

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica

ANÁLISIS DE FALLA FUNCIONAL MEDIANTE LA
APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO
EN LA CONFIABILIDAD A LA EXCAVADORA
CAT 345CL

TESIS

Presentada por:

Bach. Gilmer Patricio Ancota

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO MECÁNICO

TACNA - PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica

**ANÁLISIS DE FALLA FUNCIONAL MEDIANTE LA
APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO
EN LA CONFIABILIDAD A LA EXCAVADORA
CAT 345CL**

Trabajo de tesis sustentado por el bachiller GILMER PATRICIO ANCOTA, aprobado el 06 de diciembre del 2018, el jurado calificador estuvo integrado por:

PRESIDENTE

:


MSc. Edgardo Teófilo Valdez Cortijo

SECRETARIO

:


Dr. Jesús Placido Medina Salas

VOCAL

:


Ing. Reynaldo Clemente Telles Ríos

ASESOR

:


Ing. Víctor Juan Malpartida Arrieta

DEDICATORIA

A mi madre por su enorme esfuerzo y confianza, los cuales se plasmaron en la culminación de mi carrera ingeniería mecánica y por la confianza que siempre han tenido.

AGRADECIMIENTOS

A la primera persona que quiero agradecer es a mi asesor Ing. Víctor Malpartida Arrieta, que sin su ayuda y conocimientos no hubiese sido posible realizar la investigación.

Además, quiero agradecer a mis compañeros de trabajo Aldo Delgado Celis, Pierre Alcázar Lujan, Horacio Guarnís Anticono, quienes siempre me apoyaron en los trabajos propuestos, así como lo aprendido durante mi estadía en Mur Wy Sac.

CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xix
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	3
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	3
1.1.1. Antecedentes de problema	3
1.1.2. Problemática de la investigación	4
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.2.1. Interrogante general	4
1.2.2. Interrogantes específicos	4
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	4
1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES	5
1.4.1. Alcances	5

1.4.2. Limitaciones	6
1.5. OBJETIVOS	6
1.5.1. Objetivo general	6
1.5.2. Objetivos específicos	6
1.6. HIPÓTESIS	7
1.6.1. Hipótesis general	7
1.6.2. Hipótesis específica	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	8
2.2. BASES TEÓRICAS	14
2.2.1. Liderazgo y cultura organizacional	14
2.2.2. Evolución del mantenimiento	16
2.2.2.1. La primera generación	16
2.2.2.2. La segunda generación	17
2.2.2.3. La tercera generación	17
2.2.3. Paradigmas del mantenimiento	21
2.2.4. Problemas comunes de mantenimiento	21
2.2.4.1. Insuficiente mantenimiento proactivo	21

2.2.4.2. Frecuentes problemas repetitivos	22
2.2.4.3. Trabajos erróneos de mantenimiento	23
2.2.4.4. Innecesario y conservador mantenimiento preventivo (PM)	23
2.2.4.5. Programa de mantenimiento carece de visibilidad	24
2.2.5. La confiabilidad	25
2.2.6. Componentes de RCM	30
2.2.6.1. Mantenimiento reactivo	31
2.2.6.2. Mantenimiento preventivo	32
2.2.6.3. Mantenimiento proactivo	33
2.2.6.4. Mantenimiento predictivo	34
2.2.7. Mantenimiento estratégico- RCM	35
2.2.7.1. Principales características de RCM	36
2.2.7.2. Proceso de RCM	38
2.2.8. Fallas	40
2.2.8.1. ¿Qué es un modo de falla?	41
2.2.8.2. ¿Qué es una falla funcional?	41
2.2.8.3. Efectos de las fallas	42
2.2.8.4. Consecuencias de las fallas	43

2.2.8.5. Los patrones de falla	44
2.2.9. Desarrollo de Modo de Falla y Análisis de Efectos (FMEA)	49
2.2.9.1. Hoja de información	49
2.2.9.2. Hoja de decisión	50
2.2.9.3. Procedimiento de llenado	52
2.2.10. RCM: Inicio rápido y mejora continua	56
2.2.10.1. Optimización de mantenimiento preventivo	58
2.2.10.2. Análisis y causa de raíz (RCA)	60
2.2.10.3. Diagrama de Pareto	63
2.2.10.4. Diagrama de dispersión	65
2.2.11. Modelos de confiabilidad	67
2.2.11.1. Distribución weibull	67
2.2.11.2. Distribución exponencial	71
2.2.11.3. Modelo normal	73
2.2.12. Confiabilidad de sistemas	76
2.2.13. Equipos de revisión RCM	78
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	79
2.3.1. Mantenibilidad	79

2.3.2. Falla	79
2.3.3. Disponibilidad	79
2.3.4. Vida útil	80
2.3.5. Tiempo promedio entre fallas (MTBF)	80
2.3.6. Tiempo promedio para reparar (MTTR)	81
2.3.7. Máquina crítica	81
2.3.8. Sistemas	81
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	93
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	93
3.1.1. Tipo de investigación	93
3.1.2. Nivel de investigación	94
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	94
3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	94
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	95
3.4.1. Técnica tipo documentación	97
3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	97
3.5.1. Fallas no programadas del equipo	99

3.5.2. Indicadores de mantenimiento	109
3.5.3. Análisis de Pareto	111
3.5.4. Diagrama de Knife	113
3.5.5. Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad	115
3.5.5.1. Análisis de modos de fallas (hoja de información)	115
3.5.5.1.1. Motor	115
3.5.5.1.2. Cilindro hidráulico de Bucket	122
3.5.5.1.3. Grupo de Mando de Ventilador	125
3.5.5.1.4. Bomba de agua	127
3.5.5.1.5. Grupo de enfriador de aceite	128
3.5.5.2. Hoja de decisión y análisis de estadísticos	130
3.5.6. Costo y beneficio de la aplicación de RCM	147
3.5.7. Desarrollo de las fallas	150
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	164
4.1. RESULTADOS	164
4.1.1. Análisis estadísticos de los resultados	165
4.1.2. Prueba de hipótesis	168
4.2. DISCUSIÓN	170

CONCLUSIONES	171
RECOMENDACIONES	173
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	175
ANEXOS	179

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Paradigmas de mantenimiento.	21
Tabla 2.	Tasa de falla.	40
Tabla 3.	Parte posterior de motor.	82
Tabla 4.	Parte delantera de motor	83
Tabla 5.	Tren de potencia	85
Tabla 6.	Partes del sistema hidráulico	86
Tabla 7.	Partes del sistema eléctrico de motor	88
Tabla 8.	Partes del tren de rodamiento	89
Tabla 9.	Partes de cucharón	90
Tabla 10.	Partes de Motor	91
Tabla 11.	Excavadora considerada para estudio.	94
Tabla 12.	Fallas no programadas del equipo	99
Tabla 13.	Registro de indicadores 2014.	109
Tabla 14.	Registro de indicadores 2015	110
Tabla 15.	Pareto por sistemas	112
Tabla 16.	Parte de motor, planeamiento Mur Wy Sac- Apumayo.	122
Tabla 17.	Partes del cilindro de bucket.	124
Tabla 18.	Motor de giro.	124

Tabla 19.	Grupo de mando de ventilacion.	126
Tabla 20.	Partes de una bomba de agua.	128
Tabla 21.	Partes de enfriador de aceite de motor.	129
Tabla 22.	Aplicación de weibull a motor de giro RH.	135
Tabla 23.	Análisis de weibull de bomba de agua.	141
Tabla 24.	Hoja de decisión de enfriador de aceite de motor.	145
Tabla 25.	Análisis de costo antes del RCM	147
Tabla 27.	Análisis de modos de falla de cilindro de bucket.	148
Tabla 28.	Disponibilidad con la aplicación de RCM.	164
Tabla 29.	Comparación de disponibilidades.	165

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	La pirámide excelencia	10
Figura 2.	Países con profesionales CMRP a nivel mundial.	11
Figura 3.	Porcentaje CMRP por región a nivel mundial.	12
Figura 4.	% CMRP. Perú por sectores.	12
Figura 5.	CMRP por empresa.	13
Figura 6.	Cultura organizacional.	15
Figura 7.	Flujo del éxito.	15
Figura 8.	Desarrollo de estrategia.	16
Figura 9.	Evolución del mantenimiento.	20
Figura 10.	Confiabilidad y costos.	27
Figura 11.	Economía de confiabilidad.	28
Figura 12.	Componentes de ingeniería de mantenimiento con enfoque moderno.	31
Figura 13.	Métodos útiles para establecer periodos iniciales.	33
Figura 14.	Las 7 preguntas de RCM.	39
Figura 15.	Curva de la bañera.	41
Figura 16.	Deterioro de la capacidad funcional.	42
Figura 17.	Falla de tipo A.	45
Figura 18.	Falla tipo C.	46
Figura 19.	Falla tipo D.	46

Figura 20.	Falla tipo E.	47
Figura 21.	Falla tipo F.	48
Figura 22.	Seis patrones de falla.	48
Figura 23.	Hoja de información RCM.	50
Figura 24.	Hoja de decisión.	51
Figura 25.	Hoja de decisión de consecuencia	53
Figura 26.	Hoja de decisión de criterio.	54
Figura 27.	Acción a falta de H4.	55
Figura 28.	Acción a falta de H5.	55
Figura 29.	Acción a falta de S4	56
Figura 30.	Ciclo de gestión de trabajo.	57
Figura 31.	Ciclo de optimización de mantenimiento preventivo.	60
Figura 32.	Diagrama de Pareto.	64
Figura 33.	Diagrama de dispersión.	67
Figura 34.	Función de densidad de probabilidad de fallas de Weibull.	69
Figura 35.	Tasa de Fallas en Weibull.	70
Figura 36.	Función acumulada de fallas.	70
Figura 37.	Tasa de falla Weibull.	71
Figura 38.	Modelos de distribución exponencial.	73
Figura 39.	Modelos de distribución normal.	75

