecta la seguridad: No Afecta al Medio Ambiente: No Perdida de producción: \$ 120 000 Impacto en mantto: \$ 24 440
CIL.1.B.1	FUGA DE ACEITE HIDRAULICO POR SELLOS	Evidente: Si Descripción: La fuga de aceite hidráulico por los sellos del cilindro es evidente, se inicia por un humedecimiento en la tapa para luego gotear de forma constante, se inicia consumo de aceite hidráulico, se requiere el cambio de los sellos y flapeado del cilindro. Tiempo de parada: 5 días/90 hrs. Tiempo de reparación: Servicio 3 días/ montaje 2 días (32 hrs). Recursos: 02 mecánicos, 01 grúa + 01 operador. Repuestos: Kit de sellos (\$500) Afecta la seguridad: No Afecta al Medio Ambiente: No Perdida de producción: \$45 000 Impacto en mantto: \$ 2 720
CIL.1.B.2	FUGA DE ACEITE HIDRAULICO POR CONECTORES DEL CILINDRO	Evidente: Si Descripción: La fuga de aceite hidráulico por los conectores del cilindro es evidente, se inicia por un humedecimiento en la unión del cilindro y la cañería de ingreso y/o salida, se inicia consumo de aceite hidráulico, se requiere el cambio de los oring de los conectores. Tiempo de parada: 2 hrs. Tiempo de reparación 2 hrs. Recursos: 01 mecánico. Repuestos: Kit de oring (\$2) Afecta la seguridad: No Afecta al Medio Ambiente: No Perdida de producción: \$ 1 000 Impacto en mantto: \$ 22
CIL.1.B.3	FUGA INTERNA POR SELLOS DE EMBOLO DEL PISTON	Evidente: Si Descripción: La fuga de aceite hidráulico interno por el conjunto de sellos del embolo se inicia por el desgaste de los sellos debido a la contaminación interna y/o horas de servicio el cilindro no eleva al cucharón demorándose en el desplazamiento. Tiempo de parada: 5días/90 hrs. Tiempo de reparación Servicio 3 días/montaje 2 días (32 hrs) Recursos: 02 mecánicos, 01 grua, 01 operador, Kit de sellos(\$500) Afecta la seguridad: No Afecta al Medio Ambiente: No Perdida de producción :\$ 45 000 Impacto en mantto: \$ 2 460

ASSET DESCRIPTION	FAILURE MODE	EFFECTO DE FALLA
CIL.1.B.4	CONTAMINACION DE ACEITE HIDRAULICO	Evidente: Si Descripción: La presencia de contaminantes en el aceite hidráulico se ve reflejada en el análisis de aceite superior a la norma 22/18/16, los contaminantes desgastan todos los componentes internos trabando válvulas de control Tiempo de parada: 1 días/8 hrs. Tiempo de reparación: Cambio de aceite hidráulico 8 hr. Recursos: 02 mecánicos, repuestos: 50 gl de aceite hidráulico Afecta la seguridad: No Afecta al Medio Ambiente: No Perdida de producción: \$ 4 000 Impacto en mantto: \$ 1 740
CIL.1.B.5	AIRE EN EL CIRCUITO HIDRAULICO	Evidente: Si Descripción: El aire en el circuito hidráulico ingresa por los lugares donde existe fuga de aceite hidráulico teniendo que corregir la fuga y realizar el purgado del aire en el aceite Tiempo de parada: 2 hrs. Tiempo de reparación: 1,5 hr. Recursos: 1 mecánico Afecta la seguridad: No Afecta al Medio Ambiente: No Perdida de producción: \$ 1 000 Impacto en mantto: \$ 15
PUM.1.A.1	ROTURA DEL EJE PRINCIPAL DE LA BOMBA	Evidente: Si Descripción: El motor de combustión gira a 1800 RPM pero no cumple la función principal de bombear el aceite hidráulico. Tiempo de parada: 4 días/64 hrs. Tiempo de reparación : 2 días/32 hrs. Recursos: 02 mecánicos, 01 grúa + 01 operador. Repuestos: 01 bomba hidráulica Afecta la seguridad: No Afecta al Medio Ambiente: No Perdida de producción: \$40 000 Impacto en mantto: \$ 55 000
PUM.1.A.2	ROTURA DE LOS ENGRANAJES DE ACOPLE	Evidente: Si Descripción: El motor de combustión gira a 1800 pero no se produce el engrane para realizar el giro de la bomba Tiempo de parada: 3 días/48 hrs. Tiempo de reparación : 2 días/ 36 hrs. Recursos: 02 mecánicos, 01 grúa + 01 operador. Repuestos: 01 acople Afecta la seguridad: No Afecta al Medio Ambiente: No Perdida de producción: \$30 000 Impacto en mantto: \$ 3 000

Fuente: Elaboración propia

ASSET DESCRIPTION	FAILURE MODE	EFFECTO DE FALLA
PUM.1.A.3	AGARROTAMIENTO DE LOS BUJES DE LA BOMBA	Evidente: Si Descripción: el motor de combustión no gira a 1800 RPM se apaga al momento del arranque Tiempo de parada: 4 días/64 hrs. Tiempo de reparación :2 días/32 hrs. Recursos: 02 mecánicos, 01 grúa + 01 operador. Repuestos: 01 bomba de aceite hidráulico Afecta la seguridad: No Afecta al Medio Ambiente: No Pérdida de producción: \$40 000 Impacto en mantto: \$ 55 000
PUM.1.A.4	RODAMIENTOS AMARRADOS	Evidente: Si Descripción: El motor de combustión no gira a 1800 RPM se apaga al momento del arranque Tiempo de parada: 2 días/30 hrs. Tiempo de reparación :1.5 días/ 20 hrs. Recursos: 02 mecánicos, 01 grúa + 01 operador. Repuestos: 02 rodamientos Afecta la seguridad: No Afecta al Medio Ambiente: No Pérdida de producción: \$ 15 000 Impacto en mantto: \$ 1 000
PUM.1.A.5	OBSTRUCCION DEL TUBO DE SUCCION DE ACEITE	Evidente: Si Descripción: bomba no da caudal de aceite a 1800 RPM. Tiempo de parada: 2 días/30 hrs. Tiempo de reparación :1.5 días/ 20 hrs. Recursos: 02 mecánicos, 01 grúa + 01 operador. Repuestos: NO Afecta la seguridad: No Afecta al Medio Ambiente: No Pérdida de producción: \$20 000 Impacto en mantto: \$ 300
PUM.1.B.1	FATIGA DEL RESORTE DE LA VALVULA DE ALIVIO	Evidente: Si Descripción: La bomba hidráulica no proporciona la presión del sistema 3000PSI Tiempo de parada: 2 días/32 hrs. Tiempo de reparación :1 días/8 hrs. Recursos: 02 mecánicos, Repuestos: 01 válvula piloto (300 \$) Afecta la seguridad: No Afecta al Medio Ambiente: No Pérdida de producción: \$16 000 Impacto en mantto: \$ 4000

Fuente: Elaboración propia

ASSET DESCRIPTION	FAILURE MODE	EFFECTO DE FALLA
PUM.1.B.2	DESGASTE DE BUJES DE LA BOMBA	Evidente: Si Descripción: La bomba hidráulica pierde eficiencia. Tiempo de parada: 10 días/160 hrs. Tiempo de reparación :2 días/32 hrs. Recursos: 02 mecánicos, 01 grúa + 01 operador. Repuestos: 01 bomba hidráulica (20 000 \$) Afecta la seguridad: No Afecta al Medio Ambiente: No Pérdida de producción: \$80 000 Impacto en mantto: \$ 5020
PUM.1.B.3	DESGASTE DEL EJE PRINCIPAL DE LA BOMBA	Evidente: Si Descripción: Se inicia fuga de aceite hidráulico por el eje de la Bomba Tiempo de parada: 10 días/160 hrs. Tiempo de reparación :2 días/ 32 hrs. Recursos: 02 mecánicos, 01 grúa + 01 operador. Repuestos: 01 bomba hidráulica (20 000 \$) Afecta la seguridad: No Afecta al Medio Ambiente: No Pérdida de producción: \$80 000 Impacto en mantto: \$ 5020
PUM.1.B.4	DESGASTE DEL HOUSING	Evidente: Si Descripción: la bomba hidráulica presenta desgaste interior del housing. Tiempo de parada: 10 días/160 hrs. Tiempo de reparación: 2 días/ 32 hrs. Recursos: 02 mecánicos, 01 grúa + 01 operador. Repuestos: 01 bomba hidráulica (20 000 \$) Afecta la seguridad: No Afecta al Medio Ambiente: No Pérdida de producción: \$80 000 Impacto en mantto: \$ 5020
PUM.1.B.5	RECALENTAMIENTO DE LOS SELLOS	Evidente: Si Descripción: Inicio de fuga de aceite hidráulico por los sellos de la bomba Tiempo de parada: 10 días/160 hrs. Tiempo de reparación: 2 días/ 32 hrs. Recursos: 02 mecánicos, 01 grúa + 01 operador. Repuestos: 01 bomba hidráulica (20 000 \$) Afecta la seguridad: No Afecta al Medio Ambiente: No Pérdida de producción: \$80 000 Impacto en mantto: \$ 5020

Fuente: Elaboración propia

6.2.5. Plan de Mantenimiento Sistema Hidráulico

Como resultado de la aplicación de la metodología RCM (Mantenimiento centrado en confiabilidad) se obtienen planes de mantenimiento por actividad.

Tabla VI.6.

Sistema Hidráulico – Tareas Preventivas

MECHANICAL MATRIX: CARGADOR FRONTAL 988H - SISTEMA HIDRÁULICO					
REFERENT CODE_No	TASK DESCRIPTION	FRE C (HR/MES)	SHUT DOW N	H R S	MA N-POW ER
EM-CFR-CIL-1-B-1	INSPECCION VISUAL	1 MES	YES	1	1 / 0 / 0
EM-CFR-CIL-1-B-2	INSPECCION VISUAL	1 MES	YES	1	1 / 0 / 0
EM-CFR-CIL-1-B-3	PRUEBA DE TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO SEGÚN PROCEDIMIENTO	2500 HR	YES	2	1 / 0 / 0

Fuente: Elaboración propia

NOTE: ALL TASKS SHOULD BE DONE BY SKILLED PERSONNEL.

man power: mec / elec / inst / rel

Nota. La fuente de la estructura es (UCSM - Curso confiabilidad y costos de mantt., 2019)

Como resultado de la aplicación de la metodología RCM (Mantenimiento centrado en confiabilidad) se obtienen planes de mantenimiento por actividad.

Tabla VI.7.
Sistema Hidráulico – Tareas Mecánicas

MECHANICAL MATRIX: CARGADOR FRONTAL 988H - SISTEMA HIDRÁULICO					
REFERENT CODE_No	TASK DESCRIPTION	FREC (HR/MES)	SHUT DOWN	HRS	MAN-POWER
EM-CFR-CIL-1-A-3	CAMBIAR PIN Y BUJE DE BASE DE CILINDRO	10 000 HR	YES	8	2

Fuente: Elaboración propia

NOTE: ALL TASKS SHOULD BE DONE BY SKILLED PERSONNEL.

Nota. La fuente de la estructura es (UCSM - Curso confiabilidad y costos de mantt., 2019)

Como resultado de la aplicación de la metodología RCM (Mantenimiento centrado en confiabilidad) se obtienen planes de mantenimiento por actividad.

Tabla VI.8. *Sistema Hidráulico – Tareas de Confiabilidad*
Sistema Hidráulico – Tareas de Confiabilidad

MECHANICAL MATRIX: CARGADOR FRONTAL 988H - SISTEMA HIDRÁULICO					
REFERENT CODE_No	TASK DESCRIPTION	FREC (HR/MES)	SHUT DOWN	HRS	MAN-POWER
EM-CFR-CIL-1-B-4	ANÁLISIS DE ACEITE HIDRAULICO	500 HR	YES	1	1
EM-CFR-PUM-1-A-1	ANÁLISIS DE ACEITE HIDRAULICO	500 HR	YES	1	1
EM-CFR-PUM-1-A-2	ANÁLISIS DE ACEITE HIDRAULICO	500 HR	YES	1	1
EM-CFR-PUM-1-A-3	ANÁLISIS DE ACEITE HIDRAULICO	500 HR	YES	1	1
EM-CFR-PUM-1-A-4	ANÁLISIS DE ACEITE HIDRAULICO	500 HR	YES	1	1
EM-CFR-PUM-1-A-5	ANÁLISIS DE ACEITE HIDRAULICO	500 HR	YES	1	1
EM-CFR-PUM-1-B-2	ANÁLISIS DE ACEITE HIDRAULICO	500 HR	YES	1	1
EM-CFR-PUM-1-B-3	ANÁLISIS DE ACEITE HIDRAULICO	500 HR	YES	1	1
EM-CFR-PUM-1-B-4	ANÁLISIS DE ACEITE HIDRAULICO	500 HR	YES	1	1

Fuente: Elaboración propia

NOTE: ALL TASKS SHOULD BE DONE BY SKILLED PERSONNEL.

Nota. La fuente de la estructura es (UCSM - Curso confiabilidad y costos de mantt., 2019)

6.2.6. Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad de Camión Caterpillar 772

Tabla VI.9.

Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad del Camión Caterpillar 772

Equipo	Sistema	Grupo	Componentes	Intervalo	TAREAS PREVENTIVAS	TAREA	Costo (\$)
772	1000-ENGINE	1000-ENGINE	1000-ENGINE	10000	ENGINE RECONDITION - SEMI REPARACIÓN	PREVENTIVA	\$44,806.83
772	1000-ENGINE	1000-ENGINE	1000-ENGINE	250	MUESTREO DE ACEITE DE MOTOR	PREDICTIVO	\$30.00
772	1000-ENGINE	1000-ENGINE	1000-ENGINE	2000	EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE MOTOR	PREDICTIVO	\$1,000.00
772	1000-ENGINE	1000-ENGINE	1000-ENGINE	4000	BOROSCOPIA	PREDICTIVO	\$100.00
772	1000-ENGINE	1050-AIR INDUCTION AND EXHAUST	1052-TURBOCHARGER	10000	CAMBIO TURBOCHARGER	MECÁNICA	\$12,000.00
772	1000-ENGINE	1250-FUEL SYSTEM	1254-FUEL INJ VALVE/NOZZLE	10000	FUEL INJ VALVE/NOZZLE RECONDITION	PREVENTIVA	\$4,512.14
772	1000-ENGINE	1250-FUEL SYSTEM	1256-FUEL TRANSFER PUMP	10000	FUEL TRANSFER PUMP RECONDITION	PREVENTIVA	\$275.37
772	1000-ENGINE	1250-FUEL SYSTEM	1254-FUEL INJ VALVE/NOZZLE	500	MUESTREO DE COMBUSTIBLE	PREDICTIVO	\$30.00
772	1000-ENGINE	1350-ENGINE COOLING SYSTEM	1353-RADIATOR	10000	RADIATOR RECONDITION	PREVENTIVA	\$3,529.09
772	1000-ENGINE	1350-ENGINE COOLING SYSTEM	1361-WATER PUMP	10000	WATER PUMP RECONDITION	PREVENTIVA	\$872.93
772	1000-ENGINE	1350-ENGINE COOLING SYSTEM	1365-BRAKE/AXLE OIL COOLER	10000	BRAKE/AXLE OIL COOLER RECONDITION	PREVENTIVA	\$2,384.58
772	1000-ENGINE	1350-ENGINE COOLING SYSTEM	1386-HYDRAULIC FAN MOTOR	7000	HYDRAULIC FAN MOTOR RECONDITION	PREVENTIVA	\$1,008.39
772	1000-ENGINE	1400-ELECTRIC SYSTEM	1405-ALTERNATOR	10000	ALTERNATOR RECONDITION	PREVENTIVA	\$783.72
772	1000-ENGINE	1450-STARTING SYSTEM	1453-ELECTRIC STARTING MOTOR	10000	ELECTRIC STARTING MOTOR RECONDITION	PREVENTIVA	\$895.21
772	3000-TRANSMISSION	3000-TRANSMISSION AND DRIVE LINE	3002-TRANS & TRANSFER GEARS	10000	TRANS & TRANSFER GEARS RECONDITION	PREVENTIVA	\$27,359.00
772	3000-TRANSMISSION	3000-TRANSMISSION AND DRIVE LINE	3002-TRANS & TRANSFER GEARS	500	MUESTREO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	PREDICTIVO	\$30.00