Figura 40.	Modelos de comunes de confiabilidad.	76
Figura 41.	Confiabilidad en serie.	77
Figura 42.	Confiabilidad en paralelo.	78
Figura 43.	Equipos de revisión RCM.	79
Figura 44.	Disponibilidad.	80
Figura 45.	Parte posterior de motor.	82
Figura 46.	Parte delantera de motor.	83
Figura 47.	Tren de potencia.	84
Figura 48.	Sistema hidráulico.	86
Figura 49.	Sistema eléctrico.	88
Figura 50.	Tren de rodamiento.	89
Figura 51.	Cucharón.	90
Figura 52.	Cabina1.	91
Figura 53.	Partes principales de la excavadora 345CL.	92
Figura 54.	Excavadora 345CL.	96
Figura 55.	Procesamiento y análisis de datos.	98
Figura 56.	Disponibilidad año 2014.	110
Figura 57.	Disponibilidad año 2015.	111
Figura 58.	Pareto por sistemas.	113
Figura 59.	Diagrama de Knife.	114
Figura 60.	Informe de falla de Motor Diésel.	118

Figura 61.	Relleno de aceite	119
Figura 62.	Análisis de falla y causa de raíz (ACR)	120
Figura 63	Análisis de falla de motor de excavadora	121
Figura 64.	Bloque de motor.	121
Figura 65	Análisis de falla de cilindro hidráulico de bucket	122
	Mur Wy Sac-Apumayo	
Figura 66	Cilindro de bucket	123
Figura 67.	Válvula de cilindro de bucket.	123
Figura 68.	Motor de giro	124
Figura 69.	Análisis de falla de grupo de mando de ventilación	125
	Mur Wy Sac-Apumayo	
Figura 70	Motor básico	125
Figura 71.	Grupo de sistema de mando de ventilador.	126
Figura 72.	Análisis de falla de bomba de agua, Mur Wy Sac-	127
	Apumayo	
Figura 73.	Partes de la bomba de agua.	127
Figura 74.	Análisis de falla de enfriador de aceite de motor,	128
	Mur Wy Sac-Apumayo.	
Figura 75	Sistema de lubricación, (enfriador de aceite).	129
Figura 76	Hoja de decisión de motor	130
Figura 77	Sistema de admisión.	131

Figura 78.	Hoja de decisión de cilindro de bucket.	132
Figura 79.	Aplicación de Weibull a cilindro de bucket	133
Figura 80.	Confiabilidad de $R(t)$ de Cilindro hidráulico de bucket.	133
Figura 81.	Hoja de decisión de motor hidráulico de giro RH.	134
Figura 82.	Motor de giro RH.	136
Figura 83.	Hoja de decisión de Mando Fan	137
Figura 84	Hoja de decisión de bomba de agua	138
Figura 85.	Punto de toma de presión.	140
Figura 86.	Weibull de bomba de agua.	142
Figura 87.	Hoja de decisión de enfriador de aceite.	143
Figura 88.	$R(t)$ y $F(t)$ Enfriador de aceite motor.	146
Figura 89.	Costo y beneficio.	149
Figura 90.	Desarrollo de fallas del sistema de motor básico.	150
Figura 91.	Desarrollo de fallas del sistema de admisión y escape.	152
Figura 92.	Desarrollo del sistema de fallas del sistema de enfriamiento.	154
Figura 93.	Desarrollo de fallas del sistema de combustible	156
Figura 94.	Desarrollo de fallas del sistema de lubricación	158
Figura 95.	Desarrollo de fallas del sistema de Eléctrico.	160

Figura 96.	Análisis de modos de falla de cilindro de bucket	162
Figura 97.	Prueba estadística antes del RCM.	166
Figura 98.	Prueba estadística después de la aplicación del RCM.	167
Figura 99.	Prueba de muestra emparejadas.	169
Figura 100	Diagrama de caja de disponibilidad	170

RESUMEN

La investigación realizada es aplicada, con el objetivo principal la de aplicar el análisis de falla funcional y modelos estadísticos mediante el mantenimiento centrado en la confiabilidad a la excavadora 345CL, para prevenir las fallas y la consiguiente reducción de los costos de mantenimiento a la empresa Mur Wy SAC. El autor del presente trabajo se propone a realizar la estrategia, en la Unidad Minera Apumayo Sac, como modelo para la implementación en todo el pool de maquinaria, debido a que la empresa no cuenta con personal para el desarrollo y la aplicación de la nueva estrategia de mantenimiento de la materia de investigación. Se considera a la excavadora como equipo crítico de carguío ya que es generadora de gran parte de la producción minera. Se recopiló información de registro de paradas desde 01 de mayo de 2014 hasta 31 de diciembre de 2015, teniendo una disponibilidad 82,9 % considerado debajo de las exigencias mineras por encima de 85 %. El hecho de planificar y programar trabajos no es suficiente, es conveniente realizar un análisis cualitativo que indicará el tipo y clase de falla o análisis cuantitativo del tiempo de vida útil de componente, esto representa como una oportunidad de mejora constante. Se determinaron las siguientes estrategias:

- Análisis de fallas (AMEF)

- Implementación de métodos estadísticos para la toma de decisiones.
- Optimización del cambio sistemático de componentes en función de la frecuencia de fallas.

Por los resultados obtenidos se determinó la gran importancia y representatividad que tienen las excavadoras para la productividad de las minas del Grupo Aruntani SAC. La investigación aplicando el mantenimiento centrado a la confiabilidad, incremento una disponibilidad del 93 % y redujo los costos de mantenimientos en 334 149,55 US\$.

INTRODUCCIÓN

La idea del mantenimiento está cambiando. Los cambios son debido al aumento de fallas, mayor complejidad de la maquinaria, nuevas técnicas de mantenimiento y un nuevo enfoque de la organización.

RCM es una metodología proactiva que utiliza principios de confiabilidad para identificar el trabajo correcto que se debe realizar para mantener un activo en una condición deseada para que pueda seguir desempeñando su función prevista. De hecho, RCM es básicamente una herramienta de optimización PM para definir las acciones de mantenimiento actualmente con mayor demanda por parte de empresas de clase mundial, mediante objetivos aliados al negocio. Nuestro enfoque, permite identificar las oportunidades más relevantes y plantear estrategias para el control de las fallas.

Mediante la aplicación RCM se busca aumentar la disponibilidad mecánica del activo fijo en las operaciones del Grupo Aruntani – Unidad Minera Apumayo. Se utilizará herramientas cualitativas FMEA, PMO, ACR para entender el origen de las fallas, y cuantitativas para análisis para la toma de decisiones en los procesos como Weibull, Normal, Log Normal, Exponencial.

El éxito de la metodología de RCM radica en la participación de todo el personal de mantenimiento desde el mando de gerencia a mando técnico.

A lo largo de esta investigación, se ha hecho el esfuerzo por descubrir cómo RCM puede y debe ser una parte integral de cualquier organización de mantenimiento y convertirlo en la columna vertebral de cualquier filosofía.

La presente investigación tiene como finalidad servir como guía en la aplicación metodología RCM.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1 Antecedentes de problema

La empresa Mur Wy Sac., en el 2013 en la Unidad Minera Apumayo Sac adquirió un pool de equipos (excavadora, tractor, cargador, rodillo, motoniveladora, retroexcavadora, volquetes) de las empresas Muruhuay Sac y Ajani Sac para la producción en operaciones mina.

En el área de servicios y soporte, se encontró un alto porcentaje de mantenimiento correctivo de la excavadora Cat 345CL con ello generando una paralización de los siguientes equipos: volquete, tractor, motoniveladora, cargador, rodillo debido que todos estos equipos trabajan en función de la excavadora Cat 345CL.

Se confirma la insatisfacción del cliente de la Unidad Minera Apumayo Sac, debido a la baja disponibilidad de activos, debido a una paralización del pool de equipos, incidiendo en la productividad.

1.1.2 Problemática de la investigación

Principal problema de la investigación es la falta de análisis de falla funcionales por parte de la empresa, debido a que no tiene un programa de mantenimiento centrado a la confiabilidad para el análisis que permita la alta confiabilidad de los equipos para mejorar la disponibilidad.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Interrogante general

¿De qué manera aplicar el mantenimiento centrado en la confiabilidad con el análisis de métodos propios del RCM mejoraría la disponibilidad de la excavadora?

1.2.2 Interrogantes específicos

- a) ¿Cómo implementar la estrategia de mantenimiento centrado en la confiabilidad teniendo con la actual gerencia de mantenimiento?
- b) ¿Cómo aumentará la disponibilidad mecánica en la Unidad Minera Apumayo mediante la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad?
- c) ¿En qué medida influirá con la ejecución del estudio de este modelo estratégico en los costos finales?

1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La presente investigación se justifica y se hace necesaria por las constantes paradas imprevistas de las excavadoras lo cual afectaba los

costos de mantenimiento y disponibilidad mecánica de los mismos, infiriéndose del tipo de mantenimiento preventivo y correctivo que se venía aplicando no era el más adecuado; por lo que con el presente estudio de investigación se establecerá que la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad es garantía para reducir los costos de mantenimiento y lograr la mínima disponibilidad de acuerdo al estándar.

Según el contrato con la minera esta disponibilidad mecánica de las excavadoras debe superar o mantener un mínimo de 85% que establece como meta en el presenta trabajo.

Es conocido que el proceso de mantenimiento incide directamente en la operación, para el presente caso se considera que el mantenimiento centrado en la confiabilidad puede disminuir el número de fallas funcionales de los activos de la Empresa.

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.4.1 Alcances

El presente trabajo de investigación se desarrolló en forma específica en el área de Mantenimiento de equipos de la empresa Mur Wy SAC de la Unidad Minera Apumayo SAC que está 4 300 msnm, y se busco la mejora de la disponibilidad mecánica de los equipos a través de la aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM.

1.4.2 Limitaciones

Las limitaciones que se pueda tener en la presente investigación:

- Las condiciones climáticas (4500 msnm) con él se realizó la investigación
- Demora del área logística en la gestión de adquisición de repuestos y materiales. Atención a destiempo.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

Determinar si la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad mejora el nivel de disponibilidad de la excavadora Cat 345CL.

1.5.2 Objetivo específicos

- Analizar y pronosticar fallas funcionales del activo.
- Decidir si es técnicamente factible realizar una tarea de reacondicionamiento, sustitución de la falla funcional del componente y/o repuesto.
- Analizar todas las posibilidades de falla funcional de un sistema y desarrollar mecanismos adecuados para evitarlos como FMEA (análisis de efecto de modo de falla), ACR (análisis y causa raíz), CBM (mantenimiento basado en la condición), PMO (optimización de mantenimiento preventivo) y análisis estadísticos.

1.6. HIPÓTESIS

1.6.1 Hipótesis general

La aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad se aumentará la disponibilidad mecánica del activo fijo en las operaciones del Grupo Aruntani – Unidad Minera Apumayo.

1.6.2 Hipótesis específica

Actualmente la empresa Mur Wy Sac no cuenta con personal capacitado que permita desarrollar estrategias para disminuir o eliminar las fallas funcionales de la excavadora CAT 345CL.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Se realizó la tesis por (Burga, 2010, pág. 82). Después de la aplicación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad a los motores de gas de dos tiempos que funcionan en pozos de alta producción, se obtuvo las siguientes conclusiones:

De acuerdo al AMEF y la clasificación obtenida a través del NPR (Número de Prioridad de Riesgo), de los 124 modos de falla analizados, se obtuvo lo siguiente:

- 26 fallas inaceptables (21,0 %).
- 43 fallas de reducción deseable (34,7 %).
- 55 fallas aceptables (44,3 %).

En cualquier organización, los activos son necesarios para producir productos o proporcionar servicios. Un activo, como se define aquí, podría ser un componente o dispositivo de hardware electrónico o mecánico, un producto de software o un sistema o proceso de fabricación. El objetivo de realizar un mejor mantenimiento y mejorar la confiabilidad de los activos en una organización es asegurar que los activos estén disponibles para

realizar las funciones requeridas, cuando sea necesario, de una manera rentable. El rendimiento de un activo se basa en tres factores. (Gulati, Maintenance and Reliability Best Practices, 2013, pág. 5)

- Confiabilidad Inherente ¿Cómo se diseñó?
- Entorno operativo ¿Cómo se operará?
- Plan de mantenimiento ¿Cómo se mantendrá?

Según (Bastidas Quispe, 2013, pág. 132), de la universidad Nacional del Centro en su tesis “Mantenimiento basado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad mecánica de los grupos electrógenos Olympian GEP110-4”, en el proyecto flowine lote 56 de la empresa Serpetrol Sac, concluye que con la presente investigación se logra mejorar la disponibilidad mecánica de los grupos electrógenos Olympian GEP110-4 en un promedio de 4,3 % la cual es una mejora considerable para la empresa.

“Es una representación gráfica del marco estructurado utilizado para aplicar estas prácticas exitosas en su negocio. Ese marco es una estrategia general, o una hoja de ruta, que se puede utilizar para guiar sus elecciones sobre cómo administrará el mantenimiento en su negocio” (Campbell & Reyes Picknell, 2016, pág. XII).



Figura 1. La pirámide excelencia

Fuente: John D Campbell, (2016). estrategias de excelencia en la gestión de mantenimiento

CRMP es el único programa de certificación de su tipo acreditado por el American National Standards Institute (ANSI), que sigue a las normas ISO, reconocido a nivel mundial para su acreditación. Es la credencial líder para certificar los conocimientos, habilidades y habilidades de los profesionales de mantenimiento, confiabilidad y gestión de activos físicos.

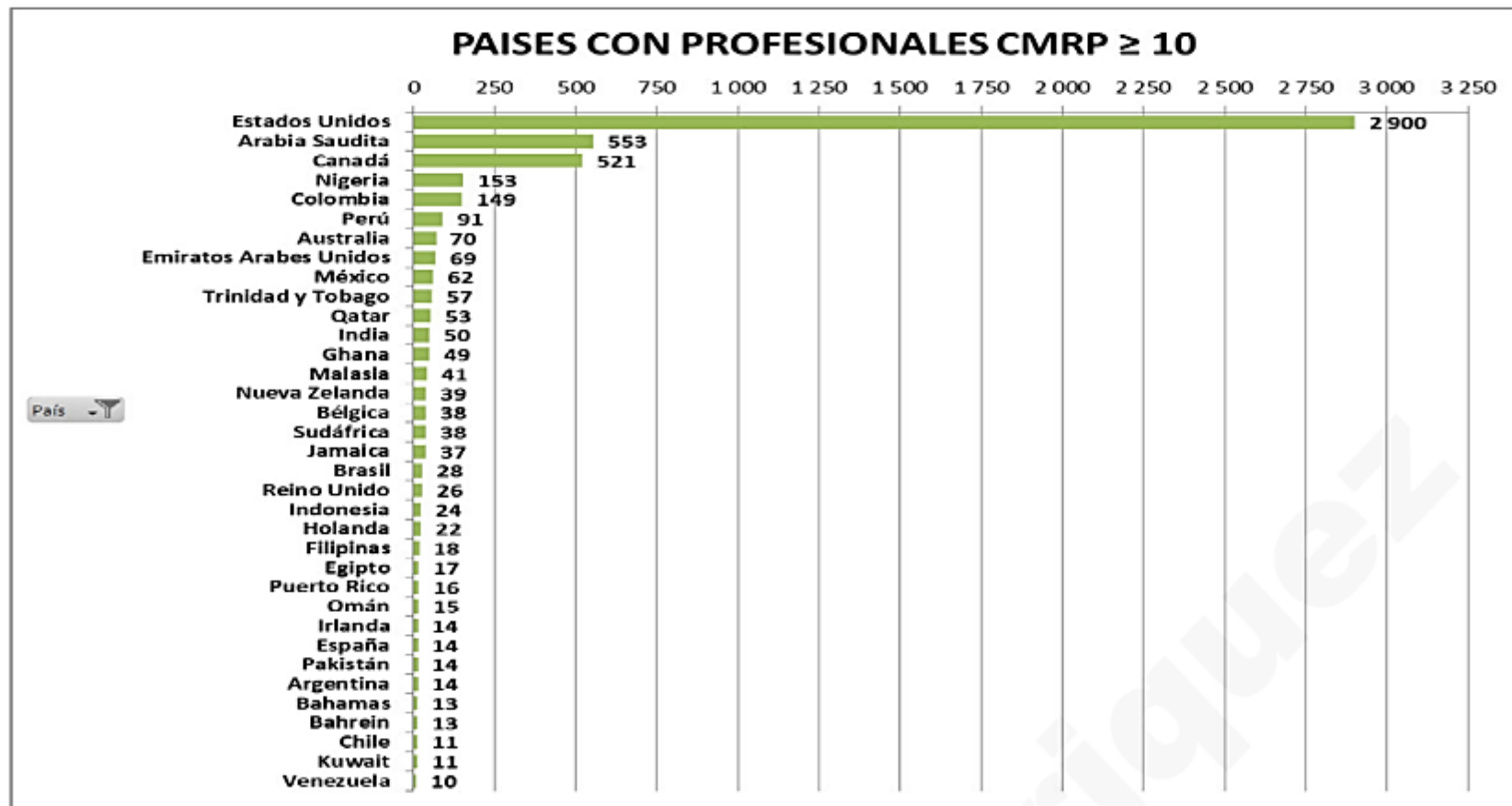


Figura 2. Países con profesionales CMRP a nivel mundial.