Fuente: Elaboración propia

Equipo	Sistema	Grupo	Componentes	Intervalo	TAREAS PREVENTIVAS	TAREA	Costo (\$)
772	3000-TRANSMISSION	3000-TRANSMISSION AND DRIVE LINE	3002-TRANS & TRANSFER GEARS	500	CORTE DE FILTROS DE TRANSMISIÓN	PREDICTIVO	\$20.00
772	3000-TRANSMISSION	3000-TRANSMISSION AND DRIVE LINE	3002-TRANS & TRANSFER GEARS	500	INSPECCIÓN VISUAL DE FILTRO SCREEN DE TRANSMISIÓN	PREDICTIVO	\$20.00
772	3000-TRANSMISSION	3000-TRANSMISSION AND DRIVE LINE	3002-TRANS & TRANSFER GEARS	500	EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN	PREDICTIVO	\$1,000.00
772	3000-TRANSMISSION	3100-TORQUE CONVERTER, TORQUE DIVIDER, RETARDER	3101-TORQUE CONVERTER	10000	TORQUE CONVERTER RECONDITION	PREVENTIVO	\$13,410.90
772	3000-TRANSMISSION	3100-TORQUE CONVERTER, TORQUE DIVIDER, RETARDER	3108-PUMP DRIVE	10000	PUMP DRIVE RECONDITION	PREVENTIVO	\$241.30
772	3000-TRANSMISSION	3250-DRIVE LINE/DRIVE AXLE	3253-DRIVE SHAFT	7000	DRIVE SHAFT RECONDITION FRONT	PREVENTIVO	\$526.01
772	3000-TRANSMISSION	3250-DRIVE LINE/DRIVE AXLE	3253-DRIVE SHAFT	7000	DRIVE SHAFT RECONDITION REAR	PREVENTIVO	\$2,027.97
772	3000-TRANSMISSION	3250-DRIVE LINE/DRIVE AXLE	3258-DIFFERENTIAL	10000	DIFFERENTIAL RECONDITION	PREVENTIVO	\$10,591.40
772	3000-TRANSMISSION	3250-DRIVE LINE/DRIVE AXLE	3258-DIFFERENTIAL	500	MUESTREO DE ACEITE DE DIFERENCIAL DELANTERO	PREDICTIVO	\$30.00
772	3000-TRANSMISSION	3250-DRIVE LINE/DRIVE AXLE	3258-DIFFERENTIAL	500	MUESTREO DE ACEITE DE DIFERENCIAL POSTERIOR	PREDICTIVO	\$30.00
772	3000-TRANSMISSION	3250-DRIVE LINE/DRIVE AXLE	3253-DRIVE SHAFT	500	MUESTREO DE ACEITE DE MANDO FINAL DELANTERO DERECHO	PREDICTIVO	\$30.00
772	3000-TRANSMISSION	3250-DRIVE LINE/DRIVE AXLE	3253-DRIVE SHAFT	500	MUESTREO DE ACEITE DE MANDO FINAL DELANTERO IZQUIERDO	PREDICTIVO	\$30.00
772	3000-TRANSMISSION	3250-DRIVE LINE/DRIVE AXLE	3253-DRIVE SHAFT	500	MUESTREO DE ACEITE DE MANDO FINAL POSTERIOR DERECHO	PREDICTIVO	\$30.00
772	3000-TRANSMISSION	3250-DRIVE LINE/DRIVE AXLE	3253-DRIVE SHAFT	500	MUESTREO DE ACEITE DE MANDO FINAL POSTERIOR IZQUIERDO	PREDICTIVO	\$30.00
772	3000-TRANSMISSION	3250-DRIVE LINE/DRIVE AXLE	3258-DIFFERENTIAL	500	INSPECCIÓN VISUAL DE TAPÓN MAGNÉTICO	PREDICTIVO	\$20.00
772	3000-TRANSMISSION	3100-TORQUE CONVERTER, TORQUE DIVIDER, RETARDER	3115-TC/TRANS SCAVENGE PUMP	10000	TC/TRANS SCAVENGE PUMP RECONDITION	PREVENTIVO	\$2,955.20
772	4000-DRIVE TRAIN	4300-STEERING SYSTEM	4303-STEERING CYLINDER	7000	STEERING CYLINDER RECONDITION	PREVENTIVO	\$1,269.15
772	4000-DRIVE TRAIN	4200-WHEEL & TIRE	4208-WHEEL ASSEMBLY	10000	WHEEL ASSEMBLY RECONDITION FRONT	PREVENTIVO	\$6,507.70
772	4000-DRIVE TRAIN	4200-WHEEL & TIRE	4208-WHEEL ASSEMBLY	10000	WHEEL ASSEMBLY RECONDITION REAR	PREVENTIVO	\$21,226.17
772	4000-DRIVE TRAIN	4250-BRAKING SYSTEM	4251-SERVICE BRAKE	10000	SERVICE BRAKE RECONDITION FRONT	PREVENTIVO	\$2,712.49

Fuente: Elaboración propia

Equipo	Sistema	Grupo	Componentes	Intervalo	TAREAS PREVENTIVAS	TAREA	Costo (\$)
772	4000-DRIVE TRAIN	4250-BRAKING SYSTEM	4251-SERVICE BRAKE	10000	SERVICE BRAKE RECONDITION REAR	PREVENTIVA	\$16,347.65
772	4000-DRIVE TRAIN	4050-FINAL DRIVE	4050-FINAL DRIVE	10000	FINAL DRIVE RECONDITION	PREVENTIVA	\$5,770.03
772	4000-DRIVE TRAIN	4300-STEERING SYSTEM	4306-STEERING PUMP	7000	STEERING PUMP RECONDITION	PREVENTIVA	\$1,781.07
772	4000-DRIVE TRAIN	4300-STEERING SYSTEM	4312-STEERING METERING PUMP	8000	STEERING METERING PUMP RECONDITION	PREVENTIVA	\$396.03
772	4000-DRIVE TRAIN	4300-STEERING SYSTEM	4324-SECONDARY STRG PUMP	7000	SECONDARY STRG PUMP RECONDITION	PREVENTIVA	\$956.35
772	5050-HYDRAULIC SYSTEM	5050-HYDRAULIC SYSTEM	5102-LIFT/HOIST CYLINDER	7000	LIFT/HOIST CYLINDER RECONDITION	PREVENTIVA	\$20,761.53
772	5050-HYDRAULIC SYSTEM	5050-HYDRAULIC SYSTEM	5083-HYDRAULIC HOIST PUMP	7000	HYDRAULIC HOIST PUMP RECONDITION	PREVENTIVA	\$1,244.42
772	5050-HYDRAULIC SYSTEM	5050-HYDRAULIC SYSTEM	5050-HYDRAULIC SYSTEM	500	CORTE DE FILTROS DEL SISTEMA HIDRÁULICO	PREDICTIVO	\$20.00
772	5050-HYDRAULIC SYSTEM	5050-HYDRAULIC SYSTEM	5050-HYDRAULIC SYSTEM	2000	EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE SISTEMA HIDRÁULICO	PREDICTIVO	\$1,000.00
772	7000-MACHINE	7200-SUSPENSION	7201-SUSPENSION CYLINDER	7000	SUSPENSION CYLINDER RECONDITION FRONT	PREVENTIVA	\$13,348.87
772	7000-MACHINE	7200-SUSPENSION	7213-REAR SUSPENSION CYLINDER	7000	REAR SUSPENSION CYLINDER RECONDITION	PREVENTIVA	\$6,754.43
772	7000-MACHINE	CHASIS	CHASIS	20000	REPARACIÓN DE TOLVA	PREVENTIVA	\$13,348.87
772	4000-DRIVE TRAIN	4200-WHEEL & TIRE	4200-WHEEL & TIRE	8000	CAMBIO DE NEUMÁTICO P1	MECÁNICA	\$6,408.86
772	4000-DRIVE TRAIN	4200-WHEEL & TIRE	4200-WHEEL & TIRE	8000	CAMBIO DE NEUMÁTICO P2	MECÁNICA	\$6,408.86
772	4000-DRIVE TRAIN	4200-WHEEL & TIRE	4200-WHEEL & TIRE	8000	CAMBIO DE NEUMÁTICO P3	MECÁNICA	\$6,408.86
772	4000-DRIVE TRAIN	4200-WHEEL & TIRE	4200-WHEEL & TIRE	8000	CAMBIO DE NEUMÁTICO P4	MECÁNICA	\$6,408.86
772	4000-DRIVE TRAIN	4200-WHEEL & TIRE	4200-WHEEL & TIRE	8000	CAMBIO DE NEUMÁTICO P5	MECÁNICA	\$6,408.86
772	4000-DRIVE TRAIN	4200-WHEEL & TIRE	4200-WHEEL & TIRE	8000	CAMBIO DE NEUMÁTICO P6	MECÁNICA	\$6,408.86
772	4000-DRIVE TRAIN	4200-WHEEL & TIRE	4200-WHEEL & TIRE	250	MEDIR REMANENTE DE COCADA	PREDICTIVO	\$20.00

Fuente: Elaboración propia

6.2.7. Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad de Cargador Frontal Caterpillar 988H

Tabla VI.10.

Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad del Cargador Frontal Caterpillar 988H

Equipo	Sistema	Grupo	Componentes	Intervalo	TAREAS PREVENTIVAS	TAREA	Costo (\$)
988H	1000-ENGINE	1000-ENGINE	1000-ENGINE	10000	ENGINE RECONDITION - SEMI REPARACIÓN	PREVENTIVA	\$29,819.19
988H	1000-ENGINE	1000-ENGINE	1000-ENGINE	250	MUESTREO DE ACEITE DE MOTOR	PREDICTIVO	\$30.00
988H	1000-ENGINE	1000-ENGINE	1000-ENGINE	2000	EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE MOTOR	PREDICTIVO	\$1,000.00
988H	1000-ENGINE	1000-ENGINE	1000-ENGINE	4000	BOROSCOPIA	PREDICTIVO	\$100.00
988H	1000-ENGINE	1050-AIR INDUCTION AND EXHAUST	1052-TURBOCHARGER	10000	CAMBIO DE TURBOCHARGER	MECÁNICA	\$14,000.00
988H	1000-ENGINE	1250-FUEL SYSTEM	1254-FUEL INJ VALVE/NOZZLE	500	MUESTREO DE COMBUSTIBLE	PREDICTIVO	\$30.00
988H	1000-ENGINE	1050-AIR INDUCTION AND EXHAUST	1063-AFTERCOOLER	10000	AFTERCOOLER RECONDITION	PREVENTIVA	\$1,178.42
988H	1000-ENGINE	1250-FUEL SYSTEM	1256-FUEL TRANSFER PUMP	10000	FUEL TRANSFER PUMP RECONDITION	PREVENTIVA	\$275.37
988H	1000-ENGINE	1250-FUEL SYSTEM	1290-UNIT INJECTOR	10000	UNIT INJECTOR RECONDITION	PREVENTIVA	\$4,612.94
988H	1000-ENGINE	1350-ENGINE COOLING SYSTEM	1353-RADIATOR	10000	RADIATOR RECONDITION AXLE OIL COOLER	PREVENTIVA	\$1,937.17
988H	1000-ENGINE	1350-ENGINE COOLING SYSTEM	1353-RADIATOR	10000	RADIATOR RECONDITION	PREVENTIVA	\$2,650.49
988H	1000-ENGINE	1350-ENGINE COOLING SYSTEM	1361-WATER PUMP	10000	WATER PUMP RECONDITION	PREVENTIVA	\$805.73
988H	1000-ENGINE	1350-ENGINE COOLING SYSTEM	1374-HYDRAULIC OIL COOLER	10000	HYDRAULIC OIL COOLER RECONDITION	PREVENTIVA	\$763.71
988H	1000-ENGINE	1350-ENGINE COOLING SYSTEM	1386-HYDRAULIC FAN MOTOR	8000	HYDRAULIC FAN MOTOR RECONDITION AXLE OIL COOLER	PREVENTIVA	\$1,037.74
988H	1000-ENGINE	1350-ENGINE COOLING SYSTEM	1386-HYDRAULIC FAN MOTOR	8000	HYDRAULIC FAN MOTOR RECONDITION	PREVENTIVA	\$1,889.31
988H	1000-ENGINE	1350-ENGINE COOLING SYSTEM	1387-HYDRAULIC FAN PUMP	8000	HYDRAULIC FAN PUMP RECONDITION AXLE OIL COOLER	PREVENTIVA	\$796.40

Fuente: Elaboración propia

Equipo	Sistema	Grupo	Componentes	Intervalo	TAREAS PREVENTIVAS	TAREA	Costo (\$)
988	H 1000-ENGINE	1350-ENGINE COOLING SYSTEM	1387-HYDRAULIC FAN PUMP	8000	HYDRAULIC FAN PUMP RECONDITION	PREVENTIVA	\$1,729.33
988	H 1000-ENGINE	1400-ELECTRIC SYSTEM	1405-ALTERNATOR	8000	ALTERNATOR RECONDITION	PREVENTIVA	\$783.72
988	H 1000-ENGINE	1450-STARTING SYSTEM	1453-ELECTRIC STARTING MOTOR	8000	ELECTRIC STARTING MOTOR RECONDITION	PREVENTIVA	\$861.61
988	H 3000-TRANSMISSION	3000-TRANSMISSION AND DRIVE LINE	3002-TRANS & TRANSFER GEARS	10000	TRANS & TRANSFER GEARS RECONDITION	PREVENTIVA	\$30,539.64
988	H 3000-TRANSMISSION	3100-TORQUE CONVERTER, TORQUE DIVIDER, RETARDER	3101-TORQUE CONVERTER	10000	TORQUE CONVERTER RECONDITION	PREVENTIVA	\$12,296.29
988	H 3000-TRANSMISSION	3250-DRIVE LINE/DRIVE AXLE	3253-DRIVE SHAFT	10000	DRIVE SHAFT RECONDITION INPUT	PREVENTIVA	\$582.25
988	H 3000-TRANSMISSION	3250-DRIVE LINE/DRIVE AXLE	3253-DRIVE SHAFT	10000	DRIVE SHAFT RECONDITION REAR	PREVENTIVA	\$2,290.92
988	H 3000-TRANSMISSION	3250-DRIVE LINE/DRIVE AXLE	3253-DRIVE SHAFT	10000	DRIVE SHAFT RECONDITION FRONT	PREVENTIVA	\$2,401.05
988	H 3000-TRANSMISSION	3250-DRIVE LINE/DRIVE AXLE	3253-DRIVE SHAFT	10000	DRIVE SHAFT RECONDITION CENTER	PREVENTIVA	\$3,207.94
988	H 3000-TRANSMISSION	3250-DRIVE LINE/DRIVE AXLE	3258-DIFFERENTIAL	10000	DIFFERENTIAL RECONDITION FRONT	PREVENTIVA	\$8,931.66
988	H 3000-TRANSMISSION	3250-DRIVE LINE/DRIVE AXLE	3258-DIFFERENTIAL	10000	DIFFERENTIAL RECONDITION REAR	PREVENTIVA	\$8,998.86
988	H 3000-TRANSMISSION	3050-CLUTCH AND TRANSMISSION	3066-TRANSMISSION OIL PUMP	10000	TRANSMISSION OIL PUMP RECONDITION	PREVENTIVA	\$2,678.27
988	H 3000-TRANSMISSION	3250-DRIVE LINE/DRIVE AXLE	3278-DRIVE AXLE	10000	DRIVE AXLE RECONDITION FRONT	PREVENTIVA	\$912.91
988	H 3000-TRANSMISSION	3250-DRIVE LINE/DRIVE AXLE	3278-DRIVE AXLE	10000	DRIVE AXLE RECONDITION REAR	PREVENTIVA	\$960.40
988	H 3000-TRANSMISSION	3250-DRIVE LINE/DRIVE AXLE	3260-AXLE HOUSING ASSEMBLY	10000	AXLE HOUSING ASSEMBLY REMOVE & INSTALL FRONT	PREVENTIVA	\$302.40
988	H 3000-TRANSMISSION	3250-DRIVE LINE/DRIVE AXLE	3260-AXLE HOUSING ASSEMBLY	10000	AXLE HOUSING ASSEMBLY REMOVE & INSTALL REAR	PREVENTIVA	\$302.40
988	H 3000-TRANSMISSION	3250-DRIVE LINE/DRIVE AXLE	3268-AXLE HOUSING SUPPORT/TRUN	10000	AXLE HOUSING SUPPORT/TRUN RECONDITION BEARING	PREVENTIVA	\$3,592.64
988	H 3000-TRANSMISSION AND DRIVE LINE	3000-TRANSMISSION AND DRIVE LINE	3002-TRANS & TRANSFER GEARS	500	MUESTREO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN	PREDICTIVO	\$30.00

Fuente: Elaboración propia

Equipo	Sistema	Grupo	Componentes	Intervalo	TAREAS PREVENTIVAS	TAREA	Costo (\$)
988H	3000-TRANSMISSION AND DRIVE LINE	3000-TRANSMISSION AND DRIVE LINE	3002-TRANS & TRANSFER GEARS	500	CORTE DE FILTROS DE TRANSMISIÓN	PREDICTIVO	\$20.00
988H	3000-TRANSMISSION AND DRIVE LINE	3000-TRANSMISSION AND DRIVE LINE	3002-TRANS & TRANSFER GEARS	500	INSPECCIÓN VISUAL DE FILTRO SCREEN DE TRANSMISIÓN	PREDICTIVO	\$20.00
988H	3000-TRANSMISSION AND DRIVE LINE	3000-TRANSMISSION AND DRIVE LINE	3002-TRANS & TRANSFER GEARS	500	EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN	PREDICTIVO	\$1,000.00
988H	4000-DRIVE TRAIN	4300-STEERING SYSTEM	4303-STEERING CYLINDER	8000	STEERING CYLINDER RECONDITION	PREVENTIVO	\$2,829.37
988H	4000-DRIVE TRAIN	4250-BRAKING SYSTEM	4251-SERVICE BRAKE	8000	SERVICE BRAKE RECONDITION	PREVENTIVO	\$7,065.81
988H	4000-DRIVE TRAIN	4250-BRAKING SYSTEM	4267-PARKING BRAKE	8000	PARKING BRAKE RECONDITION	PREVENTIVO	\$2,294.01
988H	4000-DRIVE TRAIN	4050-FINAL DRIVE	4050-FINAL DRIVE	10000	FINAL DRIVE RECONDITION	PREVENTIVO	\$50,404.66
988H	4000-DRIVE TRAIN	4000-DRIVE TRAIN	4014-BRAKE & PILOT PUMP	8000	BRAKE & PILOT PUMP RECONDITION	PREVENTIVO	\$503.33
988H	4000-DRIVE TRAIN	4300-STEERING SYSTEM	4306-STEERING PUMP	12000	STEERING PUMP RECONDITION	PREVENTIVO	\$4,562.26
988H	4000-DRIVE TRAIN	4300-STEERING SYSTEM	4307-STEERING VALVE	12000	STEERING VALVE RECONDITION	PREVENTIVO	\$1,140.10
988H	4000-DRIVE TRAIN	4300-STEERING SYSTEM	4324-SECONDARY STRG PUMP	12000	SECONDARY STRG PUMP RECONDITION	PREVENTIVO	\$448.08
988H	4000-DRIVE TRAIN	4300-STEERING SYSTEM	4342-STEERING PILOT VALVE	12000	STEERING PILOT VALVE RECONDITION	PREVENTIVO	\$1,593.83
988H	5050-HYDRAULIC SYSTEM	5100-LIFT, TILT, TIP AND OTHER	5102-LIFT/HOIST CYLINDER	10000	LIFT/HOIST CYLINDER RECONDITION	PREVENTIVO	\$8,542.22
988H	5050-HYDRAULIC SYSTEM	5100-LIFT, TILT, TIP AND OTHER	5104-TILT CYLINDER	6000	TILT CYLINDER RECONDITION	PREVENTIVO	\$5,649.70
988H	5050-HYDRAULIC SYSTEM	5050-HYDRAULIC SYSTEM	5051-HYDRAULIC CONTROL VALVE	12000	HYDRAULIC CONTROL VALVE RECONDITION MAIN	PREVENTIVO	\$4,375.72
988H	5050-HYDRAULIC SYSTEM	5050-HYDRAULIC SYSTEM	5084-IMPLEMENT PUMP	10000	IMPLEMENT PUMP RECONDITION	PREVENTIVO	\$3,065.50
988H	5000-IMPLEMENT CONTROLS	5050-HYDRAULIC SYSTEM	5050-HYDRAULIC SYSTEM	500	CORTE DE FILTROS DEL SISTEMA HIDRÁULICO	PREDICTIVO	\$20.00
988H	5000-IMPLEMENT CONTROLS	5050-HYDRAULIC SYSTEM	5050-HYDRAULIC SYSTEM	2000	EVALUACIÓN DE PARAMÉTROS DE SISTEMA HIDRÁULICO	PREDICTIVO	\$1,000.00