Fuente: www.smp.org

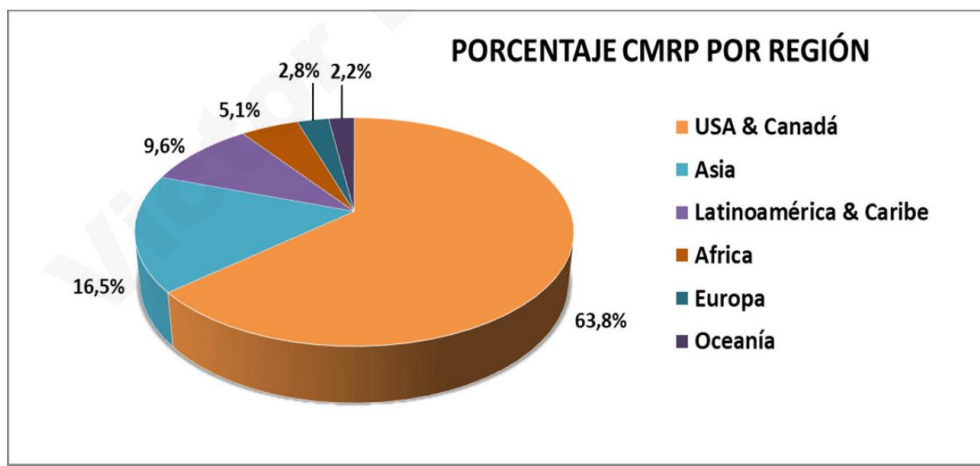


Figura 3. Porcentaje CMRP por región a nivel mundial

Fuente www.smrp.org

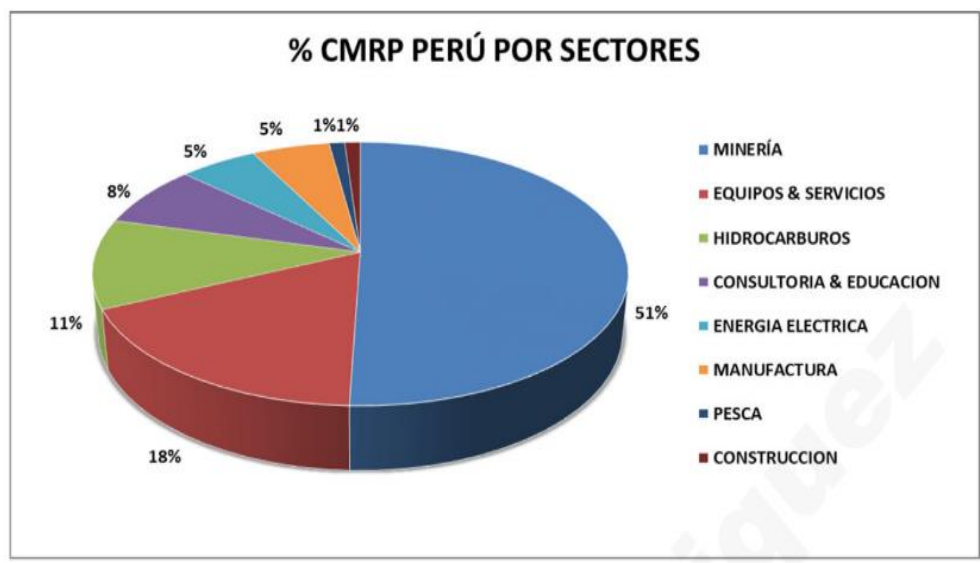


Figura 4. % CMRP. Perú por sectores

Fuente www.smrp.org

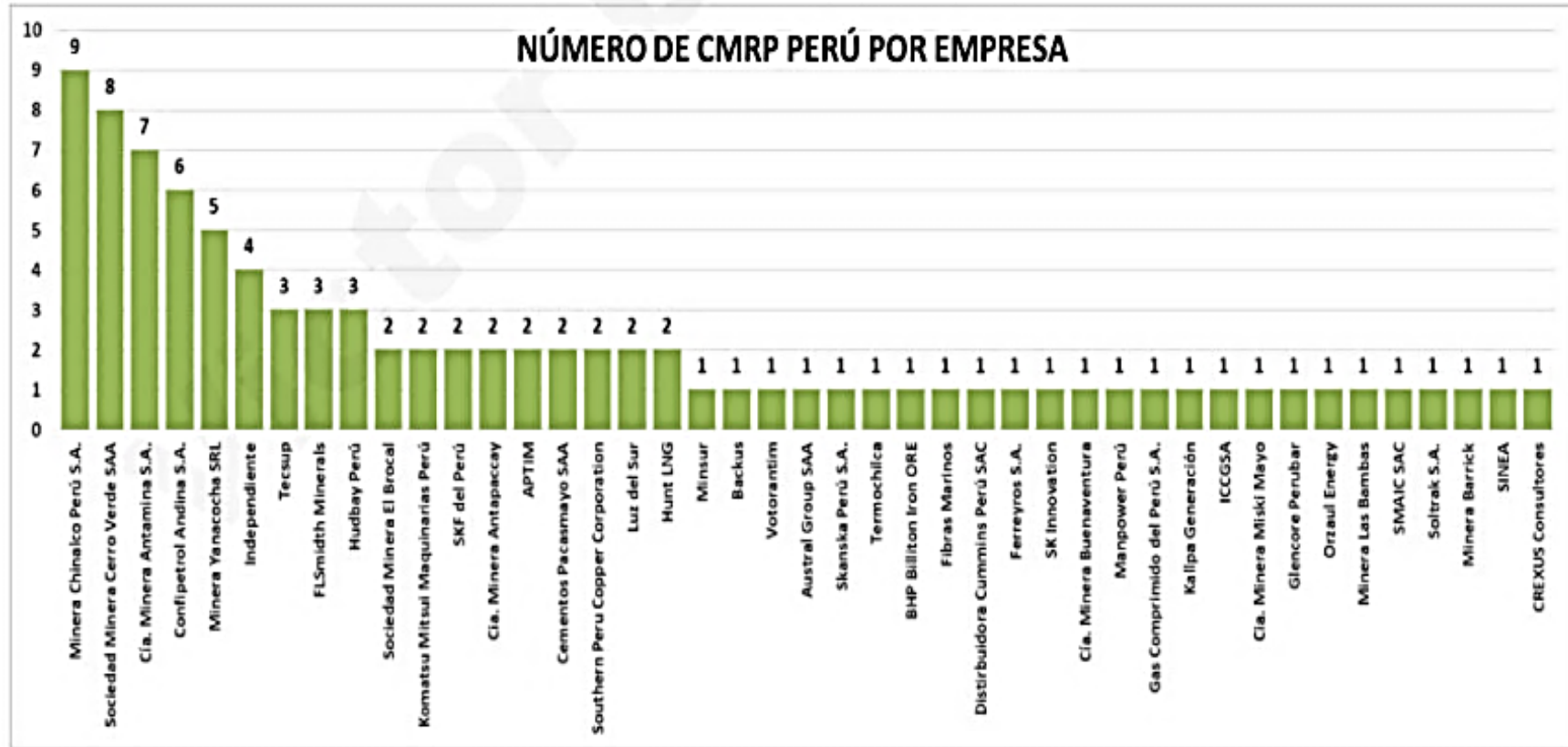


Figura 5. CMRP por empresa

Fuente www.smrp.org

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1 Liderazgo y cultura organizacional

La cultura se refiere a los valores, creencias y comportamientos de una organización. En general, son las creencias y los valores los que definen cómo las personas interpretan las experiencias y se comportan, tanto individualmente como en grupos. La cultura es tanto una causa como una consecuencia de la forma en que las personas se comportan. Las declaraciones culturales se vuelven operacionales cuando los líderes articulan y publican los valores de su organización. Proporcionan el patrón de cómo deben comportarse los empleados. Las organizaciones con culturas de trabajo sólidas, incluidas las culturas de confiabilidad, logran mejores resultados porque los empleados se concentran tanto en qué hacer y en cómo hacerlo. El comportamiento y el éxito son facilitadores clave en la creación de la cultura. Existe un flujo circular de causalidad mutua entre el comportamiento organizacional, éxito y la cultura, como se muestra en la Figura 6. Cuando un cambio es aceptado por los miembros del equipo, cambia su comportamiento. Hacen las tareas de manera diferente según lo exige el nuevo cambio. Entonces, si este cambio permite que el trabajo se realice con mayor facilidad, pueden tener cierto éxito. Este éxito los hace aceptar el cambio y conduce a hábitos cambiantes o métodos de trabajo rutinarios. Eventualmente se convierte en cultura de hacer las tareas de la

nueva manera (Figura 6). (Gulati, Maintenance and Reliability Best Practices, 2013, pág. 22).