Fuente: Elaboración propia

Equipo	Sistema	Grupo	Componentes	Intervalo	TAREAS PREVENTIVAS	TAREA	Costo (\$)
988H	6000-IMPLEMENTS	6100-LOADING IMPLEMENTS	6107-BUCKET CONTROL	10000	BUCKET CONTROL RECONDITION LINKAGE	PREVENTIVA	\$9,945.64
988H	6000-IMPLEMENTS	6500-EXCAVATOR / BACKHOE / FRONT SHOVEL / SURFACE EXTRACTION IMPLEMENTS	6501-BOOM	12000	BOOM RECONDITION	PREVENTIVA	\$11,421.76
988H	7000-MACHINE	7300-OPERATOR STATION	7301-CAB	12000	CAB REMOVE & INSTALL	PREVENTIVA	\$168.00
988H	7000-MACHINE	7050-FRAME	7057-ARTICULATION PIVOT PIN	12000	ARTICULATION PIVOT PIN RECONDITION	PREVENTIVA	\$6,810.78
988H	4000-DRIVE TRAIN	4200-WHEEL & TIRE	4200-WHEEL & TIRE	20000	CAMBIO DE NEUMÁTICO P1	PREVENTIVA	\$14,130.42
988H	4000-DRIVE TRAIN	4200-WHEEL & TIRE	4200-WHEEL & TIRE	20000	CAMBIO DE NEUMÁTICO P2	PREVENTIVA	\$14,130.42
988H	4000-DRIVE TRAIN	4200-WHEEL & TIRE	4200-WHEEL & TIRE	20000	CAMBIO DE NEUMÁTICO P3	PREVENTIVA	\$14,130.42
988H	4000-DRIVE TRAIN	4200-WHEEL & TIRE	4200-WHEEL & TIRE	20000	CAMBIO DE NEUMÁTICO P4	PREVENTIVA	\$14,130.42
988H	4000-DRIVE TRAIN	4200-WHEEL & TIRE	4200-WHEEL & TIRE	30000	CAMBIO DE CADENA P1	PREVENTIVA	\$6,810.78
988H	4000-DRIVE TRAIN	4200-WHEEL & TIRE	4200-WHEEL & TIRE	30000	CAMBIO DE CADENA P2	PREVENTIVA	\$6,810.78
988H	4000-DRIVE TRAIN	4200-WHEEL & TIRE	4200-WHEEL & TIRE	30000	CAMBIO DE CADENA P3	PREVENTIVA	\$6,810.78
988H	4000-DRIVE TRAIN	4200-WHEEL & TIRE	4200-WHEEL & TIRE	30000	CAMBIO DE CADENA P4	PREVENTIVA	\$6,810.78
988H	4000-DRIVE TRAIN	4200-WHEEL & TIRE	4200-WHEEL & TIRE	250	MEDIR REMANENTE DE COCADA	PREDICTIVA	\$20.00

Fuente: Elaboración propia

6.2.8. Definir la frecuencia eficiente de mantenimiento con análisis Weibull y costos.

6.2.9. Costo de Producción de Cargador Frontal Caterpillar 988H

6.2.9.1. Cálculo de Producción por hora de Cargador Frontal 988H

La producción del cargador frontal caterpillar 988H es 573.16 TM/Hr.

Cálculo de producción:

Seleccionar datos técnicos obtenidos de manual del fabricante Caterpillar

Figura VI.1. Datos técnicos del Cargador Frontal Caterpillar 988H

Datos Técnicos del Cargador Frontal Caterpillar 988H

MODELO								
	972H	980H	988H	990H	972H	980H	988H	990H
Potencia en el volante: Neta	214 kW	287 hp	260 kW	349 hp	373 kW	501 hp	468 kW	627 hp
Bruta	229 kW	307 hp	293 kW	392 hp	388 kW	520 hp	512 kW	687 hp
Carga útil nominal*	—	—	—	—	11,4 t	12,5 T	15 t	16,5 T
Carga bruta nominal del cucharón*	—	—	16.300 kg	36.000 lb	22.700 kg	50.000 lb	—	—
Modelo de motor	C13 ATAAC	C15 ATAAC	C18 ACERT	C27 ACERT	—	—	—	—
Clasificación de RPM del motor	1800	1800	1800	2000	—	—	—	—
Calibre	130 mm	5,1"	137 mm	5,4"	145 mm	5,7"	137 mm	5,4"
Carrera	157 mm	6,2"	171 mm	6,75"	183 mm	7,2"	152 mm	6"
Número de cilindros	6	6	6	12	—	—	—	—
Cilindrada	12,5 L	763 pulg ³	15,2 L	928 pulg ³	18,1 L	1104,5 pulg ³	27,1 L	1666 pulg ³
Velocidades de avance	km/h	mph	km/h	mph	km/h	mph	km/h	mph
1a.	7,2	4,5	6,6	4,1	6,7	4,2	7,0	4,3
2a.	12,6	7,8	11,8	7,3	11,8	7,3	12,1	7,5
3a.	21,4	13,3	20,7	12,9	20,8	12,9	20,8	13,0
4a.	36,9	22,9	36,3	22,6	36,0	22,3	—	—
Velocidades de retroceso	km/h	mph	km/h	mph	km/h	mph	km/h	mph
1a.	8,2	5,1	7,6	4,7	7,6	4,7	7,7	4,8
2a.	14,2	8,8	13,5	8,4	13,5	8,4	13,4	8,3
3a.	24,3	15,1	23,6	14,7	23,7	14,7	22,9	14,2
4a.	38,8	24,0	41,5	25,8	—	—	—	—
Tiempo del ciclo hidráulico, con carga nominal en cucharón:	Segundos	Segundos	Segundos	Segundos	Segundos	Segundos	Segundos	Segundos
Levantamiento	5,9	6,0	9,4	9,2	—	—	—	—
Descarga	2,1	2,1	2,4	2,9	—	—	—	—
Desenso libre (vacío)	2,4	3,4	3,8	3,8	—	—	—	—
Total	10,4	11,5	15,6	15,9	—	—	—	—
Entrevía	2,23 m	7'4"	2,44 m	8'0"	2,59 m	8'6"	3,1 m	10'2"
Ancho con neumáticos	3,00 m	9'10"	3,23 m	10'7"	3,54 m	11'7"	4,1 m	13'5"
Espacio libre sobre el suelo	494 mm	20"	442 mm	17,4"	549 mm	22"	478 mm	18,8"
Capac. del tanque de combustible	380 L	100 gal. EE.UU.	479 L	127 gal. EE.UU.	712 L	188 gal. EE.UU.	1074 L	284 gal. EE.UU.
Capac. del tanque hidráulico	110 L	29 gal. EE.UU.	125 L	33 gal. EE.UU.	267 L	70 gal. EE.UU.	174 L	46 gal. EE.UU.
Capac. del sistema hidráulico (incluyendo el tanque)	200 L	52 gal. EE.UU.	250 L	66 gal. EE.UU.	470 L	124 gal. EE.UU.	435 L	115 gal. EE.UU.

Nota. Información técnica del cargador frontal Caterpillar 988H. Reproducida del gráfico Datos Técnicos del Cargador Frontal Caterpillar 988H, CC BY 2.0.

Fuente: Caterpillar H. E. (2018).

Figura VI.2.

Datos Técnicos del Cargador Frontal Caterpillar 988H

Tipo de cucharón		Varillaje de 4,25 metros						
		En "V" para rocas (Cucharón estándar) con dientes y segmentos	Ancho en "V" para rocas con dientes y segmentos	En "V" para rocas BOCE	Recta para rocas con dientes y segmentos	Servicio pesado en canteras con dientes y segmentos	Alta abrasión con dientes y segmentos	De uso general con BOCE
Capacidad colmado	m ³ yd ³	6,4 8,33	6,9 9,0	6,9 9,0	6,3 8,2	6,4 8,33	6,4 8,33	7,0 9,2
Capacidad a ras	m ³ yd ³	5,3 6,9	5,7 7,5	5,7 7,5	5,2 6,8	5,3 6,9	5,3 6,9	5,9 7,7
Capacidad nominal de carga de trabajo	kg lb	11.340 25.000	11.340 25.000	11.340 25.000	11.340 25.000	11.340 25.000	11.340 25.000	11.340 25.000
Ancho del cucharón	mm pies/pulg	3810 12'6"	3980 13'1"	3984 13'0"	3800 12'6"	3882 12'8"	3926 12'11"	3895 12'12"
Altura de descarga a 45° a levantamiento máximo	Con dientes	mm pies/pulg	3879 12'9"	3823 12'7"	— —	4148 13'7"	3790 12'5"	3880 12'8"
	Sin dientes	mm pies/pulg	4155 13'8"	4095 13'5"	4051 13'3"	4424 14'6"	4141 13'7"	4225 13'10"
Alcance de descarga a levantamiento máximo, a 45°	Con dientes	mm pies/pulg	2126 7'0"	2182 7'2"	— —	1863 6'1"	2173 7'2"	2145 7'0"
	Sin dientes	mm pies/pulg	1591 5'3"	1652 5'5"	1699 5'7"	1623 5'4"	1641 5'5"	1674 5'6"
Alcance con brazos horizontales y el cucharón a nivel	Con dientes	mm pies/pulg	4568 15'0"	4647 15'3"	— —	4192 13'9"	4665 15'4"	4595 15'1"
	Sin dientes	mm pies/pulg	3805 12'6"	3890 12'9"	3947 12'11"	3850 12'8"	3905 12'10"	3922 12'10"
Profundidad de excavación	mm pulg	226 8'11"	226 8'11"	216 8'6"	226 8'11"	256 10'1"	226 8'11"	222 8'8"
Longitud total	Con dientes	mm pies/pulg	12.658 41'6"	12.738 41'9"	— —	12.283 40'4"	12.774 41'11"	12.686 41'7"
	Sin dientes	mm pies/pulg	12.321 40'5"	12.406 40'8"	12.426 40'9"	11.941 39'2"	12.358 40'7"	12.223 40'1"
Altura total con el cucharón a levantamiento máximo	mm pies/pulg	8112 26'7"	8186 26'10"	8186 26'10"	8112 26'7"	8112 26'7"	8112 26'7"	8111 26'7"
	Con dientes	mm pies/pulg	17.574 57'8"	17.758 58'4"	— —	17.648 56'10"	17.742 58'2"	17.746 58'2"
Círculo de giro del cargador con el cucharón en posición de acarreo	Sin dientes	mm pies/pulg	17.462 57'4"	17.656 58'0"	17.606 57'10"	17.476 57'4"	17.590 57'8"	17.624 57'10"
	kg lb	32.445 71.529	32.014 70.579	32.264 71.130	32.867 72.459	30.346 66.901	31.421 69.271	32.650 71.981
Carga límite de equilibrio estático, a giro pleno de 43°	kg lb	27.191 59.946	26.780 59.040	27.012 59.551	27.628 60.909	25.130 55.402	26.172 57.699	27.394 60.393
	kN lb	409,2 91.992	390,1 87.698	415,3 93.363	505,1 113.551	390,5 87.788	421,6 94.779	468,3 105.278

Nota. Información técnica del cargador frontal Caterpillar 988H. Reproducida del gráfico Datos Técnicos del Cargador Frontal Caterpillar 988H, CC BY 2.0.

Fuente: Caterpillar H. E. (2018).

Tabla VI.11.
Formulas del cálculo de producción de Cargador Frontal 988H

CÁLCULO DE PRODUCCIÓN FORMULA- CARGADOR FRONTAL

FORMULA:

Q

=

q

X

60

X

E

Cm

1.-

Q

=

Producción horaria

Densidad Material de canteras

1.62 (TM/m3)

2.-

q

=

Producción por ciclo

3.-

E

=

Eficiencia de trabajo (Tabla 3)

4.-

Cm

=

Tiempo de ciclo (min.)

Tabla N° 3 Eficiencia en el trabajo

Condiciones de operación	Mantenimiento de la máquina				
	Excelente	Bueno	Normal	Regular	Malo
Excelente	0.83	0.81	0.76	0.70	0.63
Bueno	0.78	0.75	0.71	0.65	0.60
Normal	0.72	0.69	0.65	0.60	0.54
Regular	0.63	0.61	0.57	0.52	0.45
Malo	0.52	0.50	0.47	0.42	0.32

2.-

q

=

q1

X

K

q1

=

Capacidad Colmada del cucharón

K

=

Factor del cucharon (Tabla 2)

Tabla N° 2. Factor K del cucharón.

Condiciones de carga		Factor
Carga fácil	Material en pila o material chancado por otras excavadoras como arena, suelos arenosos o contenido moderado de humedad, arcilla arenosa.	1.0 – 0.8
Carga promedio	Material en pila o materiales dificultosos de penetrar y cargas pero que pueden llegar a colmar el cucharón. Arena seca, suelos arenosos, suelos barrocos o arcillosos, grava, arena dura, materiales de banco. Caliza quebrada.	0.8 – 0.6
Carga medio dificultosa	Roca fina chancada, arcilla dura, arena gravosa, suelo arenoso. Suelos pegajosos con alta humedad apilados por excavadoras o materiales que dificultan llenar el cucharón.	0.6 – 0.5
Carga dificultosa	Rocas de formas irregulares. Rocas de voladuras, canto rodado, arena con canto rodado, suelos arenosos, arcilla. Materiales que no pueden ser llevados dentro del cucharón.	0.5 – 0.4

Cm: Tomaremos el tipo de carga en "V" por ser la más usada.

Cm=

D

X

2

+

D

X

2

+

Z

F

R

D

=

Distancia (m)

F

=

Velocidad delante (2da)(Km/h)

R

=

Velocidad retroceso (3ra)(Km/h)

Z

=

Tiempo fijo (minutos)

"Z"

	Cargando en "V"	Carga transversal	Carga y traslado
Marcha directa	0.25	0.35	---
Marcha automática	0.20	0.30	---
Power Shift	0.20	0.30	0.35

Fuente: Elaboración propia

Tabla VI.12.
Cálculo de producción de Cargador Frontal 988H

CÁLCULO de Q "Producción Horaria" CARGADOR FRONTAL 988H					
DESARROLLO:					
Q = $\frac{q}{Cm}$ X 60 X E					
Q = 351.63 (m³/Hr.)					
Q = 573.16 (TM/Hr.)					
Multiplicado por la densidad					
1.-	Q	=	Producción horaria		
2.-	q	=	Producción por ciclo		
3.-	E	=	Eficiencia de trabajo(Tabla 3)		
			E =	0.65	
4.-	Cm	=	Tiempo de ciclo (min.)		
Tabla N° 3 Eficiencia en el trabajo					
Condiciones de operación	Mantenimiento de la máquina				
	Excelente	Bueno	Normal	Regular	Malo
Excelente	0.83	0.81	0.76	0.70	0.63
Bueno	0.78	0.75	0.71	0.65	0.60
Normal	0.72	0.69	0.65	0.60	0.54
Regular	0.63	0.61	0.57	0.52	0.45
Malo	0.52	0.50	0.47	0.42	0.32
2.-	q	=	6.4	X	0.55
q		=	3.52 (m³)		
q ₁		=	Capacidad Colmada del cucharón		
K		=	Factor del cucharon (Tabla 2)		
Tabla N° 2. Factor K del cucharón.					
	Condiciones de carga				Factor
Carga fácil	Material en pila o material chancado por otras excavadoras como arena, suelos arenosos o contenido moderado de humedad, arcilla arenosa.				1.0 – 0.8
Carga promedio	Material en pila o materiales dificultosos de penetrar y cargas pero que pueden llegar a colmar el cucharón. Arena seca, suelos arenosos, suelos barrocos o arcillosos, grava, arena dura, materiales de banco. Caliza quebrada.				0.8 – 0.6
Carga medio dificultosa	Roca fina chancada, arcilla dura, arena gravosa, suelo arenoso. Suelos pegajosos con alta humedad apilados por excavadoras o materiales que dificultan llenar el cucharón.				0.6 – 0.5
Carga dificultosa	Rocas de formas irregulares. Rocas de voladuras, canto rodado, arena con canto rodado, suelos arenosos, arcilla. Materiales que no pueden ser llevados dentro del cucharón.				0.5 – 0.4
Cm: Tomaremos el tipo de carga en "V" por ser la más usada.					
Cm	=	$\frac{10}{11.8}$	X 2	+	$\frac{10}{23.7}$ X 2 + 0.2
Cm	=	$\frac{10}{157.33}$	X 2	+	$\frac{10}{316}$ X 2 + 0.2
Cm	=	0.13	+	0.06	+ 0.2
Cm	=	0.39 (min.)			

Fuente: Elaboración propia

6.2.9.2. Costo de Producción de Cargador Frontal Caterpillar 988H

En base a la producción de 573.16 TM/Hr., las horas de trabajo por año y el costo de cada tonelada producida se obtiene el costo unitario en dólares por tonelada.

El costo de producción del cargador frontal caterpillar 988H es de 2,096.12 \$/Tn.

En el siguiente cuadro se muestran los cálculos del costo de producción:

Tabla VI.13. Cálculo de Costo de Producción

Cálculo de Costo de Producción

	Producción (TM/Hr.)	Hrs. trabajadas	INGRESOS		\$/Tn
Año 1	573.16	3793	S/. 27,827,038.90	\$7,950,582.54	\$2,096.12
Año 2	573.16	3616	S/. 26,528,492.66	\$7,579,569.33	\$2,096.12
Año 3	573.16	3650	S/. 26,777,930.92	\$7,650,837.41	\$2,096.12

\$/Tn	\$2,096.12
-------	------------

Fuente: Elaboración propia

6.2.10. Costo de Producción de camión caterpillar 772

6.2.10.1. Cálculo de Producción por hora de camión caterpillar 772

La producción del camión caterpillar 772 es 307.91 TM/Hr.

Cálculo de producción:

Seleccionar datos técnicos obtenidos de manual del fabricante caterpillar

Figura VI.3. Datos Técnicos del Camión Caterpillar 772

Datos Técnicos del Camión Caterpillar 772 – Capacidad

Especificaciones		Camiones de obras y minería	
MODELO		770	772
Tipo de caja		Impacto mediano Piso plano de acero	Impacto mediano Doble declive de acero
Peso bruto del vehículo		71.214 kg 157.000 lb	82.100 kg 181.000 lb
Peso del chasis*		24.613 kg 54.262 lb	25.425 kg 56.053 lb
Peso del sistema de caja		10.029 kg 22.110 lb	10.439 kg 23.013 lb
Carga útil ideal**		36.572 kg 80.628 lb	46.262 kg 101.934 lb
Capacidad:			
A ras (SAE)		16,4 m³ 21,5 yd³	23,3 m³ 30,5 yd³
Colmado (2:1) (SAE)		25,1 m³ 32,8 yd³	31,3 m³ 41,0 yd³
Distribución del peso (vacío):			
Delante		48%	48%
Detrás		52%	52%
Distribución del peso (cargado):			
Delante		33%	33%
Detrás		67%	67%
Modelo de motor		C15 ACERT	C18 ACERT
Número de cilindros		6	6
Calibre		137 mm 5,4"	145 mm 5,7"
Cámara		171 mm 6,7"	183 mm 7,2"
Cilindrada		15 L 928 pulg³	18 L 1105 pulg³
Potencia neta		355 kW 476 hp	399 kW 535 hp
Potencia bruta		381 kW 511 hp	440 kW 598 hp
Neumáticos estándar		18.00R33 (E4)	21.00R33 (E4)
Radio de giro de la máquina		20,2 m 66'3"	21,6 m 70'10"
Capacidad del tanque de combustible		529 L 140 gal. EE.UU.	529 L 140 U.S. gal gal. EE.UU.
Velocidad máxima (cargado)		74,8 km/h 46,5 mph	79,7 km/h 49,5 mph
DIMENSIONES PRINCIPALES (Vacío):			
Altura hasta el borde del protector de rocas de la cabina		4,14 m 13'7"	4,22 m 13'10"
Distancia entre ejes		3,96 m 13'0"	3,96 m 13'0"
Longitud total (de operación)		8,74 m 28'9"	8,74 m 28'9"
Longitud total (de embarque)		8,74 m 28'9"	8,74 m 28'9"
Altura de carga (vacío)		3,12 m 10'3"	3,50 m 11'6"
Altura en posición de descarga		8,28 m 27'2"	8,36 m 27'5"
Longitud de la caja		5,55 m 18'3"	5,55 m 18'3"
Ancho (operación)		4,75 m 15'8"	4,75 m 15'8"
Ancho (embarque)***		3,96 m 13'0"	3,96 m 13'0"
Entrevía de neumáticos delanteros		3,11 m 10'3"	3,17 m 10'5"

*Los pesos incluyen lubricantes, refrigerantes y tanque de combustible lleno.

**Vea la Política 101020 de Caterpillar de carga útil para camiones de construcción y de cantera.

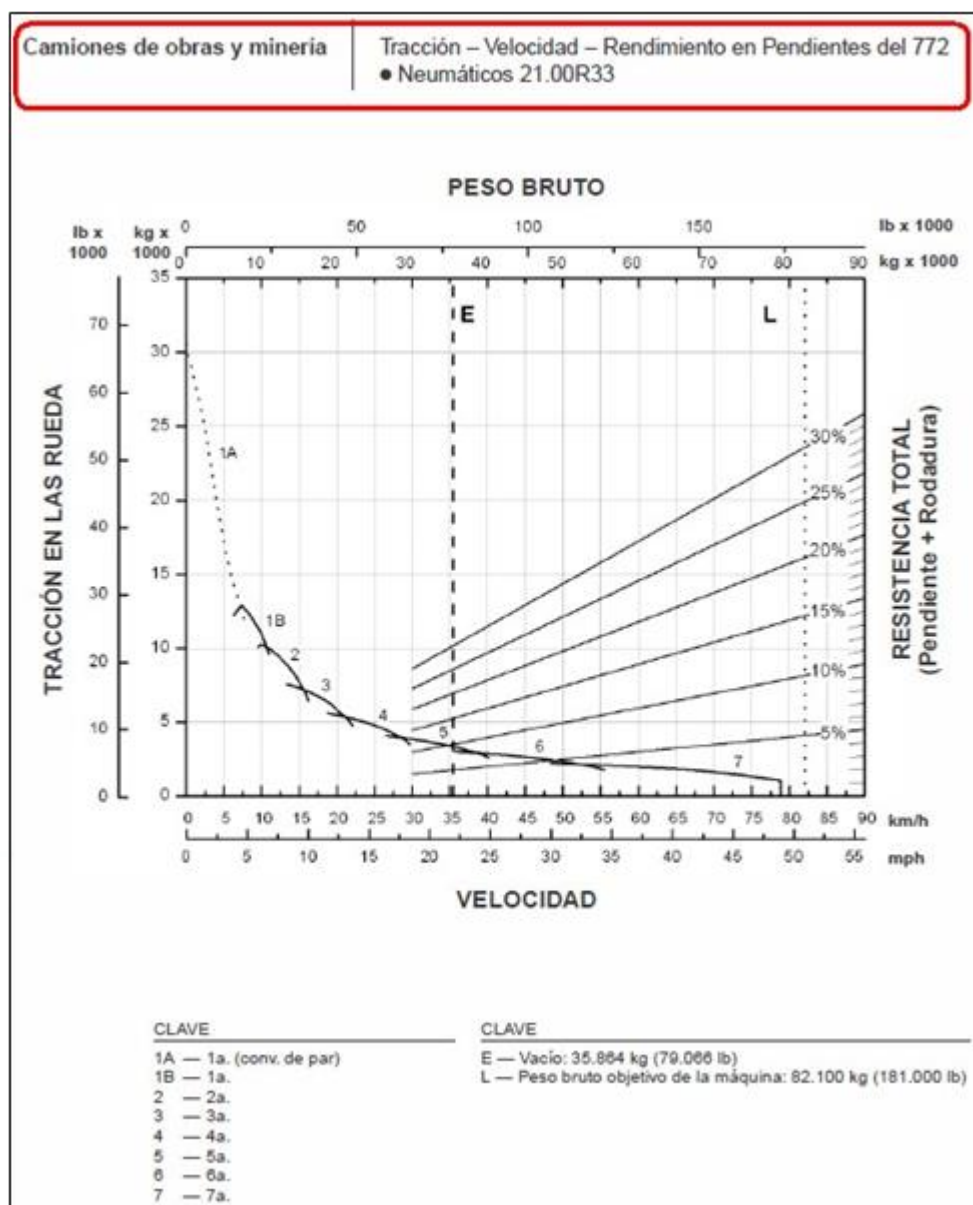
***Desarmado.

Nota. Datos técnicos y capacidad del camión Caterpillar 772. Reproducida del gráfico Datos Técnicos del Camión Caterpillar 772 – Capacidad, de (Caterpillar H. E., 2018). CC BY 2.0

Fuente: Caterpillar H. E. (2018).

Figura VI.4.

Datos Técnicos del Camión Caterpillar 772 – Velocidad y Tracción

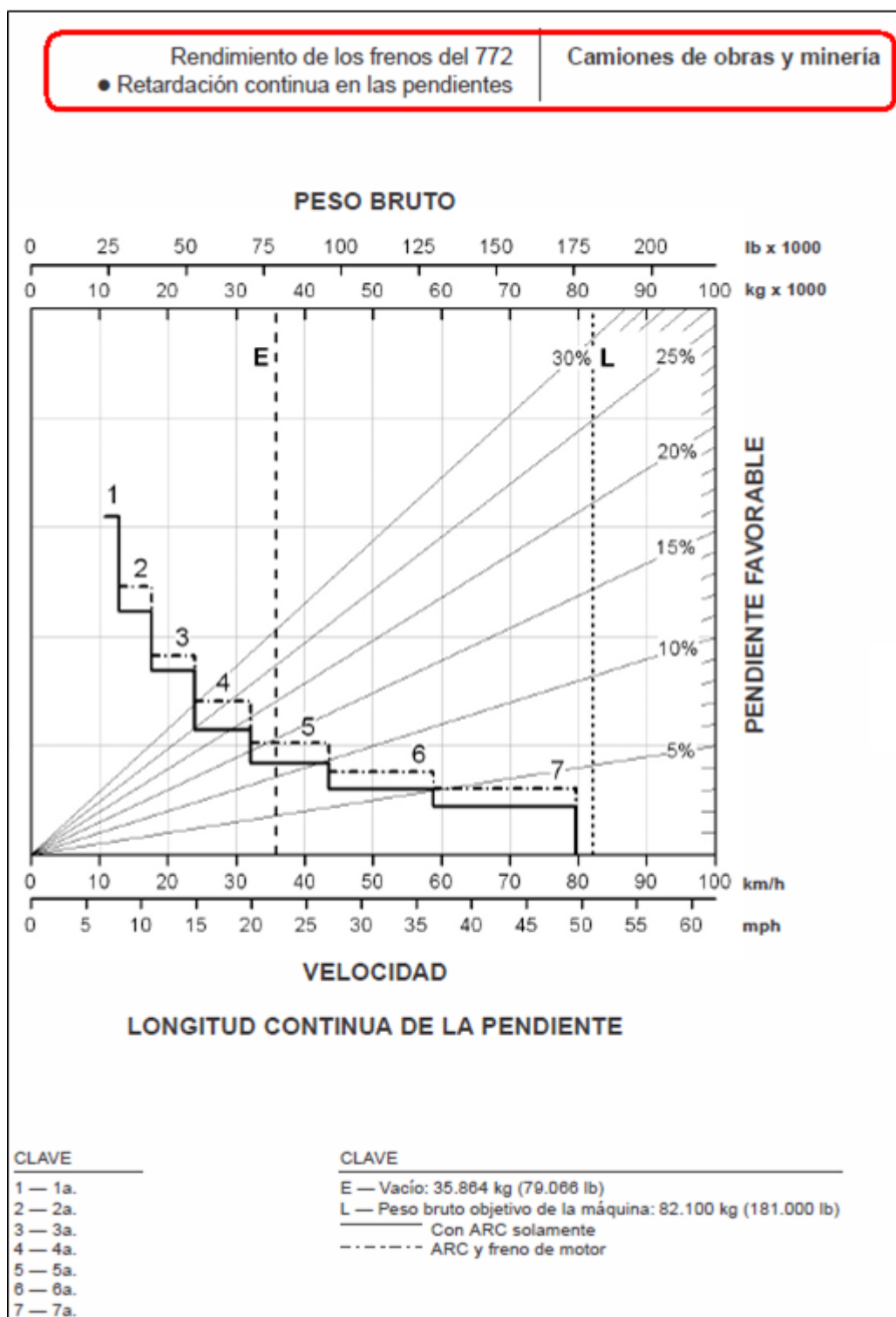


Nota. Datos técnicos de velocidad y tracción del camión Caterpillar 772. Reproducida del gráfico Datos Técnicos del Camión Caterpillar 772 – Velocidad y Tracción, CC BY 2.0.

Fuente: Caterpillar H. E. (2018).

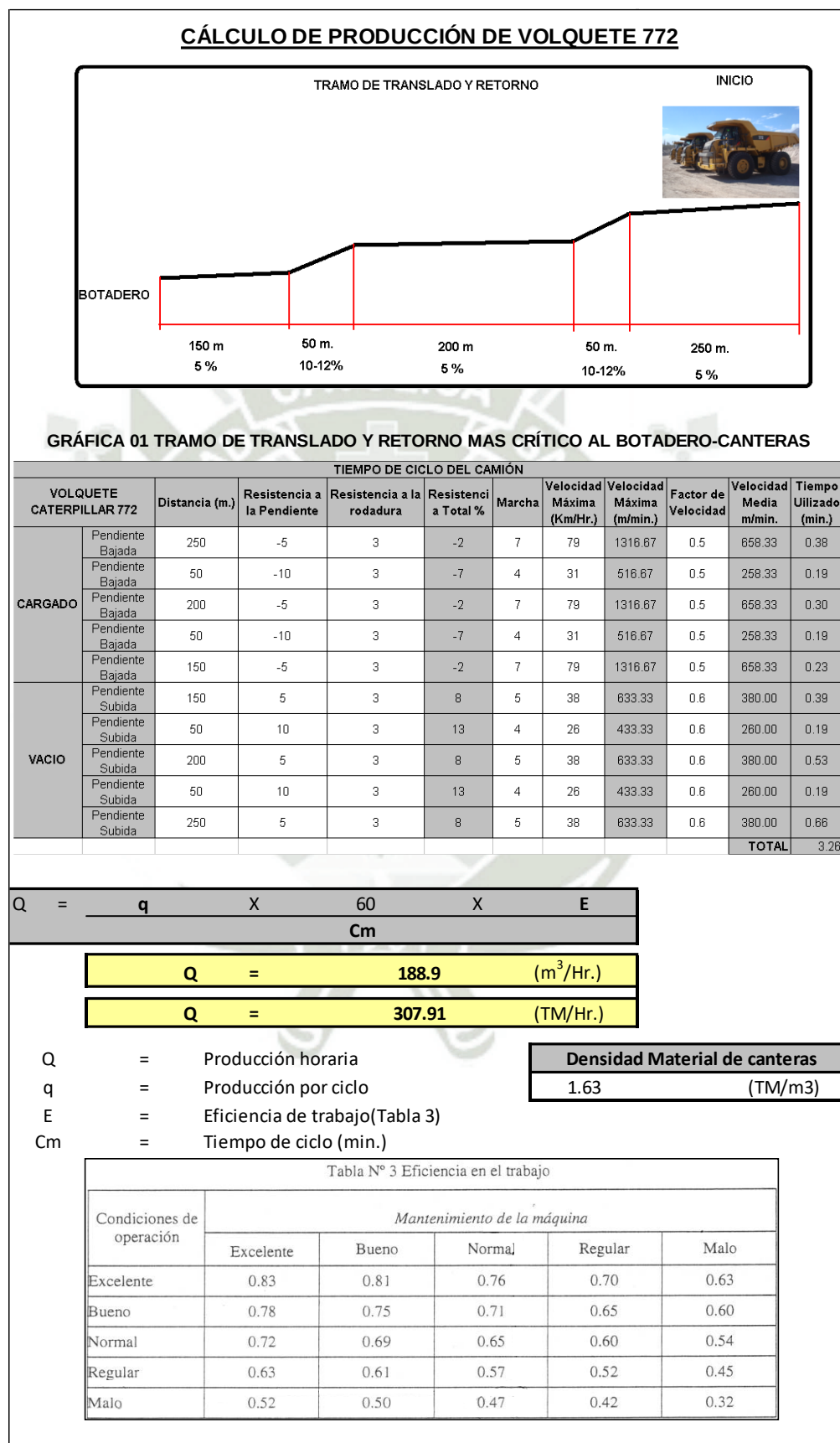
Figura VI.5.

Datos Técnicos del Camión Caterpillar 772 – Velocidad y Pendiente



Nota. Datos técnicos de velocidad y pendiente del camión Caterpillar 772. Reproducida del gráfico Datos Técnicos del Camión Caterpillar 772 – Velocidad y Pendiente, CC BY 2.0.

Fuente: Caterpillar H. E. (2018).