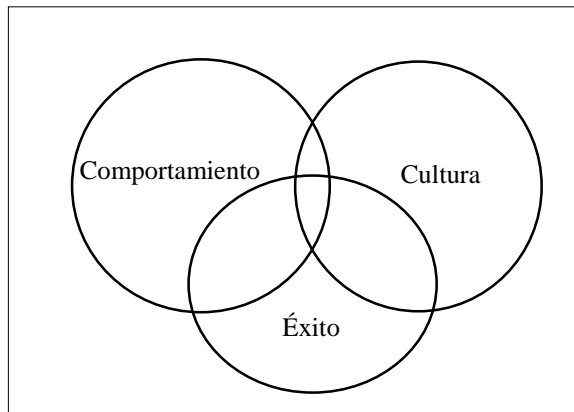


Figura 6. Cultura organizacional

Fuente: Ramesh Gulati, mantenimiento y confiabilidad las mejores prácticas

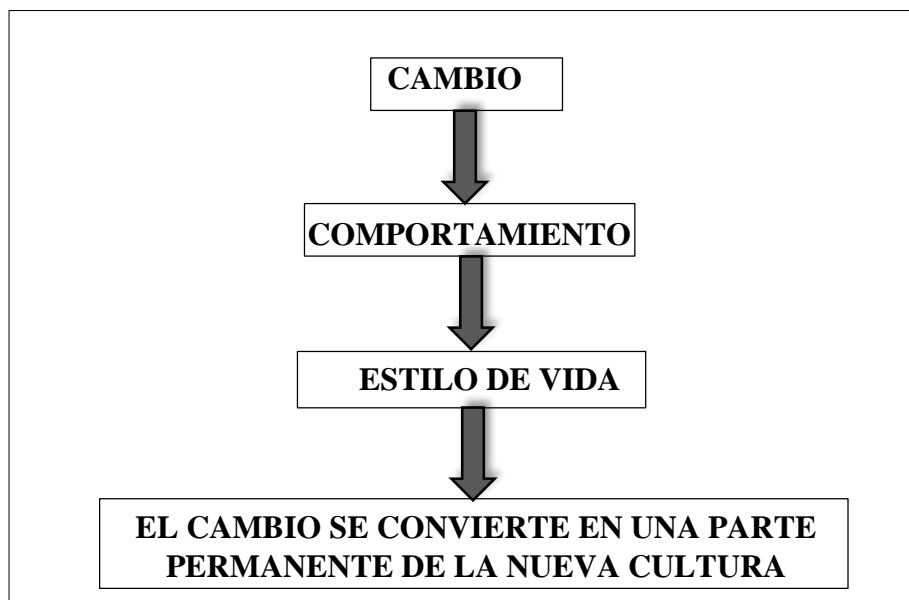


Figura 7. Flujo del Éxito

Fuente: Ramesh Gulati, mantenimiento y confiabilidad las mejores prácticas

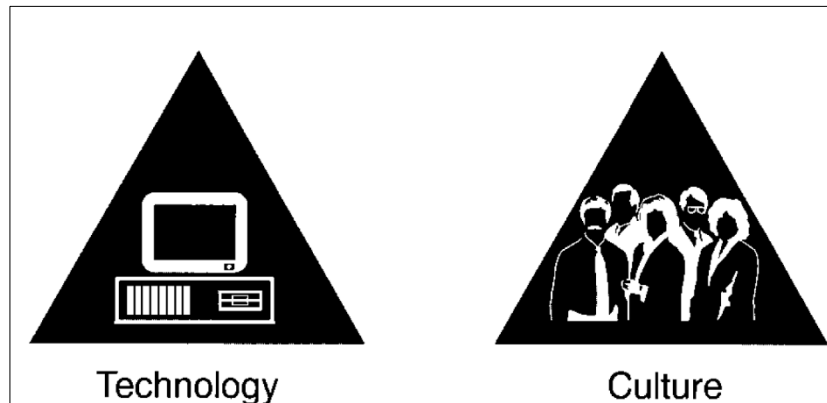


Figura 8. Desarrollo de estrategia

Fuente: Joseph M. Juran, libro de calidad

2.2.2 Evolución del mantenimiento

2.2.2.1 La primera generación

La primera generación cubre el periodo que se extiende hasta la segunda guerra mundial, en esos días la industria no estaba altamente mecanizada por lo que el tiempo de para de la maquina no era de mayor importancia, esto significaba que la prevención de las fallas en los equipos no era una prioridad para la mayoría de los gerentes. A su vez, la mayor parte de los equipos eran simple y la gran mayoría estaban sobredimensionado. Esto los hacia confiables y fáciles de reparar. Como resultado no había necesidad de un mantenimiento sistemático más allá de una simple rutina de limpieza, servicio y lubricación. Se necesitaban menos habilidades para realizar el mantenimiento que hoy en día. (Moubray J. , 2004, pág. 2).

2.2.2.2 La segunda generación

Durante la segunda Guerra Mundial todo cambio drásticamente. La presión de los tiempos de guerra aumentó la demanda de todo tipo de bienes, al mismo tiempo que decaía abruptamente el número de trabajadores industriales. Esto llevó a un aumento en la mecanización. Ya en los años 1950 había aumentado la cantidad y complejidad de todo tipo de máquinas, La industria estaba empezando a depender de ellas.

Al incrementarse esta dependencia, comenzó a concentrarse la atención en el tiempo de parada de máquina. Esto llevó a la idea de que las fallas en los equipos podían y debían ser prevenidas, dando lugar al concepto de mantenimiento preventivo. En la década del sesenta esto consistió principalmente en reparaciones mayores a intervalos regulares prefijados.

Por último, la suma de capital ligado a activos fijos junto con un elevado incremento en el costo de ese capital, llevó a la gente a buscar la manera de maximizar la vida útil de estos activos/bienes (Moubray J. , 2004, pág. 2).

2.2.2.3 La tercera generación

Desde mediados de la década del sesenta el proceso de cambio en la industria ha adquirido aún más impulso. Los cambios han sido

clasificados en nuevas expectativas, nuevas generaciones, y nuevas técnicas.

La Figura 9 muestra la evolución de las expectativas de mantenimiento. El tiempo de para de maquina afecta la capacidad de producción de los activos físicos al reducir la producción, aumentar los costos operacionales, y afectar el servicio al cliente. En las décadas del sesenta y setenta esto ya era una preocupación en los sectores mineros, manufactureros y de transporte. Los efectos del tiempo de parada de máquina fueron agravados por la tendencia mundial hacia sistemas *just-in-time*, donde los reducidos inventarios de material en proceso hacen que una pequeña falla en un equipo probablemente hiciera parar toda la planta. Actualmente el crecimiento de la mecanización y la automatización han tornado a la confiabilidad y a la disponibilidad en factores clave en sectores tan diversos como el cuidado de la salud, procesamiento de datos, telecomunicaciones y la administración de edificios.

Una mayor automatización también significa que más y más fallas afectan la capacidad de mantener parámetros de calidad satisfactorios. Esto se aplica tanto para parámetros de servicio como para la calidad del producto, por ejemplo, las fallas en los equipos pueden afectar el control del clima en los edificios o la puntualidad de las redes de transporte, así

como interferir con el logro de las tolerancias deseadas en la producción.

Más y más fallas acarrearán serias consecuencias para el medio ambiente o la seguridad, al tiempo que se elevan los requisitos en estas áreas. En algunas partes del mundo se ha llegado a un punto en que las organizaciones deben o bien adecuarse a las expectativas de seguridad y cuidado ambiental de la sociedad o dejar de operar. Nuestra dependencia a la integridad de nuestros activos físicos cobra ahora una nueva magnitud que va más allá del costo, y que se toma una cuestión de supervivencia de la organización.

Al mismo tiempo que crece nuestra dependencia a los activos físicos, crece también el costo de tenerlos y operarlos. Para asegurar el máximo retorno de la inversión que representa tenerlos, deben mantenerse trabajando eficientemente tanto tiempo como se requiera. Por último, el costo de mantenimiento aún está aumentando, tanto en términos absolutos como en proporción del gasto total. En algunas industrias representa ahora el segundo ítem más alto, o hasta el más alto costo operativo. En consecuencia, en solo treinta años ha pasado de ser un costo casi sin importancia a estar en las altas prioridades en el control de costo (Moubray J. , 2004, pág. 3).

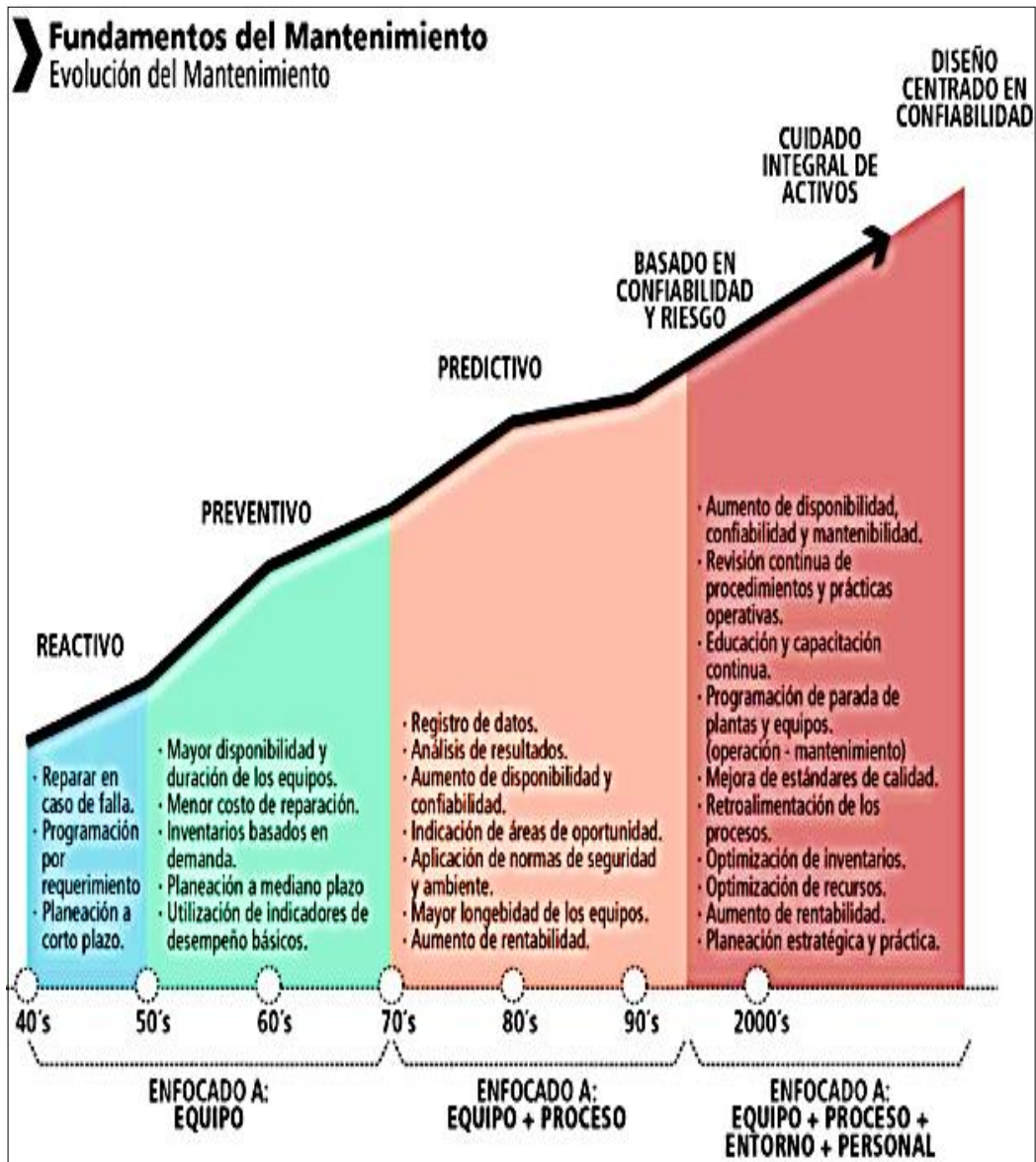


Figura 9. Evolución del mantenimiento

Fuente: Confiabilidad y gestión de riesgo R2M

2.2.3. Paradigmas del mantenimiento

Con el propósito de tener una visión más clara de la evolución y los problemas de mantenimiento, se muestra la siguiente tabla:

Tabla 1

Paradigmas de mantenimiento

Mantenimiento de antes	Mantenimiento de ahora
<ul style="list-style-type: none">• La función de mantenimiento es conservar el activo.• Existen tres tipos de mantenimiento ; correctivo, preventivo y predictivo.• La mayoría de los activos a medida que transcurren el tiempo fallan.• El objetivo del mantenimiento es optimizar la disponibilidad del equipo.• La forma más rápida de mejorar la confiabilidad de los sistemas es el reemplazo de los activos.	<ul style="list-style-type: none">• El mantenimiento preserva la función del activo.• Existen cuatro tipos de mantenimiento correctivo, preventivo, predictivo proactivo.• La mayoría de los activos fallan aleatoriamente.• La gestión de mantenimiento impacta en todos los aspectos del negocio: Riesgo, Seguridad, Salud, servicio al cliente, Finanza.• La optimización de la gestión de mantenimiento logra aumentar la confiabilidad.