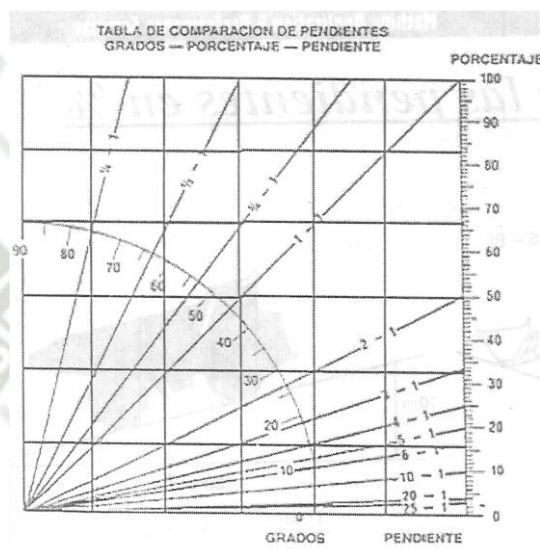
Tabla VI.14.
Cálculo de producción de Camión Caterpillar 772


	(min.)
A) TIEMPO DE CARGUIO	1.75
B) TIEMPO DE VOLTEO Y STAND BY	1.15
C) TIEMPO DE POSICIONAMIENTO Y COMIENZO	0.3
D) TIEMPO DE CICLO DEL CAMIÓN	3.26
TOTAL (Cm)	6.46

Capacidad nominal del Tolva (m3) tolva	31.3
Eficiencia	0.65

EQUIVALENCIAS ENTRE GRADOS Y

GRADOS	PORCENTAJES
1	1.8
2	3.5
3	5.2
4	7
5	8.8
6	10.5
7	12.3
8	14
9	15
10	17.6
11	19.4
12	21.3
13	23.1
14	24.9
15	26.8



FACTORES TÍPICOS DE RESISTENCIA A LA RODADURA

TERRENO	% DE RESISTENCIA A LA RODADURA*	
	Neumáticos Telas Radiales	Cadena **
Camino muy duro y liso de hormigón, asfalto frío o tierra, sin penetración ni flexión de los neumáticos	1,5%*	1,2% 0%
Camino estabilizado, pavimentado, duro y liso que no cede bajo el peso, regado y conservado	2,0%	1,7% 0%
Camino firme y liso, de tierra o capa ligera, que cede un poco bajo carga o irregular, conservado con regularidad, regado	3,0%	2,5% 0%
Camino de tierra, desigual o que flexiona bajo carga, conservado irregularmente, sin regar, flexión o penetración de los neumáticos de 25 mm (1")	4,0%	4,0% 0%
Camino de tierra, desigual o que flexiona bajo carga, conservado irregularmente, sin regar, flexión o penetración de los neumáticos de 50 mm (2")	5,0%	5,0% 0%
Camino irregular, blando, sin conservación, sin estabilizar, flexión o penetración de los neumáticos de 100 mm (4")	8,0%	8,0% 0%
Aréa o grava suelta	10,0%	10,0% 2%
Camino irregular, blando, sin conservación, sin estabilizar, flexión o penetración de los neumáticos de 200 mm (8")	14,0%	14,0% 5%
Camino muy blando, lanoso, irregular, sin flexión pero con penetración de neumáticos de 300 mm (12")	20,0%	20,0% 8%

*Porcentaje del peso combinado de la máquina.

Fuente: Elaboración propia.

6.2.10.2. Costo de Producción de Camión Caterpillar modelo 772

En base a la producción de 307.91 TM/Hr., las horas de trabajo por año y el costo de cada tonelada producida se obtiene el costo unitario en dólares por tonelada.

El costo de producción del camión Caterpillar modelo 772 en el contexto operacional es de **2,096.12 \$/Tn.**

En el siguiente cuadro se muestran los cálculos del costo de producción unitario:

Tabla VI.15. *Cálculo de Costo de Producción*

Cálculo de Costo de Producción

	Producción (TM/Hr.)	Hrs. Trabajadas	INGRESOS		\$/Tn
Año 1	307.91	3793	S/. 14,949,153.66	\$4,271,186.76	\$1,126.07
Año 2	307.91	3616	S/. 14,251,552.77	\$4,071,872.22	\$1,126.07
Año 3	307.91	3650	S/. 14,385,555.20	\$4,110,158.63	\$1,126.07

\$/Tn	\$1,126.07
-------	------------

Fuente: Elaboración propia.

6.2.11. Aplicación Weibull para frecuencia eficiente

En base a los resultados obtenidos en la aplicación de la metodología se tienen algunas actividades preventivas que deben definirse frecuencias eficientes de intervención, por ejemplo, el ITEM 3 que es reparación de cilindro hidráulico para evitar que ocurra el modo de falla “rotura de sellos y seguros por fatiga”.

En la siguiente tabla se muestra el resultado obtenido de la aplicación del RCM, mantenimiento centrado en confiabilidad, ver ítem 3:



Tabla VI.16.

RCM Sistema Hidráulico

ITEM	LOCATION DESCRIPCION						ID F	FUNCTION DESCRIPTION	ID F	FUNCTIONAL FAILURE DESCRIPTION	ID F M	FAILURE MODE	TASK DESCRIPTION	SHUT DOWN	FREC (HR/MES)	WORK GROUP	HRS	MAN-POWER	CÓDIGO DE REFERENCIA	GAMA
	LEVEL	EQUIPMENT	LEVEL	SYSTEM	LEVEL	SUB SYSTEM														
1	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	CIL	Cilindro hidráulico de levante	1	Elevar el cucharón con material de 0 a 3.8 m. con una carga del cucharón de 8 Tn. (4.5 m3) en un tiempo de 6 segundos (864 mm.) de desplazamiento del cilindro hidráulico a una presión de 3050 PSI a una temperatura de 65°C+-3°C	A	INCAPAZ DE ELEVAR CUCHARON CON MATERIAL DE 0 A 3 M CON UNA CARGA DEL CUHARON DE 5TN/ 3M3 EN UN TIEMPO DE 6 SEGUNDOS (864 MM) DE DESPLAZAMIENTO DEL CILINDRO HIDRAULICO A UNA PRESION DE 3050 PSI Y UNA TEMPERATURA MENOR A 65°C+-3°C	1	Rotura de vástago	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	NO		MC				
2	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	CIL	Cilindro hidráulico de levante	1		A		2	Rotura de base de cilindro	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	NO		MC				
3	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	CIL	Cilindro hidráulico de levante	1		A		3	Rotura de sellos y seguros por fatiga	Reparar cilindro hidráulico	YES	11 592 HR	PM	8	2	CFR-HID-CIL-1-A-3	EM_071 EM_072
4	CFR	Cargador Frontal	HID	Sistema Hidráulico	CIL	Cilindro hidráulico de levante	1		A		4	Rotura de contratuerca interna de pistón	Ningún mantenimiento programado, mantenimiento correctivo	NO		MC				

Fuente: (UCSM - Curso confiabilidad y costos de mantt., 2019)

6.2.11.1. Weibull – Análisis de confiabilidad con historial de fallas – Reparar Cilindro hidráulico con modo de falla “Rotura de sellos y seguro por fatiga”

Por medio del sistema SAP se obtiene el historial de fallas de los cilindros hidráulicos de la flota de cargadores frontales Caterpillar 988H:

Tabla VI.17.

Historial de fallas de Cilindros hidráulicos por modo de falla

WEIBULL - ANALISIS DE CONFIABILIDAD CON HISTORIAL DE FALLAS				
Falla	Código de Referencia	Actividad	Descripción del Modo de Falla	Horas
1	CFR-HID-CIL-1-A-3	Reparar cilindro hidráulico	Rotura de sellos y seguro por fatiga	12500
2	CFR-HID-CIL-1-A-3	Reparar cilindro hidráulico	Rotura de sellos y seguro por fatiga	13000
3	CFR-HID-CIL-1-A-3	Reparar cilindro hidráulico	Rotura de sellos y seguro por fatiga	13500
4	CFR-HID-CIL-1-A-3	Reparar cilindro hidráulico	Rotura de sellos y seguro por fatiga	14000
5	CFR-HID-CIL-1-A-3	Reparar cilindro hidráulico	Rotura de sellos y seguro por fatiga	14500
6	CFR-HID-CIL-1-A-3	Reparar cilindro hidráulico	Rotura de sellos y seguro por fatiga	15000
7	CFR-HID-CIL-1-A-3	Reparar cilindro hidráulico	Rotura de sellos y seguro por fatiga	15500
8	CFR-HID-CIL-1-A-3	Reparar cilindro hidráulico	Rotura de sellos y seguro por fatiga	16000
9	CFR-HID-CIL-1-A-3	Reparar cilindro hidráulico	Rotura de sellos y seguro por fatiga	16500
10	CFR-HID-CIL-1-A-3	Reparar cilindro hidráulico	Rotura de sellos y seguro por fatiga	17000
Promedio (Hrs.)				14750
Horas anuales				4500
Frecuencia de Falla				0.3

Fuente: Elaboración propia.

Con el dato de costo de producción por hora se calcula el “efecto de falla”. El impacto total anual es de \$49,986.55

Tabla VI.18.

Efecto de falla de Rotura de sellos y seguro por fatiga

Mantt preventivo		Costo (\$)
		\$20,000.00

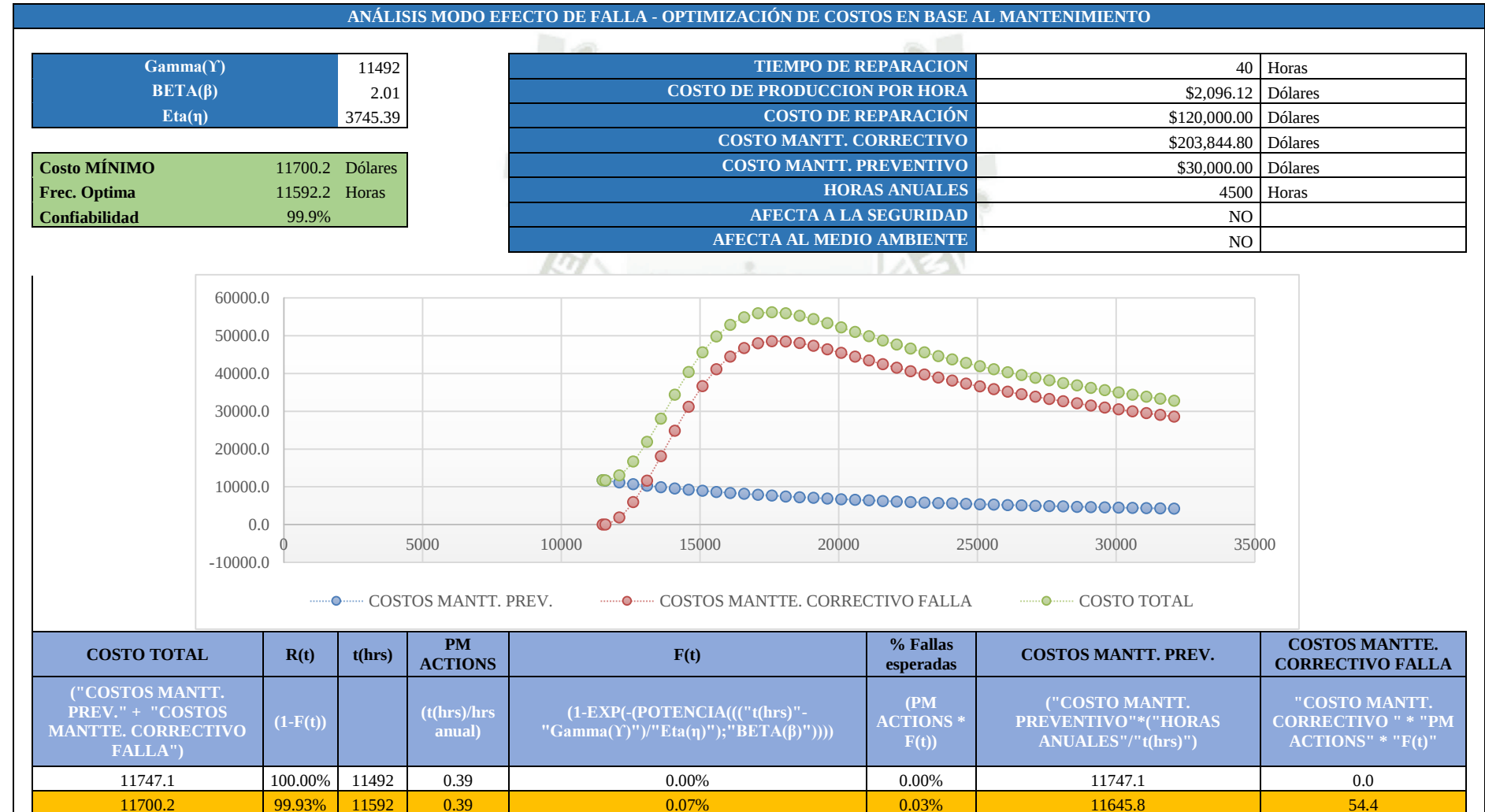
	Descripción	Factor	Efecto de Falla
A	Frecuencia de Falla		0.3
B	Costo de Reparación por falla		\$80,000.00
C	Costo de Producción por Hora		\$2,096.12
D	Tiempo de Reparación		40
E	Costo de Producción	$E = C \times D$	\$83,844.80
F	Costo Total	$F = B + E$	\$163,844.80
G	Impacto Total Anual	$G = A \times F$	\$49,986.55

Fuente: Elaboración propia.

En el siguiente cuadro se presenta el análisis del modo efecto de falla en base a optimización de costos por pérdida de producción por fallas versus intervención preventiva, con ellos determinaremos el menor costo total en mantenimiento y la mayor confiabilidad para determinar la frecuencia optima de cambio o ejecución del servicio investigado.

Tabla VI.19.

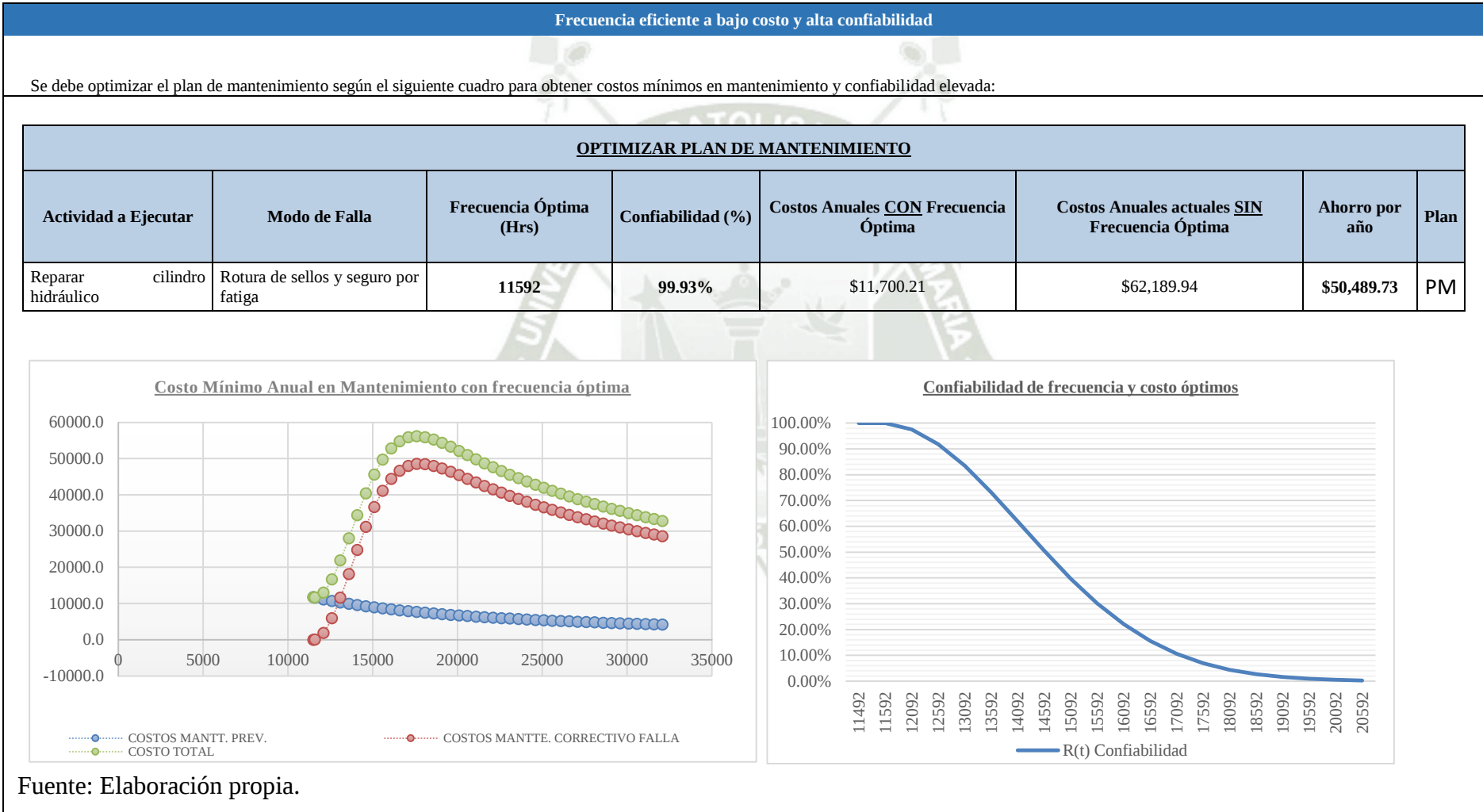
Análisis del modo efecto de falla en base a optimización de costos



Fuente: Elaboración propia.

Tabla VI.20.

Frecuencia eficiente de actividad con Weibull - Rotura de sellos y seguro por fatiga (Reparar cilindro hidráulico)



En la tabla anterior se determina que la actividad a ejecutar “Reparar cilindro hidráulico” que previene el modo de falla “rotura de sellos y seguro por fatiga”, tiene la frecuencia optima de ejecución a las 11 591 horas de trabajo, teniendo una confiabilidad del 99.93%. También se consigue un ahorro anual de \$ 50,489.73, puesto que al esperar a que falle incurrimos en un costo de mantenimiento y pérdida de producción de \$ 62,189.94; pero si realizamos el mantenimiento a la frecuencia recomendada solo incurrimos en un costo de mantenimiento y pérdida de producción de \$ 11,700.21.



6.3. Resultados - Confiabilidad después de aplicar el Plan de Mantenimiento

Centrado en Confiabilidad

6.3.1. Confiabilidad de Camión Caterpillar 772

La confiabilidad inicial de los camiones Caterpillar 772 era de 58.71% y después de un año de aplicación de las estrategias de mantenimiento obtenidas con el RCM (Mantenimiento centrado en confiabilidad) es de 82.73%.