Fuente: Elaboración propia

2.2.4. Problemas comunes de mantenimiento

2.2.4.1 Insuficiente mantenimiento proactivo

Este problema encabeza claramente la lista simplemente porque el mayor gasto de recursos de mantenimiento en las plantas y equipos ocurre típicamente en el área de mantenimiento correctivo. Dicho de otra manera, la gran mayoría del personal de mantenimiento de planta y equipos opera de modo reactivo, en algunos casos, la administración de la planta en realidad tiene una filosofía deliberada para operar de esa manera. Es

interesante notar que en el último caso, el producto final de dicha planta y equipos generalmente tiene el mayor costo unitario dentro del grupo que producen. Por lo tanto, un contribuyente importante al costo unitario se acumula a partir de una combinación del alto costo para restaurar el equipo de la planta a una condición operable junto con la penalización asociada con la pérdida de producción. Sin embargo, en un grado u otro, parece ser una situación común (Smith & Hinchcliffe, 2004, pág. 3).

2.2.4.2. Frecuentes problemas repetitivos

Este problema o curso se relaciona más bien directamente con lo anterior. Cuando el *modus operandi* de la planta y equipo es reactivo, solo hay tiempo para restaurar la operatividad. Pero nunca hay tiempo suficiente para saber por qué falló el equipo y mucho menos tiempo o información suficiente para saber cómo corregir la deficiencia de forma permanente. El resultado es que el mismo problema sigue apareciendo una y otra vez. Este problema de falla repetitiva a menudo se discute en términos de análisis de causa raíz, A menos que comprendamos por qué falló el equipo y actuemos para eliminar la causa raíz, la restauración al servicio puede ser una medida temporal en el mejor de los casos, y el ciclo no solo continúa, sino que se refuerza (Smith & Hinchcliffe, 2004, pág. 3).

2.2.4.3 Trabajos erróneos de mantenimiento

Los humanos cometen errores y los errores ocurren en actividades de mantenimiento (preventivo y correctivo) pero ¿cuál es un nivel tolerable de error humano en un programa de mantenimiento? ¿Es 1 error en 100 tareas, 1 en 1000 o 1 en 10? La respuesta podría depender de la consecuencia obtenida del error. Si es un viajero frecuente, le gustaría creer que tanto los errores de mantenimiento como los errores del piloto ¡son menos de 1 en 1 millón! (En términos de errores catastróficos, están en este rango). Pero pensando en esto en términos económicos: el costo de otra acción correctiva y la consiguiente pérdida de producción de la planta y equipos. La mayoría de los gerentes de planta desean tener esa estadística de 1 en 1 millón, pero parecen creer que la realidad es más como 1 en 100 Sin embargo, hay pruebas contundentes de que el error humano que ocurre durante las acciones de mantenimiento tipo intrusivo es la causa de aproximadamente el 50 por ciento de las interrupciones forzadas de la planta y equipos, que una forma de error humano puede estar ocurriendo en algunas tareas de mantenimiento que son presentadas (Smith & Hinchcliffe, 2004, pág. 3).

2.2.4.4. Innecesario y conservador PM

Si bien la necesidad de una mayor cobertura de PM es claramente un problema, existe una necesidad paralela de mirar el PM que se realiza

actualmente en términos de "¿Es correcto?". La evidencia histórica sugiere fuertemente que algunas de las actividades actuales de PM no son de hecho las correctas. En algunos casos, las tareas de PM son totalmente innecesarias porque tienen poca relación.

Una forma de este problema es cuando la tarea de PM es correcta, pero demasiado conservadora. Este problema generalmente se asocia con la frecuencia de la tarea (es decir, la frecuencia requiere la activación de PM con demasiada frecuencia) (Smith & Hinchcliffe, 2004, pág. 4).

2.2.4.5. Programa de mantenimiento carece de visibilidad

No realizar análisis de rutina de la causa de falla del equipo y es negligente al registrar la base de las acciones del PM, entonces se han definido al menos dos áreas significativas donde faltan la visibilidad y la trazabilidad de las decisiones y acciones. Pero el problema va más allá de esto en muchas situaciones, y aquí nos referimos a la falta de información definitiva en el Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS). Con frecuencia, no hay un registro rastreable de las acciones y los costos del PM que se pueden encontrar en ningún lado excepto en los cabezales o cajones del escritorio del personal de la planta. Si se van, la memoria de la planta sale por la puerta con ellos. En el mundo actual de sistemas informáticos eficientes y económicos, con software personalizado,

parece haber una pequeña excusa para no tener buenos registros de la planta sobre lo que se hizo (o está previsto que se haga) y por qué la administración decidió ciertas estrategias y tácticas definitivas (Smith & Hinchcliffe, 2004, pág. 5).

2.2.5 La confiabilidad

¿Qué es la confiabilidad?

La confiabilidad es un término amplio que se centra en la capacidad de un activo para realizar su función. Muchos libros escritos sobre confiabilidad tienden a enfocarse en el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM). La confiabilidad no es solo RCM.

RCM es una metodología proactiva que utiliza principios de confiabilidad para identificar el trabajo correcto que se debe realizar para mantener al activo en una condición deseada para que pueda seguir desempeñando su función prevista. De hecho, RCM es básicamente una herramienta de optimización PM para definir las acciones de mantenimiento "correctas". En su forma más efectiva y ampliamente aceptada, consta de siete pasos estructurados para construir un programa de mantenimiento para un activo específico. Cuando las organizaciones intentan por primera vez mejorar la confiabilidad, califican esta empresa como RCM, pero RCM realmente difiere de una iniciativa de mejora de la confiabilidad. Un desafío en esta transición es la creencia de que debemos esforzarnos por

maximizar la confiabilidad de los activos. Sin embargo, se ha encontrado que asegurar el 100 % de confiabilidad, aunque es un gran objetivo, a menudo resulta en altos costos de adquisición y puede requerir un alto nivel de mantenimiento para mantener una alta confiabilidad. Puede no ser una estrategia rentable y puede no ser asequible. Se necesita definir los requisitos de confiabilidad de un activo o planta en el contexto de apoyar las necesidades comerciales subyacentes. Entonces, inevitablemente se descubre que se puede necesitar una confiabilidad diferente y un programa de mantenimiento asequible. Como se muestra en la Figura 10, se necesita encontrar el nivel correcto de confiabilidad requerido para darnos el costo total óptimo. Este gráfico ilustra el costo de producción o uso, que es el costo de las operaciones y el tiempo de inactividad comparado con el costo de la confiabilidad (y el mantenimiento).

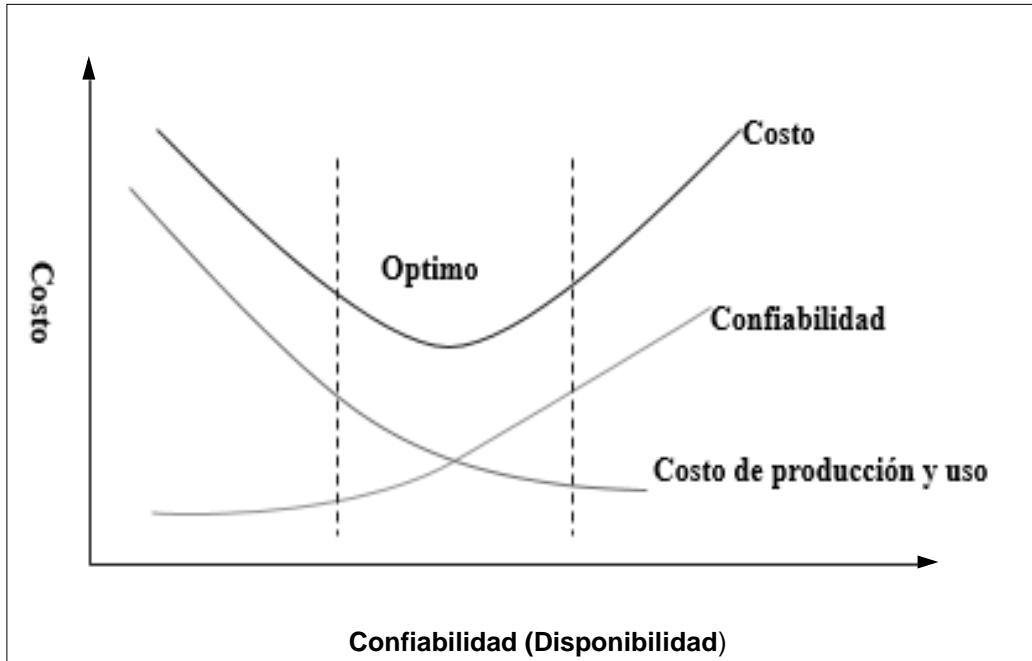


Figura 10. Confiabilidad y costos

Fuente: Ramesh Gulati, mantenimiento y confiabilidad las mejores prácticas

El modelo teórico es usado para describir el tiempo de vida útil del componente, es tan conocido como “distribuciones de vida”.

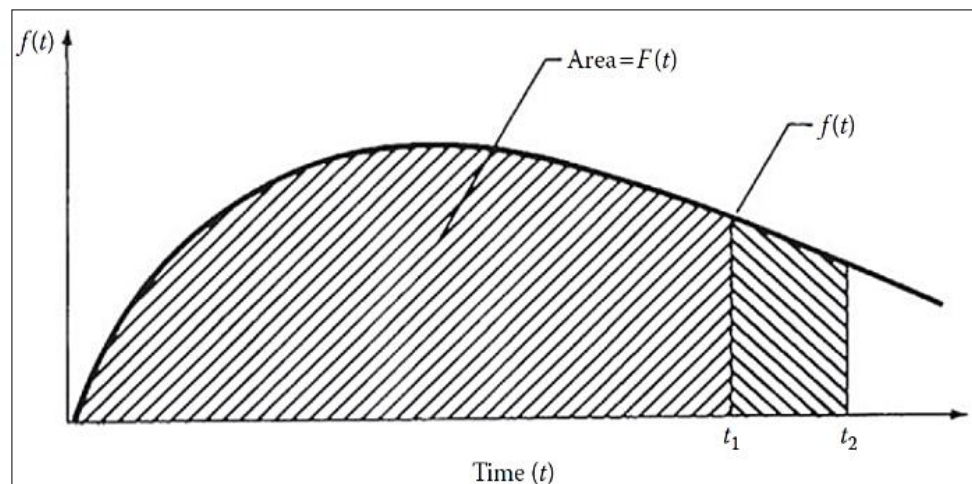
1. $F(t)$ es la probabilidad que una unidad aleatoria del gráfico que una población fracase en t horas.

2. $F(t)$ es la fracción de todas las unidades en la población que fracase por unas t horas.

Gráficamente, $F(t)$ es el área de función de densidad, es probabilidad $f(t)$ de la izquierda, esta área se muestra en la Figura 11. El total de área debajo $f(t)$ es unitario (la probabilidad de fracaso aborda la t al infinito).

Desde que a menudo es útil canalizar atención a las unidades no fallidas, o sobrevivientes definimos a la función de confiabilidad (Tobias & Trindate, 2012, pág. 29).

$$R(t)=1-F(t)$$



Economía de confiabilidad

Figura 11: Economía de confiabilidad

Fuente: Ramesh Gulati, mantenimiento y confiabilidad las mejores prácticas

¿Por qué la Confiabilidad es Importante?

La confiabilidad del activo es un atributo importante por varias razones:

La satisfacción del cliente: Los activos confiables se realizan para satisfacer las necesidades del cliente a tiempo y en todo momento. Un activo no confiable afectará negativamente la satisfacción del cliente. Por

lo tanto, la alta confiabilidad es un requisito obligatorio para la satisfacción del cliente.

Reputación: La reputación de una organización está muy relacionada con la confiabilidad de sus servicios. Mientras más confiables sean los activos de la planta, es más probable que la organización tenga una reputación favorable.

Costos: El bajo rendimiento de los activos costará más para operar y mantener.

Repetir el negocio: La satisfacción del cliente traerá negocios repetidos y también tendrá un impacto positivo en los negocios futuros.

Ventaja competitiva. Muchas empresas líderes y visionarias han comenzado a lograr una alta confiabilidad / disponibilidad de sus equipo y activos. Como resultado de su mayor énfasis en los programas de mejora de la confiabilidad de las plantas, obtienen una ventaja sobre su competencia (Gulati, Maintenance and Reliability Best Practices, 2013, pág. 154)

¿Desventajas de la confiabilidad?

- Se requiere un cambio de cultura general, para que tenga éxito el cambio.

- La inversión en formación y cambios generales en la organización es costosa.
- El proceso de investigación requiere varios años.
- El mayor problema del uso de métodos estadísticos en RCM es que en la mayoría de las plantas industriales la información histórica de falla no es muy confiable y completa, de tal manera que los resultados extraídos de esta información de historia de las fallas no son muy confiables y completas.

2.2.6. Componentes de RCM

Los cuatro componentes principales de RCM,son: mantenimiento reactivo, mantenimiento preventivo, pruebas predictivas e inspección, y mantenimiento proactivo. Cada componente se describe a continuación:

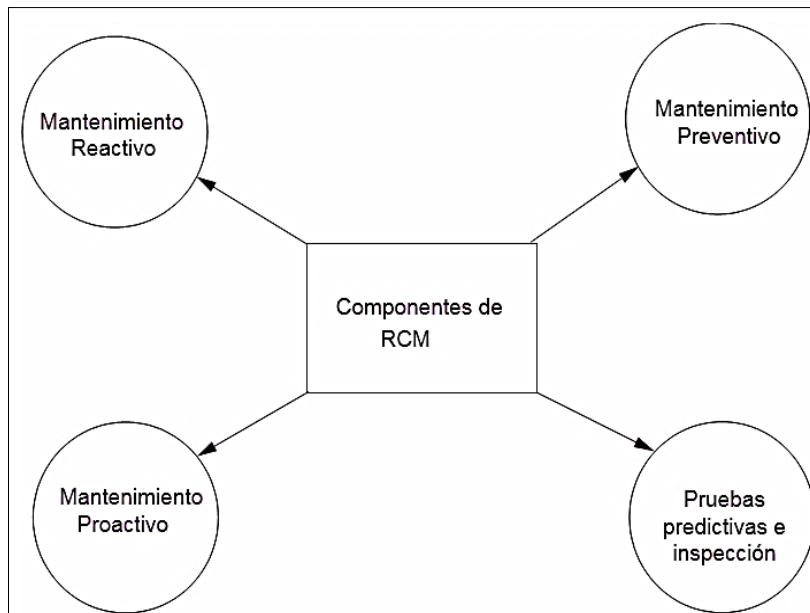


Figura 12. Componentes de ingeniería de mantenimiento con enfoque moderno

Fuente: B.S Dhillon, Ingeniería de mantenimiento con enfoque moderno

2.2.6.1. Mantenimiento reactivo

Este tipo de mantenimiento también se conoce como avería, reparación cuando falla, funcionamiento a falla o mantenimiento de la reparación. Sin embargo, el mantenimiento reactivo puede practicarse eficazmente si se realiza como una decisión consciente basada en los resultados de un análisis RCM que compara el riesgo y el costo de la falla con el costo de mantenimiento necesario para mitigar ese riesgo y el costo de la falla.

Los criterios para determinar la prioridad para reparar o reemplazar el equipo averiado en el programa de mantenimiento reactivo se presentan a continuación.

- **Prioridad 1 (emergencia):** La seguridad de la vida / propiedad está bajo amenaza.
- **Prioridad 2 (urgente):** La continuidad de la instalación en la operación está amenazada
- **Prioridad 3 (prioridad):** El efecto significativo y adverso en el proyecto es inminente prioridad Degradación en la calidad.
- **Prioridad 4 (rutina):** Impacto insignificante. Cuando el mantenimiento reactivo se practica únicamente, es típico de un alto reemplazo de inventarios de piezas, un uso deficiente del esfuerzo de mantenimiento y un alto porcentaje de actividades de mantenimiento no planeadas. Además, un programa de mantenimiento completamente reactivo pasa por alto las oportunidades de influir en la supervivencia de equipo (Dhillon, 2003, pág. 90).

2.2.6.2. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo (PM), también llamado mantenimiento basado en el tiempo o en intervalos, se realiza sin tener en cuenta la condición del equipo. Consiste en inspecciones periódicas programadas, reemplazo de piezas, reparación de componentes / piezas, ajustes, calibración, lubricación y limpieza. El mantenimiento preventivo programa inspecciones y mantenimiento regulares a intervalos fijos para reducir fallas

en equipos susceptibles. Es importante notar que, dependiendo de los intervalos predefinidos, practicar PM puede conducir a un aumento significativo en las inspecciones y el mantenimiento rutinario. Por otro lado, puede ayudar a reducir la frecuencia y gravedad de los fallos no planificados. El mantenimiento preventivo puede ser costoso e ineficaz si es el único tipo de mantenimiento practicado.

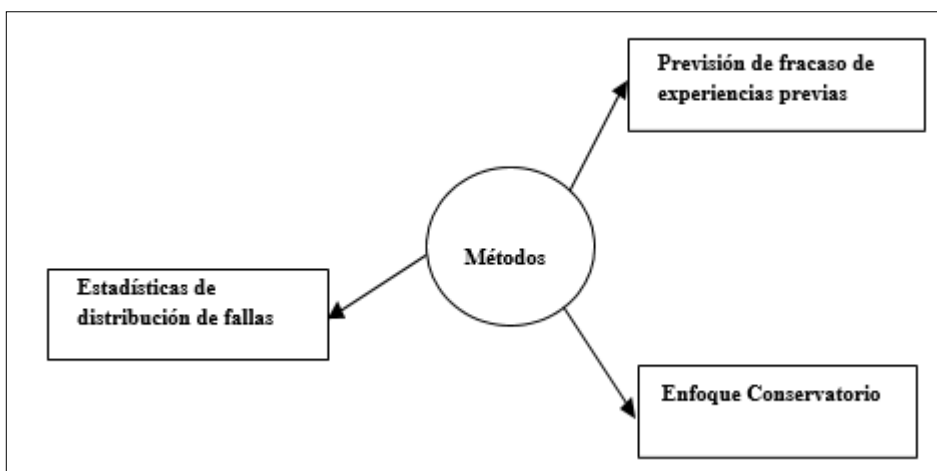


Figura 13. Métodos útiles para establecer periodos iniciales

Fuente: B.S Dhillon, mantenimiento y confiabilidad para Ingenieros

2.2.6.3. Mantenimiento proactivo

Este tipo de mantenimiento ayuda a mejorar el mantenimiento mediante acciones tales como mejores procedimientos, fabricación, instalación y programación. Las características del mantenimiento proactivo incluyen la práctica de un proceso mejora continua, utilizando la retroalimentación y las comunicaciones para asegurar que los cambios en el diseño o los procedimientos se colocan eficientemente a disposición de los diseñadores

el objetivo último es corregir para siempre el equipo en cuestión, optimizar y adaptar los métodos y tecnologías de mantenimiento a cada aplicación. Realiza análisis de fallas de causa raíz y análisis predictivo para mejorar la efectividad del mantenimiento, lleva a cabo una evaluación periódica del contenido técnico y el intervalo de rendimiento de las tareas de mantenimiento, integra funciones con mantenimiento de soporte en la planificación del programa de mantenimiento y utiliza una visión del ciclo de vida de mantenimiento (Dillon, 2003, pág. 91).