Se aclara que el nivel de estudio se realizó a un horizonte de 18 000 horas de trabajo, como se observa en la tabla anterior, por lo cual el resultado final de la implementación se realizará dentro de 3 años, por cual la confiabilidad actual puede mantenerse o mejorar.

Tabla VI.21. Confiabilidad después de aplicar el Plan de Mantenimiento en Camión Caterpillar 772

t (Rango de tiempo)	R(t) Confiabilidad 772 (Nuevo)
0	100.00%
1000	100.00%
2000	100.00%
3000	100.00%
4000	100.00%
5000	100.00%
6000	100.00%
7000	100.00%
8000	100.00%
9000	100.00%
10000	100.00%
11000	99.99%
12000	99.96%
13000	99.86%
14000	99.58%
15000	98.80%
16000	96.86%
17000	92.32%
18000	82.73%

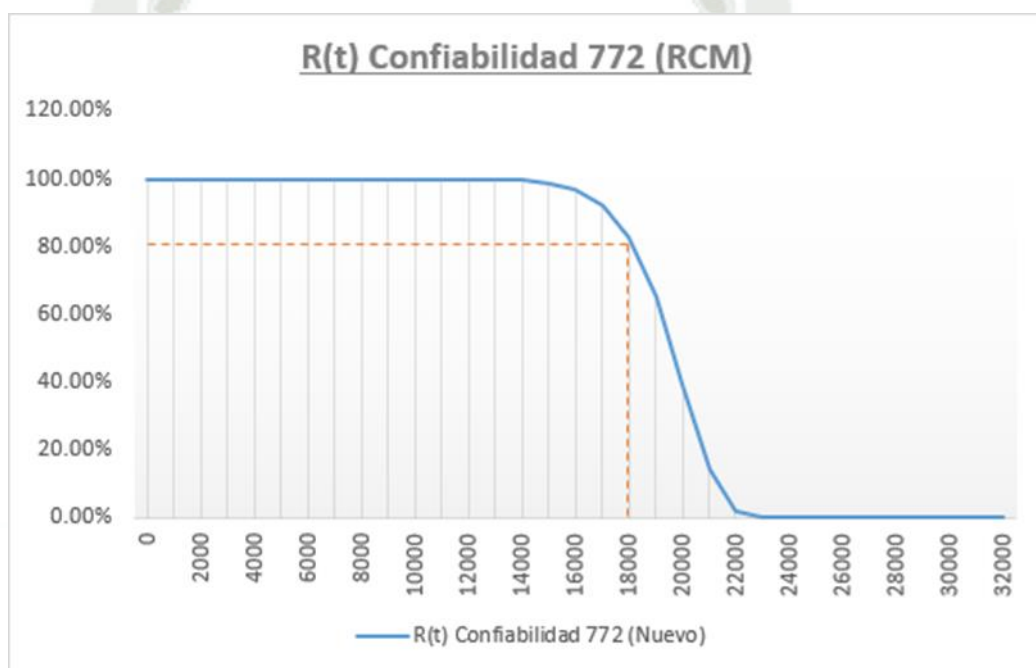
Fuente: Elaboración propia.

6.3.2. Gráfica de Confiabilidad de Camión Caterpillar 772

La curva de confiabilidad del camión Caterpillar 772 nos indica que el activo tiene una confiabilidad del 82.73% a una vida útil de 18 000 horas de trabajo.

Figura VI.6.

Gráfica de confiabilidad después de aplicar el plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad del Camión Caterpillar 772



Fuente: Elaboración propia.

6.3.3. Confiabilidad de Cargador Frontal Caterpillar 988H

La confiabilidad inicial del cargador frontal Caterpillar 988H era de 79.22% y después de un año de aplicación de las estrategias de mantenimiento obtenidas con el RCM (Mantenimiento centrado en confiabilidad) es de 90.56%.

Se aclara que el nivel de estudio se realizó a un horizonte de 18 000 horas de trabajo, como se observa en la tabla anterior, por lo cual el resultado final de la implementación se realizará dentro de 3 años, por cual la confiabilidad actual puede mantenerse o mejorar.

Tabla VI.22. Confiabilidad después de aplicar el Plan de Mantenimiento
Confiabilidad después de aplicar el Plan de Mantenimiento en Cargador Frontal 988H

t (Rango de tiempo)	R(t) Confiabilidad
0	100.00%
1000	100.00%
2000	100.00%
3000	100.00%
4000	100.00%
5000	100.00%
6000	100.00%
7000	100.00%
8000	99.99%
9000	99.98%
10000	99.95%
11000	99.87%
12000	99.73%
13000	99.45%
14000	98.94%
15000	98.05%
16000	96.57%
17000	94.20%
18000	90.56%

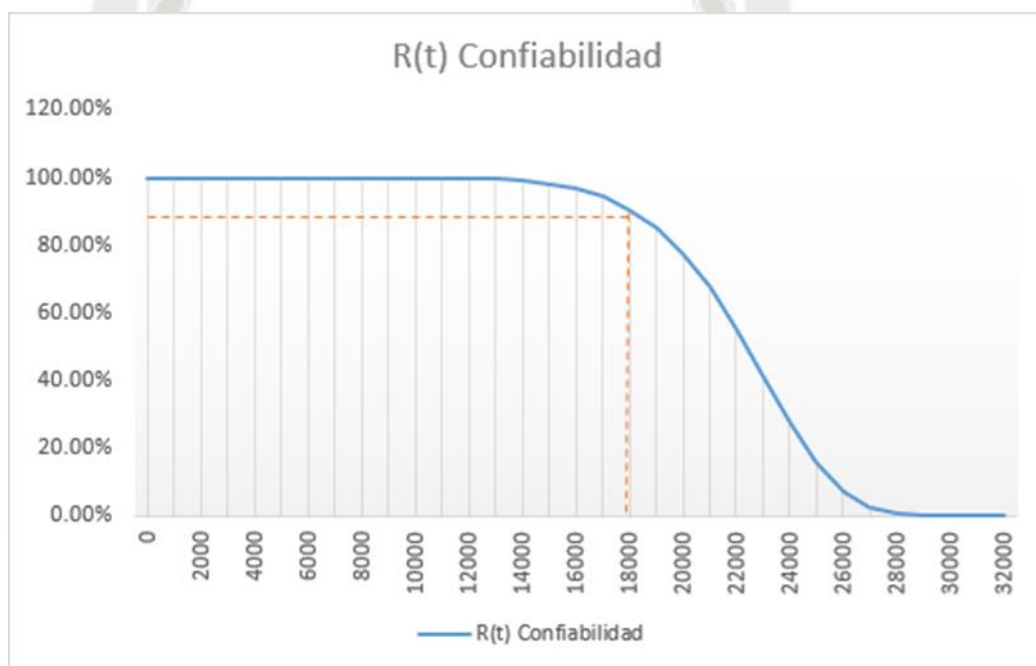
Fuente: Elaboración propia.

6.3.4. Gráfica de Confiabilidad de Cargador Frontal Caterpillar 988H

La curva de confiabilidad del cargador Caterpillar 988H nos indica que el activo tiene una confiabilidad del 90.56% a una vida útil de 18 000 horas de trabajo.

Figura VI.7.

Gráfica de confiabilidad después de aplicar el plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad del Cargador Frontal Caterpillar 988H



Fuente: Elaboración propia.

6.4. Resultados - Costos Unitarios de Mantenimiento después de aplicar el Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

6.4.1. Costo Unitario de Volquete Caterpillar 772

Los costos unitarios inicial de los camiones caterpillar 772 era de 27 \$/Hr y después de un año de aplicación de las estrategias de mantenimiento obtenidas con el RCM (Mantenimiento centrado en confiabilidad) es de 26 \$/Hr..

Se aclara que el nivel de estudio se realizó a un horizonte de 18 000 horas de trabajo, como se observa en la tabla anterior, por lo cual el resultado final de la implementación se realizará dentro de 3 años, por cual los costos actuales pueden mantenerse o mejorar.

Tabla VI.23. Costo Unitario de Volquete Caterpillar 772 después de aplicar el plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

Costos Unitarios de Mantenimiento de Volquete Caterpillar 772		
Año	\$/hr	Unidad
2011	16	
2012	20	
2013	32	
2014	25	
2015	31	
2016	32	
2017	30	
2018	25	
2019	28	
2020 (Con Plan RCM)	24	
Costo Unitario 772	26	\$/hr

Fuente: Elaboración propia.

6.4.2. Costo Unitario de Cargador Frontal Caterpillar 988H

Los costos unitarios inicial de los cargadores caterpillar 988H eran de 28 \$/Hr y después de un año de aplicación de las estrategias de mantenimiento obtenidas con el RCM (Mantenimiento centrado en confiabilidad) es de 27 \$/Hr..

Se aclara que el nivel de estudio se realizó a un horizonte de 18 000 horas de trabajo, como se observa en la tabla anterior, por lo cual el resultado final de la implementación se realizará dentro de 3 años, por cual los costos actuales pueden mantenerse o mejorar.

Tabla VI.24. *Costo Unitario del Cargador Frontal Caterpillar 988H después de aplicar el plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*

Costos Unitarios de Mantenimiento de Cargador Frontal Caterpillar 988H		
Año	\$/hr	Unidad
2011	18	
2012	22	
2013	30	
2014	25	
2015	26	
2016	32	
2017	28	
2018	35	
2019	36	
2020 (Con plan RCM)	22	
Costo Unitario 988H	27	\$/hr

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

- Primera. - Con la implementación del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad se aumentó la confiabilidad de 58% a 82% en los Camiones Caterpillar 772 y de 79% a 90% en los Cargadores Frontales Caterpillar 988H con lo cual se valida la hipótesis planteada y se disminuyó el costo de mantenimiento de 27 \$/Hr a 26 \$/Hr en los Camiones Caterpillar 772 y de 28 \$/Hr. a 27 \$/Hr. en los Cargadores Frontales Caterpillar 988H
- Segunda. - Los equipos críticos de la presente investigación son los Cargadores Frontales Caterpillar 988H y Camiones Minero Caterpillar 772 al tener la puntuación de 35 en base a la criticidad basada en el riesgo.
- Tercera. - En base a la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad se desarrolló el Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad logrando obtener tareas mecánicas, preventivas, predictivas o de monitoreo de los Cargadores Frontales Caterpillar 988H y Camiones Mineros Caterpillar 772 para disminuir costos y aumentar la confiabilidad.
- Cuarta. - Se definió las frecuencias de mantenimiento eficiente en base a análisis Weibull y cálculo de costos, estas frecuencias forman parte del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad.

RECOMENDACIONES

- Se debe implementar la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en los equipos del área de perforación.
- La empresa debe continuar con la utilización de los planes de mantenimiento centrados en confiabilidad.
- La empresa debe capacitar a los mecánicos en la utilización de herramientas para la ejecución de actividades predictivas y de monitoreo.



REFERENCIA BIBLIOGRAFÍA

B. Abernethy , R. (1951). *FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS DE WEIBULL*.

Caterpillar Inc. (2005). *988H WHEEL LOADER 988H WHEEL LOADER New Product Introduction (NPI)*.

Caterpillar Inc. (2007). *770 (BZZ), 772 (RLB) OFF-HIGHWAY TRUCKS INTRODUCTIO*.

Caterpillar, & Caterpillar, S. (2021). *SIS.WEB*.

Caterpillar, H. E. (2018). *Hand Book Caterpillar Edicion 39*.

Fernandez Morales, M. L. (2018). *IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) PARA EL ÁREA DE CHANCADO*. Arequipa.

G11, Subcomité (MCC) SAE. (1999). *SAE JA 1011 Norma para Vehículos Aeroespaciales y de superficie - "Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad"*.

NORMA UNE 20654-4 - Análisis de Criticidad de Acti. (2002).

Subcomité MCC SAE G11. (2002). *SAE JA 1012 - Una Guía para la Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)*.

Tecsup Arequipa. (2007). *Curso Bomba Oleo Hidráulica*.

UCSM - Curso confiabilidad y costos de mantt. (2019).

UCSM - Curso de maestría -Tópicos de Mantenimiento. (2019).

ANEXOS

ANEXO 01:

GAMA EM_071 – Desmontaje y montaje de cilindros hidráulicos

	GAMAS EQUIPO MOVIL YURA S.A.	CÓDIGO DE GAMA	EM_071
	DESMONTAJE Y MONTAJE DE CILINDROS HIDRÁULICOS	Página 1 de 2	

DESMONTAJE Y MONTAJE DE CILINDROS HIDRÁULICOS

APLICABLE A:	TRACTOR DSR, CARGADOR 955G, EXCAVADORA 330CL, TRACTOR D7H, CARGADOR VOLVO 180	TIEMPO:	2.0 hrs.			
FRECUENCIA:	A EJECUTAR POR:	MANTENIMIENTO	ESTADO:	P	N° INSPIEJO:	54
IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD				RIESGOS ASOCIADOS		
						
CASCO DE SEGURIDAD	LENTES DE SEGURIDAD	ZAPATOS DE SEGURIDAD	GUANTES DE CUERO	PROTECTOR AUDITIVO	FLUIDOS A PRESIÓN	DESPLAZAMIENTO
					DERRAME DE HIDROCARBUROS	CAÍDA AL NIVEL DEL VEH.
						CAÍDA O DESPLIEGUE DEL VEH.

Desarrollo de gama:

Desmontaje de cilindros hidráulicos

- Solicitar equipo a Operaciones.
- Llevar el equipo al taller de lavado, limpiar y lavar el sector a intervenir. Si es necesario tapar con nylon, procurar no lavar las rótulas con agua a presión, causará oxidación. Ver procedimiento Lavado de unidades a presión.
- Trasladar e ingresar el equipo al taller de mantenimiento para su intervención.
- Parquear el equipo: bajar implementos al suelo, colocar cuñas en ruedas delanteras y posteriores según sea el caso.
- Realizar procedimiento de lock out por parte de todo el personal intervinor. Ver gama EM_142 (Procedimiento General de Aislación y Bloqueo de Equipos).

PRECAUCIÓN:

El personal podría sufrir daño causado por el aceite a presión y el aceite caliente.
Dejar que el aceite enfrie antes de realizar cualquier operación de desmontaje de líneas hidráulicas.

- Mover las palancas de control de los implementos hacia todas las posiciones para aliviar la presión en el sistema hidráulico.

PRECAUCIÓN:

Instalar un contenedor adecuado para la recepción del aceite.

- Desconectar mangueras hidráulicas de entrada y retorno del cilindro hidráulico y taparlas para evitar el ingreso de suciedad.
- Desconectar mangueras de lubricación superior e inferior de rótulas del cilindro hidráulico.

NOTA:
Marcar todas las líneas de entrada y salida, mangueras, cables y tuberías antes de proceder a desconectarlas, esto ayudará al momento del montaje.

Tapar mangueras, tuberías y mangueras para evitar el derrame de fluido y para evitar el ingreso de cualquier contaminante al sistema.

- Sujetar en dos puntos del cilindro y tener cuidado con el centro de gravedad.
- Retirar pines que sujetan los cilindros al equipo.

Fig. 1 Tractor DSR.

Fig. 2 Cargador 955G.

	GAMAS EQUIPO MOVIL YURA S.A.		CÓDIGO DE GAMA	EM_071
	DESMONTAJE Y MONTAJE DE CILINDROS HIDRÁULICOS		Página 2 de 2	

11. Con ayuda de elementos de izaje, retirar el cilindro y ubicarlo en el patio de componentes para su reparación respectiva.

Montaje de cilindros hidráulicos

1. Preparar cilindro hidráulico nuevo o reparado.
2. Limpiar rótulas inferior y superior del cilindro nuevo o reparado.
3. Estrobar cilindro para el izaje.
4. Posicionar Cilindro nuevo o reparado en su ubicación, con la ayuda del puente grúa.
5. Instalar cilindro en eje soporte inferior.
6. Luego ubicar la parte superior del cilindro en la base del soporte.
7. Instalar pines del cilindro hidráulico.
8. Instalar mangueras del sistema hidráulico entrada y retorno de aceite.
9. Instalar mangueras del sistema de lubricación inferior y superior de rótulas.
10. Engrasar rótulas de cilindro hidráulico instalado.
11. Realizar engrase en rótula inferior y superior del cilindro instalado.
12. Revisar minilla de nivel en depósito del aceite hidráulico (rellenar si es necesario).
13. Retirar lock out, energizar el equipo, revisar niveles de aceite motor diesel y refrigerante.
14. Realizar pruebas de funcionamiento del sistema hidráulico, realizando movimientos de expansión y retracción de los cilindros hidráulicos.
15. Verificar fugas en sistema hidráulico.



A continuación se muestra el peso de los cilindros hidráulicos en los equipos: Tractor de orugas D6R, Cargador Frontal 966G, Excavadora 330CL.

TRACTOR DE ORUGAS D6R

Cilindro de elevación del bulldozer	200 K_{gf} (440 lb)
Cilindro de volteo del bulldozer	175 K_{gf} (385 lb)
Cilindro de elevación del ripper	182 K_{gf} (400 lb)
Cilindro de volteo del ripper	173 kg (380 lb)

CARGADOR FRONTAL 966G

Cilindro de elevación	250 K_{gf} (550 lb)
Cilindro de volteo	220 kg (485 lb)
Cilindro de dirección	

EXCAVADORA 330CL

Cilindro del bucket	150 K_{gf} (330 lb)
Cilindro del stick	278 K_{gf} (615 lb)
Cilindro del boom	168 K_{gf} (370 lb)



Fig. 3. Excavadora 330CL.



ANEXO 02:

GAMA EM_072 – Reparación de cilindros hidráulicos

	GAMAS EQUIPO MOVIL YURA S.A.		CÓDIGO DE GAMA	EM_072
	REPARACIÓN DE CILINDROS HIDRÁULICOS		Página 1 de 6	

REPARACIÓN DE CILINDROS HIDRÁULICOS					
APLICABLE A: TODOS LOS EQUIPOS				TIEMPO:	5.0 hrs.
FRECUENCIA:	EVALUACIÓN	A EJECUTAR POR:	MANTENIMIENTO	ESTADO:	F
			N° INSPEJEC:	03	
IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD			RIESGOS ASOCIADOS		
					
GUANTES DE SEGURIDAD	GUANTES DE SEGURIDAD	GUANTES DE SEGURIDAD	GUANTES DE SEGURIDAD	GUANTES DE SEGURIDAD	
			   		
			FUEGO Y EXPLOSIÓN CORROSIÓN PRESIÓN ALTA OBJETOS EN CAÍDA		

Desarrollo de gama:

Reparación de cilindros hidráulicos.

- Desmontar cilindro hidráulico a reparar, ver gama EM_071 (Desmontaje y montaje de cilindros hidráulicos).
- Lavar cilindro hidráulico externamente con agua a presión. Ver procedimiento Lavado de unidades a presión.



PRECAUCIÓN:
Los cilindros equipados con válvulas de traba pueden quedar presurizados durante mucho tiempo.
Aliviar la presión antes de retirar la válvula de traba o de desarmar el cilindro para prevenir lesiones y/o fatalidades en el personal.

- Verificar fugas externas, las cuales se pueden detectar por pérdidas de fluido en diferentes partes del cilindro.
- Desarmar el cilindro hidráulico realizando los siguientes pasos, para determinar la magnitud de la reparación.
- Retirar el sello de labio (1) de ambos extremos del cilindro. Ver Figura Nº 1.
- Montar cilindro hidráulico en banco de reparación de cilindros hidráulicos.
- Poner una marca de identificación en la tapa (3) y en el cilindro para obtener un correcto alineamiento durante el proceso de armado del cilindro hidráulico. Ver Figura Nº 2.
- Retirar los pernos (4) de la tapa del cilindro (3).



NOTA
No olvidar instalar contenedores de aceite debajo del cilindro para evitar el derrame de aceite durante la operación de desarmado de cilindros hidráulicos.

- Instalar soportes debajo del vástago del cilindro para soportar su peso.

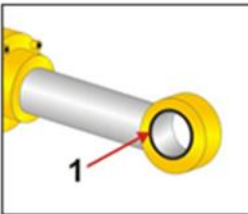


Fig. 1 Sello de labio y cojinete del extremo del cilindro.

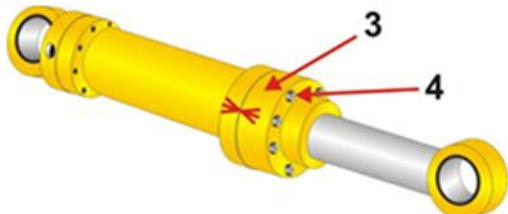


Fig. 2 Marcas de identificación en tapa para facilitar montaje.

- Separar el cuerpo del cilindro del vástago. Ver Figura Nº 3.
- Retirar la tuerca (5) del extremo del vástago. Ver Figura Nº 3.
- Retirar la arandela (4), el émbolo (5) del extremo del vástago. Ver Figura Nº 4.
- Quite el anillo de desgaste (10), el sello (9) y el anillo para el sello (9) del émbolo. Ver Figura Nº 5

	GAMAS EQUIPO MOVIL YURA S.A.		CÓDIGO DE GAMA	EM_072
	REPARACIÓN DE CILINDROS HIDRÁULICOS		Página 2 de 6	

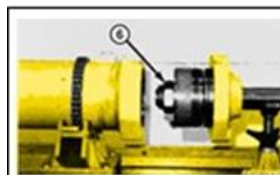


Fig. 3 de cuerpo de cilindro y vástago.

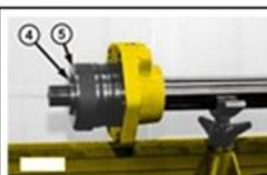


Fig. 4 Desmontaje de émbolo.



Fig. 5 Retiro de anillos de desgaste y sellos.

14. Quite el sello (9) y el anillo de respaldo de la tapa (3). Ver Figura Nº 6.
15. Quite la tapa (3) del extremo del vástago. Ver Figura Nº 6.
16. Quite los sellos (10), (11) y (12) de la tapa (3). Ver Figura Nº 7.
17. Reemplazar los sellos, anillos de desgaste y anillos de respaldo de tapa antes de proceder al armado del cilindro hidráulico.

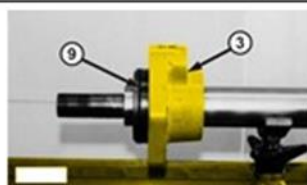


Fig. 6 Retiro de vástago de tapa.



Fig. 7 Desmontaje de sellos de tapa de cilindro.

Inspección de vástago del cilindro.



No olvidar que algunos vástagos que presentan flexión también pueden presentar grietas en la superficie. No usar vástagos que presenten flexión.

18. Medir la flexión del vástago con la ayuda de un torno y un reloj comparador tal como se muestra en la Figura Nº 8.

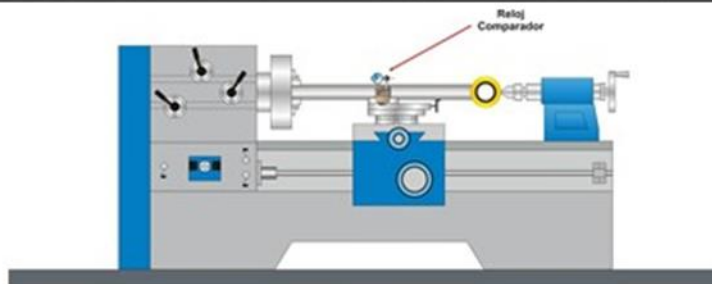


Fig. 8 Utilización de torno y reloj comparador para medir flexión en vástago.

19. Realizar la medición en seis puntos de la longitud del vástago y en cuatro ángulos distintos como se muestra en la Figura Nº 9.
20. Registrar las mediciones en la tabla mostrada en la Figura Nº 9 para determinar el cambio del vástago.
21. La cantidad máxima que el vástago puede estar flexionado para que pueda ser reparado es 3.15 mm (0.125 pulg) medidos en una longitud de 610 mm (24.0 pulg).

	GAMAS EQUIPO MOVIL YURA S.A.		CÓDIGO DE GAMA	EM_072
	REPARACIÓN DE CILINDROS HIDRÁULICOS		Página 3 de 6	

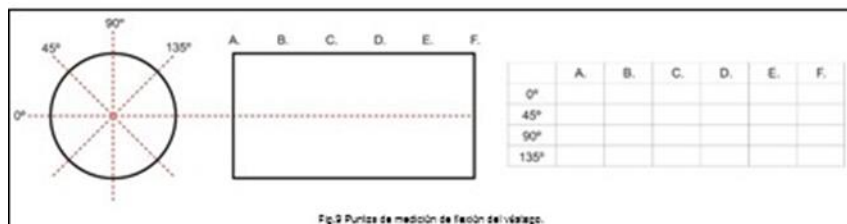


Fig. 9 Puntos de medición de flexión del vástago.

Inspección de émbolo del cilindro.

1. Realizar una inspección visual al émbolo en busca de rayaduras, desgaste, picaduras, roturas, oxidado.
2. Eliminar los bordes filosos u oxidados con ayuda de una lima y/o papel lija cuando su pueda realizar esta tarea. Ver Figuras Nº 10, 11 y 12.



Fig. 10 Émbolo del cilindro hidráulico.



Fig. 12 Limpieza de émbolo con lima.



Fig. 11 Limpieza de émbolo con lija.

3. Medir el diámetro interior del cilindro así como también del émbolo.
4. Registrar los valores en la tabla mostrada, la diferencia de ambos diámetros debe encontrarse en un rango de 0.4 a 0.8 mm, de lo contrario tendrá que repararse el émbolo de acuerdo al fabricante. Ver Figura Nº 12.

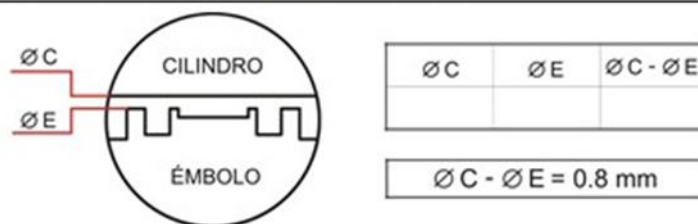


Fig. 12 Medición de diámetros de cilindro y émbolo.

Inspección de tapa del cilindro.

1. Inspeccionar los aros de desgaste de la tapa, los aros previenen el contacto entre el cromado y la zona endurecida del diámetro interior de la tapa.



NOTA Si el cilindro experimenta fugas tempranas en sus horas de funcionamiento, es posible reusar los anillos sellos de desgaste, caso contrario cambiar de sellos siempre que se realice una reparación de cilindros hidráulicos.

2. Inspeccionar la tapa para determinar la magnitud de la reparación.
3. La operación de maquinado requiere que el diámetro interior de la tapa pueda ser maquinado 0.33 mm (0.013 pulg) más que el diámetro del vástago.
4. Este será el mismo diámetro de la parte plana entre el sello en "UP" y el sello amortiguador.

	GAMAS EQUIPO MOVIL YURA S.A.	CÓDIGO DE GAMA	EM_072
	REPARACIÓN DE CILINDROS HIDRÁULICOS	Página 4 de 6	

Inspección de cuerpo del cilindro hidráulico.

1. Levantar internamente el cuerpo del cilindro hidráulico con agua jabonosa a presión para retirar cualquier material adherido a éste y facilitar la inspección para determinar la magnitud de la reparación.
2. Inspeccionar la parte externa del cilindro en busca de rayones, presencia de óxido.
3. Con la ayuda de un slexómetro medir el diámetro interior del cilindro para determinar el desgaste del mismo. Ver Figuras Nº 13 y 14.

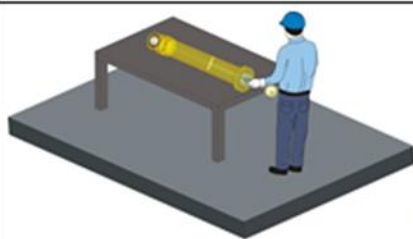


Fig. 13 Medición de diámetro exterior de cuerpo de cilindro.

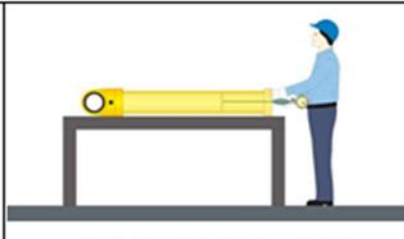


Fig. 14 Medición de diámetro interior de cuerpo de cilindro.

4. Tomar múltiples mediciones a lo largo del cilindro en seis puntos y en cuatro ángulos distintos como se muestra en la Figura Nº 15.
5. Registrar las mediciones en la ficha en la tabla mostrada para determinar si el cilindro puede ser rectificado o no.

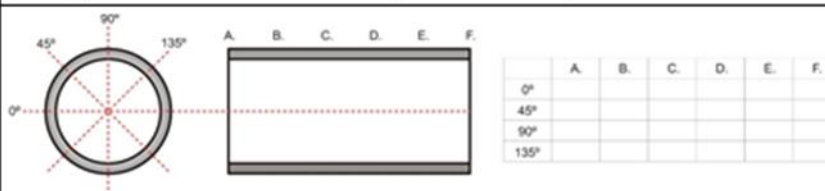


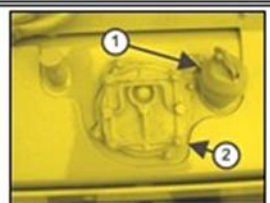
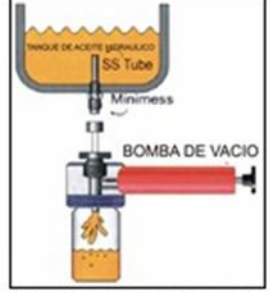
Fig. 15 Puntos de medición de desgaste en cuerpo del cilindro.

6. Comparar las mediciones con las dimensiones dadas por el fabricante en el manual de especificaciones.
7. Si existe una diferencia mayor que 0.508 mm (0.020 pulg) en las mediciones tomadas con respecto al manual del fabricante, el cilindro está fuera del rango y debería ser reemplazado.
8. Si la diferencia es menor que 0.508 mm (0.020 pulg) el tubo del cilindro puede ser rectificado ~~de acuerdo al fabricante~~.
9. Con la ayuda de una lámpara inspeccionar el interior del cilindro hidráulico para descartar fisuras, rayones. Determinar la magnitud del daño usando un rugosímetro que nos proporcionará la rugosidad de la superficie interior del cilindro, así como también la profundidad del daño en el cilindro.
10. Descartar grietas y deformaciones en el amortiguador del cilindro hidráulico, si presenta.

Armado del cilindro hidráulico.

1. Instalar los sellos (11) y (12) en la tapa (3). El labio del sello (11) debe estar hacia el sello (12). Ver Figura Nº 16.
2. Instalar ~~el sello~~ (10) en la tapa (3). Instalar ~~el sello~~ (10) con el labio hacia el exterior. Ver Figura Nº 16.
3. Instalar la tapa (3) en el cilindro (1) con los pernos (2). Ver Figura Nº 17.
4. Rociar con aceite hidráulico los sellos en la tapa (3), empujar el cilindro y la tapa sobre el vástago con la ayuda de la bomba hidráulica. Ver Figura Nº 17.
5. Retirar los pernos (2) y con ayuda de la bomba hidráulica retirar el cilindro de la tapa y vástago. Ver Figura Nº 17.

ANEXO 03: GAMA EM_033 – Muestreo de aceite

GAMAS EQUIPO MOVIL YURA S.A.		CÓDIGO DE GAMA	EM_033												
MUESTREO DE ACEITE DE SISTEMA HIDRAULICO		Página 1 de 1													
MUESTREO DE ACEITE DE SISTEMA HIDRAULICO															
APLICABLE A: TODOS LOS EQUIPOS		TIEMPO: 0.25 hrs.													
FRECUENCIA: 500H	A EJECUTAR POR: MANTENIMIENTO	ESTADO: F	N° INSPIEJEC: 02												
IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD		RIESGOS ASOCIADOS													
 CAÍDA DE OBJETOS  LENTES DE SEGURIDAD  ZAPATOS DE SEGURIDAD  GUANTES DE CUERO  PROTECCIÓN AUDITIVA		 OBJETO EN TRAYECTORIA  HACERSE DAÑO  QUEMADURA  DERRAME DE FLUIDO  RESBALADIZO													
 PRECAUCION Aceite y componentes calientes pueden causar daño a las personas. No permitir que hagan contacto con la piel.															
Desarrollo de Gama: 1) Asegurarse de que el equipo este en un terreno nivelado y correctamente parqueado. 2) Limpiar la Tapa del Tanque de Aceite Hidráulico (Fig. 1) 3) Retirar los 4 pernos de la Tapa del Tanque de Aceite Hidráulico. 4) Retirar la Tapa del Tanque de Aceite Hidráulico, cuidadosamente, evitando que ingresen partículas contaminantes al tanque. 5) Cortar la manguera nueva, según medida necesaria para muestreo.															
 NOTA Utilizar una nueva manguera para cada muestra, debido a la posibilidad de contaminación de la nueva muestra con la muestra anterior.															
6) Insertar la manguera por la cabeza (tapa) de la bomba de vacío, apretar la tuerca de retención. El tubo debe sobresalir aproximadamente 3cm de la cabeza de la base de la bomba de vacío. 7) Enroscar el nuevo recipiente de muestreo a la tapa de la bomba de vacío e inserte el extremo de la manguera en el aceite.															
 NOTA No permita que el extremo de la manguera toque el fondo del compartimiento. La distancia debe ser por lo general de 5 a 10 cm., si es posible ponga una extensión como toque en el extremo de la manguera.															
8) Accionar la manija de la bomba para crear el vacío (Fig. 2). Llenar el envase hasta la marca: Nivel de Llenado. (94 partes del volumen 75-80% aprox.).															
 NOTA Mantener la bomba en posición vertical – si la volteas se puede contaminar con el aceite. Si entra aceite a la bomba, desármela y límpiela antes de tomar la muestra.															
9) Sacar la manguera del compartimiento. Desenroscar el recipiente de muestreo de la bomba de vacío. 10) Poner la tapa del frasco de muestreo. 11) Poner los 4 pernos de la Tapa del Tanque de Aceite Hidráulico. 12) Limpiar el frasco de muestreo de aceite con paño absorbente y etiquetarlo con los siguientes datos como mínimo: <table border="1" data-bbox="598 1433 813 1534"> <thead> <tr> <th>Item</th> <th>Detalles de la muestra.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Código del equipo</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Punto de muestreo, componente</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Tipo de aceite.</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Fecha de muestreo.</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Lectura de hidrómetro.</td> </tr> </tbody> </table>		Item	Detalles de la muestra.	1	Código del equipo	2	Punto de muestreo, componente	3	Tipo de aceite.	4	Fecha de muestreo.	5	Lectura de hidrómetro.		
Item	Detalles de la muestra.														
1	Código del equipo														
2	Punto de muestreo, componente														
3	Tipo de aceite.														
4	Fecha de muestreo.														
5	Lectura de hidrómetro.														
13) Limpiar zona de trabajo y todos los accesorios utilizados. 14) Entregar muestra a Ingeniería de Mantenimiento para su respectivo Análisis.															

ANEXO 04:

GAMA EM_116 – Bajar información con ET

	GAMAS EQUIPO MOVIL YURA S.A.				CÓDIGO DE GAMA	EM_116
	BAJAR INFORMACION CON ET				Página 1 de 8	

BAJAR INFORMACION CON ET CATERPILLAR						
APLICABLE A:	EQUIPOS CATERPILLAR				TIEMPO:	02 hrs.
FRECUENCIA:	3000H	A EJECUTAR POR:	MANTENIMIENTO	ESTADO:	P	N° INSPEJEC:

IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD					RIESGOS ASOCIADOS		
RIESGO DE CAÍDA DE OBJETOS	LESIONES EN LOS OJOS	LESIONES EN LOS PIES	LESIONES EN LAS MANOS	PROTECTOR AUDITIVO	CAÍDA DE OBJETOS	VEHÍCULO EN MOVIMIENTO	ALTO VOLTAJE

NOTA El Técnico Electrónico de Caterpillar (ET) es un programa de software que se puede utilizar en una computadora personal compatible con IBM.

Desarrollo de Gama:
Herramientas Necesarias:

Herramienta	Número de pieza	Descripción de la pieza	Cant.
A		Técnico Electrónico (ET) Caterpillar	1
B	171-4401	Adaptador de Comunicaciones	1
C	950-0141	Conjunto de Cable Adaptador (Puerto Serial)	1
D	207-6545	Cable de Diagnóstico de Servicio (Enlace de Datos)	1
E	9A-7546	Juego de Reparación de Conexiones DT	1
F	4C-3406	Juego de Reparación de Conexiones	1
G	4C-8195	Herramienta de Servicio de Control (Caja de Interrogación)	1

Información:

- Se deben utilizar las siguientes herramientas de servicio para facilitar la localización y solución de problemas en el sistema eléctrico.
 - (6) Cable
 - (7) Adaptador de Comunicaciones
 - (8) Cable de diagnóstico de servicio
 - (9) Versión actual del software del ET Cat y una computadora personal compatible con IBM
- El ET Cat se utiliza para comunicarse con el módulo de control electrónico (ECM) sobre el enlace de datos mediante conexión al conector de diagnóstico de la máquina.
- El ET Cat puede mostrar también la información sobre la historia de un código de diagnóstico y el estado de los parámetros de los códigos de diagnóstico. Estas características permiten que el ET Cat sea una herramienta útil para localizar y solucionar problemas.

Conexión:

- Conecte el cable (2) entre el Extremo del Ordenador del adaptador de comunicación (3) y el puerto USB.
- Conecte el cable (4) entre el puerto de Enlace de Datos del adaptador de comunicación (3) y el conector de la herramienta de servicio.
- Gire la llave de Contacto a la posición Media (Encendido). Si el Técnico Electrónico y el adaptador de comunicación no se comunican con el ECM, consultar con el distribuidor para que nos brinde alguna Solución.

Aplicaciones y Ventajas del ET Caterpillar:

- Con el ET Cat se puede mostrar la siguiente información:
 - Parámetros de estado
 - Los códigos de eventos registrados
 - Los códigos de diagnóstico activos
 - Disposición del motor
 - Información de la Máquina sobre periodos de Tiempo

(6) Cable, (7) Adaptador de Comunicaciones, (8) Cable de diagnóstico de servicio, (9) Versión actual del Software del ET Cat y 1 computadora personal compatible con IBM.

Conexión:

- Conecte el cable (2) entre el Extremo del Ordenador del adaptador de comunicación (3) y el puerto USB.
- Conecte el cable (4) entre el puerto de Enlace de Datos del adaptador de comunicación (3) y el conector de la herramienta de servicio.
- Gire la llave de Contacto a la posición Media (Encendido). Si el Técnico Electrónico y el adaptador de comunicación no se comunican con el ECM, consultar con el distribuidor para que nos brinde alguna Solución.

(1) Computadora Personal (PC)
(2) 180-0141 Cable Adaptador (Puerto Serial)
(3) 171-4401 Adaptador de Comunicaciones II
(4) 207-6545 Cable Adaptador (Enlace de Datos)

	GAMAS EQUIPO MOVIL YURA S.A.		CÓDIGO DE GAMA	EM_115
	BAJAR INFORMACION CON ET		Página 2 de 8	

5) El ET Cat puede ser usado por el tecnico para realizar las siguientes funciones:

- Pruebas de diagnóstico
- Calibración del sensor
- Programación en Flash
- Establecer parámetros / Cambiar parámetros.
- Configurar ECM
- Evaluar y Calibrar

Aplicaciones y Ventajas del ET Caterpillar:

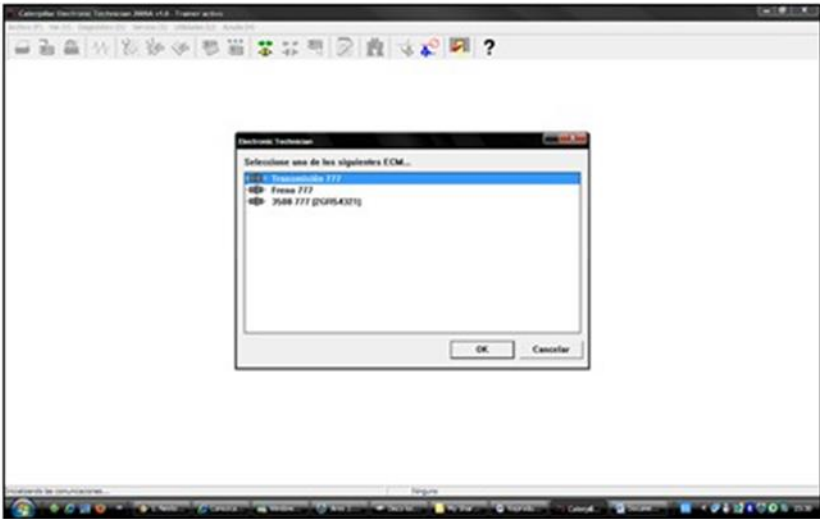
9) Conexión de Técnico Electrónico Caterpillar a Equipo:



	GAMAS EQUIPO MOVIL YURA S.A.	CÓDIGO DE GAMA	EM_115
	BAJAR INFORMACION CON ET	Página 3 de 8	



10) Escoger el ECM de la maquina con el cual se desea trabajar. (Transmisión, Frenos y Motor).



	GAMAS EQUIPO MOVIL YURA S.A.	CÓDIGO DE GAMA	EM_115
	BAJAR INFORMACION CON ET	Página 4 de 8	

Electronic Technician

Seleccione uno de los siguientes ECM...

- Transmisión 777
- Freno 777
- 3508 777 (2GR54321)

OK Cancelar

11) Códigos de Diagnostico Activos (Motor): En esta parte del Tecnico Electrónico Caterpillar se pueden visualizar los problemas eléctricos y electrónicos que el equipo presenta en ese momento.

Caterpillar Electronic Technician (CET) v4.4 - Códigos de diagnóstico activos - Transmisión

Código	Descripción
2548 777 (2GR54321)	
100-3	Sensor de posición del acelerador : Datos irregulares, intermitentes o inconsistentes
110-3	Sens. pres. del aceite del motor : Voltaje sobre normal
263-13	Sensor de temperatura de refrigerante de motor : Voltaje sobre normal
267-7	Calibración de sincronización de motor : Calibración necesaria
267-7	Entrada remota de parada : Datos irregulares, intermitentes o inconsistentes
273-3	Sensor de presión de salida de turbocompresor : Voltaje sobre normal
274-3	Sensor de presión atmosférica : Voltaje sobre normal
275-3	Sensor derecho de presión de entrada de turbocompresor : Voltaje sobre normal
276-3	Sensor de presión de entrada de turbocompresor izquierdo : Voltaje sobre normal

Cód. local y valor prob. Sistema de localiz. Incluir todos los ECMs

Códigos activos [11] Estado de estado [7]

Trainer active

	GAMAS EQUIPO MOVIL YURA S.A.	CÓDIGO DE GAMA	EM_115
	BAJAR INFORMACION CON ET	Página 5 de 8	

Caterpillar Electronic Technician 2008A v1.0 - Códigos de diagnóstico activos - Trainer activo

Archivo (F) Ver (V) Diagnóstico (D) Información (I) Servicio (S) Utilidades (U) Ayuda (H)

Código	Descripción
3508 777 [2GR54321]	
91-2	Sensor de posición del acelerador : Datos irregulares, intermitentes o incorrectos
100-3	Sens pres del aceite del motor : Voltaje sobre normal
110-3	Sensor de temperatura de refrigerante de motor : Voltaje sobre normal
261-13	Calibración de sincronización de motor : Calibración necesaria
267-2	Entrada remota de parada : Datos irregulares, intermitentes o incorrectos
273-3	Sensor de presión de salida de turbocompresor : Voltaje sobre normal
274-3	Sensor de presión atmosférica : Voltaje sobre normal
275-3	Sensor derecho de presión de entrada de turbocompresor : Voltaje sobre normal
276-3	Sensor de presión de entrada de turbocompresor izquierdo : Voltaje sobre normal

12) Códigos de Diagnostico Registrados: En esta parte del Tecnico Electrónico Caterpillar se pueden visualizar los problemas eléctricos presentados, las veces que se presento el problema y a la hora que se presento el problema.

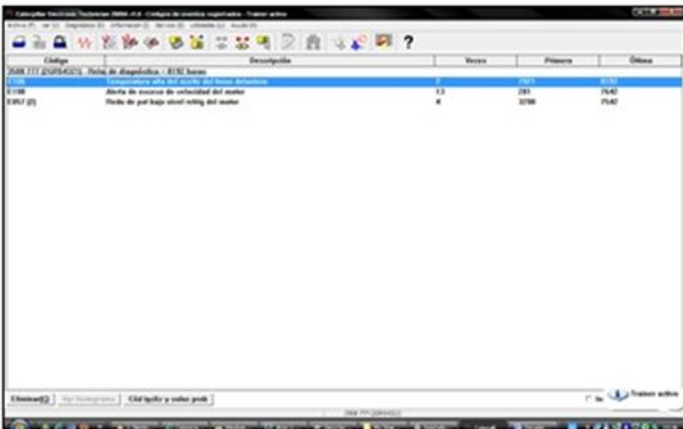
Caterpillar Electronic Technician 2008A v1.0 - Códigos de diagnóstico registrados - Trainer activo

Archivo (F) Ver (V) Diagnóstico (D) Información (I) Servicio (S) Utilidades (U) Ayuda (H)

Registro	Descripción	Veces	Primera	Última
3508 777 [2GR54321] - Hora de diagnóstico : 01:52 horas				
91-2	Sensor de posición del acelerador : Datos irregulares, intermitentes o incorrectos	2	01:52	01:52
100-3	Sens pres del aceite del motor : Voltaje sobre normal	2	01:52	01:52
110-3	Sensor de temperatura de refrigerante de motor : Voltaje sobre normal	2	01:52	01:52
273-3	Sensor de presión de salida de turbocompresor : Voltaje sobre normal	2	01:52	01:52
274-3	Sensor de presión atmosférica : Voltaje sobre normal	2	01:52	01:52
275-3	Sensor derecho de presión de entrada de turbocompresor : Voltaje sobre normal	2	01:52	01:52
276-3	Sensor de presión de entrada de turbocompresor izquierdo : Voltaje sobre normal	2	01:52	01:52

13) Códigos de Eventos Registrados: En esta parte del Tecnico Electrónico Caterpillar se pueden visualizar los problemas mecánicos que se dan en el equipo, como una alta temperatura de refrigerante, motor, filtro de aire taponeado o restringido, abuso de la transmisión, alerta de exceso de velocidad de motor.

	GAMAS EQUIPO MOVIL YURA S.A.	CÓDIGO DE GAMA	EM_115
	BAJAR INFORMACION CON ET	Página 6 de 8	



Código	Descripción	Vezes	Primera	Última
2500-111-2050-4011	Alerta de diagnóstico - E130	2	1753	1753
E130	Alerta de exceso de velocidad del motor	13	281	7542
E130 (2)	Alerta de exceso de velocidad del motor	4	3298	7542



Código	Descripción	Vezes	Primera	Última
2500-111-2050-4011	Alerta de diagnóstico - E130	2	1753	1753
E130	Alerta de exceso de velocidad del motor	13	281	7542
E130 (2)	Alerta de exceso de velocidad del motor	4	3298	7542

14) Estado del Equipo: Esta parte del Técnico Electrónico Caterpillar se usa para evaluar el equipo, se pueden escoger diversos grupos de estado donde se encuentran diversos tipos de evaluaciones, tipos de sensores, etc.

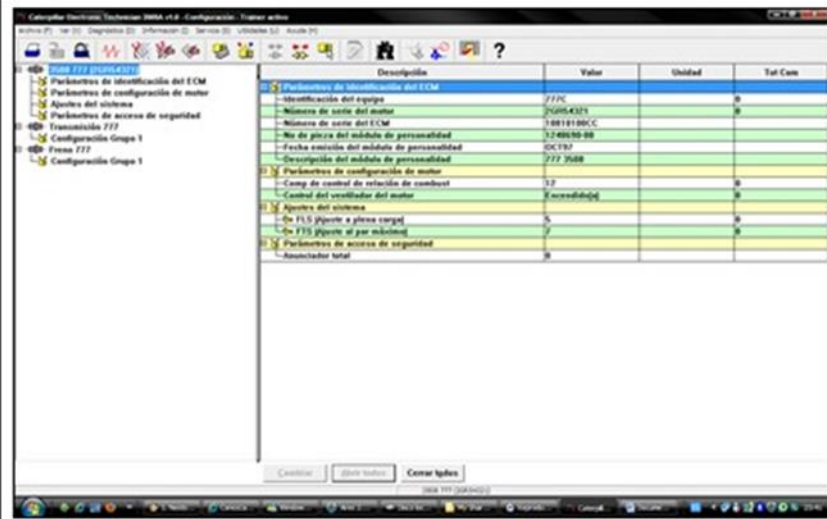
	GAMAS EQUIPO MOVIL YURA S.A.		CÓDIGO DE GAMA	EM_116
	BAJAR INFORMACION CON ET		Página 7 de 8	

Caterpillar (Electrónica) Technician 3000 v4.0 - Estado: Trainer activo					
Descripción	Valor	Unidad	Mín	Máx	ECM
Velocidad del motor	1825	RPM	1825	1825	3508 777 (PGM54321)
Velocidad deseada del motor	1800	RPM	1800	1800	3508 777 (PGM54321)
Posición del combustible	58.8		58.8	58.8	3508 777 (PGM54321)
Límite nominal de combustible	758.8		758.8	758.8	3508 777 (PGM54321)
Posición del acelerador	39.2	%	39.2	39.2	3508 777 (PGM54321)
Presión de retuerzo	45.0	KPa	45.0	45.0	3508 777 (PGM54321)
Límite de combustible FRC	58.8		58.8	58.8	3508 777 (PGM54321)

Caterpillar (Electrónica) Technician 3000 v4.0 - Estado: Trainer activo					
Descripción	Valor	Unidad	Mín	Máx	ECM
Velocidad del motor	1825	RPM	1825	1825	3508 777 (PGM54321)
Velocidad deseada del motor	1800	RPM	1800	1800	3508 777 (PGM54321)
Posición del combustible	58.8		58.8	58.8	3508 777 (PGM54321)
Límite nominal de combustible	758.8		758.8	758.8	3508 777 (PGM54321)
Posición del acelerador	39.2	%	39.2	39.2	3508 777 (PGM54321)
Presión de retuerzo	45.0	KPa	45.0	45.0	3508 777 (PGM54321)
Límite de combustible FRC	58.8		58.8	58.8	3508 777 (PGM54321)

15) Configuración del ECM Esta parte del Técnico Electrónico Caterpillar me da datos de la máquina, datos del ECM, fecha de instalación, versión del software del equipo (log file) y algunos ajustes que se le pueden realizar al ECM.

	GAMAS EQUIPO MOVIL YURA S.A.		CÓDIGO DE GAMA	EM_115
	BAJAR INFORMACION CON ET		Página 6 de 8	



Configuración Técnica 100A v1.0 - Configuración - Tráiler activo

Activo (F) | Ver (V) | Diagnostico (D) | Informacion (I) | Servicio (S) | Utilidades (U) | Ayuda (A)

Parámetros de identificación del ECM

Parámetros de configuración de motor

Ajustes del sistema

Parámetros de acceso de seguridad

Transmisión 777

Configuración Grupo 1

Freno 777

Configuración Grupo 1

Descripción	Valor	Unidad	Tot Cam
Parámetros de identificación del ECM			
-Identificación del equipo	777C	0	
-Número de serie del motor	2GR54321	0	
-Número de serie del ECM	10010100C		
-No de pieza del módulo de personalidad	124050-00		
-Fecha emisión del módulo de personalidad	0C197		
-Descripción del módulo de personalidad	777 3500		
Parámetros de configuración de motor			
-Comp de control de relación de combust	12	0	
-Control del ventilador del motor	Excesividad	0	
Ajustes del sistema			
-En FLS (punto a plena carga)	5	0	
-En FTS (punto al par máximo)	7	0	
Parámetros de acceso de seguridad			
-Anunciador total	0		

Cancelar | Guardar todos | Comparar todos

100A 100 (2010-01-01)



Configuración Técnica 100A v1.0 - Configuración - Tráiler activo

Activo (F) | Ver (V) | Diagnostico (D) | Informacion (I) | Servicio (S) | Utilidades (U) | Ayuda (A)

Parámetros de identificación del ECM

Parámetros de configuración de motor

Ajustes del sistema

Parámetros de acceso de seguridad

Transmisión 777

Configuración Grupo 1

Freno 777

Configuración Grupo 1

Descripción	Valor	Unidad	Tot Cam
Parámetros de identificación del ECM			
-Identificación del equipo	777C	0	
-Número de serie del motor	2GR54321	0	
-Número de serie del ECM	10010100C		
-No de pieza del módulo de personalidad	124050-00		
-Fecha emisión del módulo de personalidad	0C197		
-Descripción del módulo de personalidad	777 3500		
Parámetros de configuración de motor			
-Comp de control de relación de combust	12	0	
-Control del ventilador del motor	Excesividad	0	
Ajustes del sistema			
-En FLS (punto a plena carga)	5	0	
-En FTS (punto al par máximo)	7	0	
Parámetros de acceso de seguridad			
-Anunciador total	0		

Cancelar | Guardar todos | Comparar todos

100A 100 (2010-01-01)