2.2.6.4. Mantenimiento predictivo

Un programa de mantenimiento predictivo (PdM) va más allá del mantenimiento preventivo normal, basado en frecuencia, técnicas como el monitoreo de vibraciones, el análisis de aceite y la termografía detectan advertencias tempranas de problemas graves de equipos. Las plantas comúnmente atribuyen instancias de prevención de fallas catastróficas de equipos principales cada año a PdM. Además, el conocimiento aprendido del análisis de equipos facilita el uso de nuevas alineaciones, reconstrucciones u otras técnicas para extender los tiempos de funcionamiento sin problemas del equipo de manera espectacular. El análisis de PdM también demora mucho el servicio de rutina, evitando así por completo el significativo potencial de volver a ensamblar el error inherente en la reconstrucción del equipo. La idea detrás del mantenimiento

predictivo es que la tecnología moderna puede detectar algunos problemas de equipamiento mucho antes que otros medios anteriores. Supóngase que una determinada bomba desarrolla un problema de vibración que provocaría la falla en aproximadamente 2 meses si se empeorara. El diagnóstico de PdM podría detectar el problema dentro de una semana ya que el personal de PdM monitorea la bomba en una ruta que toma lecturas de vibración. La evaluación de vibración indica un impulsor agrietado. El personal de PdM escribe una orden de trabajo para reparar el impulsor en algún momento del mes a conveniencia de la planta. El trabajo de mantenimiento se puede planificar y programar para una ejecución eficiente (Palmer, 2006, pág. 390).

2.2.7. Mantenimiento estratégico- RCM

El mantenimiento centrado en la confiabilidad, a menudo conocido como RCM, es un proceso para asegurar que los activos continúen haciendo lo que sus usuarios requieren en su actual contexto operativo. Es un proceso estructurado para desarrollar un plan de mantenimiento eficiente y efectivo para un activo a fin de minimizar la probabilidad de fallas.

Por lo general, RCM se utiliza para lograr mejoras en todos los aspectos de la administración de activos, tales como el establecimiento de niveles seguros mínimos u óptimos de mantenimiento, cambios en los

procedimientos operativos y el establecimiento de un plan de mantenimiento efectivo. La implementación exitosa de RCM promoverá la rentabilidad, el tiempo de actividad de los activos y una mejor comprensión del nivel de riesgo que la organización está gestionando actualmente.

Se ha demostrado que la mejor aplicación de RCM es durante las fases de diseño y desarrollo de los activos para eliminar o mitigar los efectos de los modos de falla (Ramesh, 2013, pág. 225).

2.2.7.1. Principales características de RCM

Hay cuatro principios que definen y caracterizan a RCM, y lo distinguen de cualquier otro proceso de planificación de PM.

Principio 1: El objetivo principal de RCM es preservar la función del sistema.

Este principio es uno de los más importantes y tal vez el más difícil de aceptar porque es contrario a nuestra noción arraigada de que los PM se realizan para preservar la operación del equipo. Al abordar la función del sistema, queremos saber cuál debe ser el resultado esperado, y también comprender que preservar ese resultado (función) es nuestra principal tarea.

Principio 2: Identificar modos de falla que pueden vencer a las funciones.

Como el objetivo principal es preservar la función del sistema, la pérdida de la función es el siguiente elemento de consideración. Las fallas funcionales vienen en muchos tamaños y formas; no siempre son tan simples como "lo tenemos o no lo tenemos". El punto clave es identificar los modos de falla específico en un componente específico que potencialmente puede producir esos fallos funcionales no deseados.

Principio 3: Priorizar las necesidades de funciones (modos de fallas).

Todas las funciones no son igualmente importantes. Se adopta un enfoque sistemático para priorizar todas las fallas funcionales y los modos de falla utilizando un fundamento de asignación de prioridades.

Principio 4: Seleccione tareas aplicables y efectivas.

Cada tarea potencial de PM o CBM debe ser juzgado como aplicable y efectiva

Realizando las siguientes tres tareas.

- Prevenir o mitigar la falla.
- Detecta la aparición de una falla.
- Descubre una falla oculta.

2.2.7.2 Proceso de RCM

RCM tiene siete pasos básicos para cumplir con los criterios del estándar SAE publicado:

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

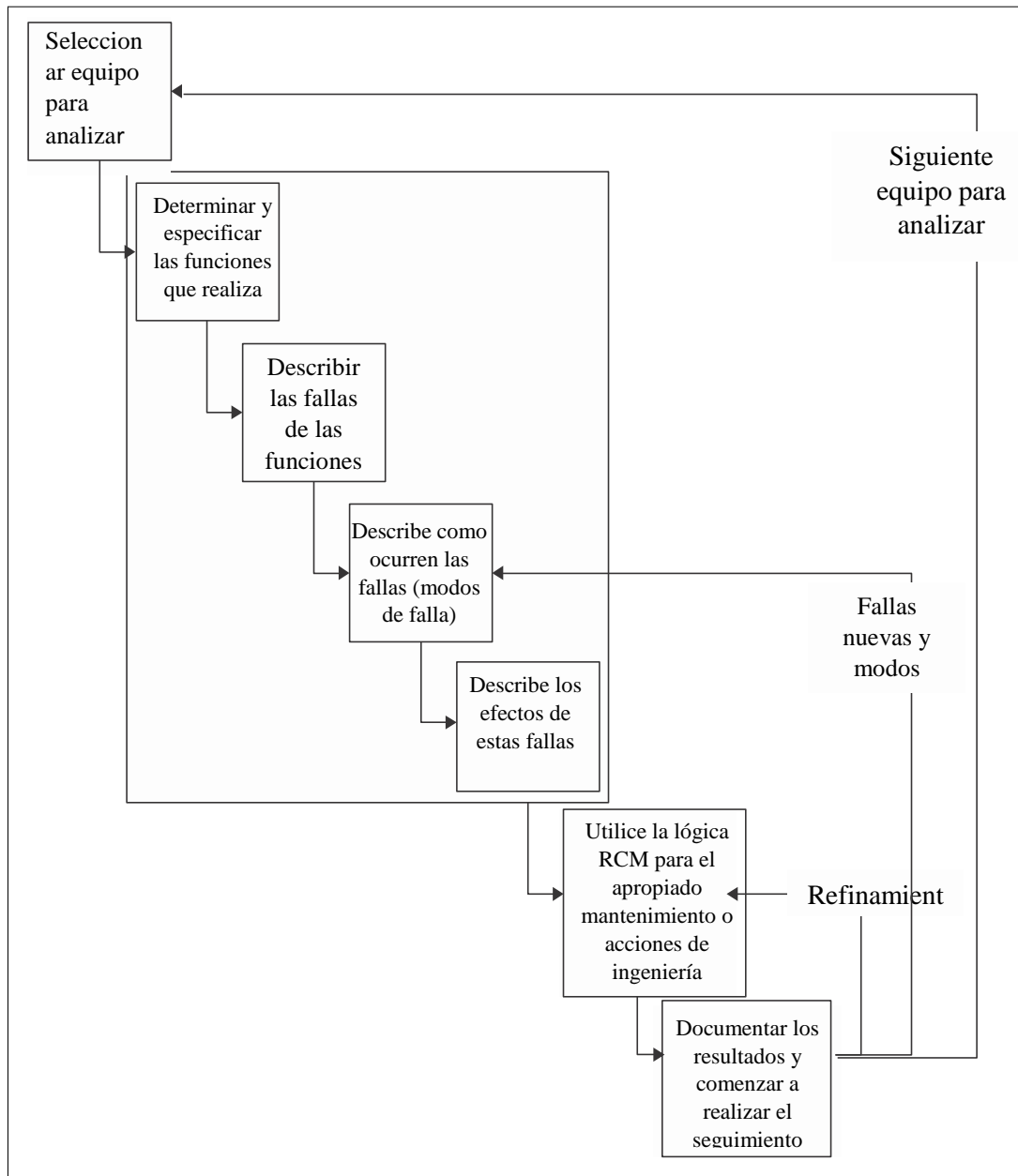


Figura 14. Las 7 preguntas de mantenimiento centrado en la confiabilidad

Fuente: Elaboración propia

2.2.8 Fallas

Antes de seleccionar una estrategia de mantenimiento para un equipo es conveniente conocer los fenómenos que producen su degradación y falla. Las fallas pueden ser clasificadas como: (Pascual, 2002, pág. 23).

Tabla 2

Tasa de falla

Tasa de falla	Saber como	Nota
Tasa de falla decreciente	Mortalidad infantil	<ul style="list-style-type: none">• Generalmente relacionadas con la fabricación, soldadura, juntas, envolturas, suciedad, impurezas, grietas, defectos de aislamiento o revestimiento, ajuste incorrecto o posicionamiento.
Tasa de falla constante	Fallas aleatorias	<ul style="list-style-type: none">• Generalmente se supone que son fallas relacionadas con el estrés-fatiga. Que son fluctuaciones aleatorias (transitorias) de la tensión que excede la resistencia del compuesto.
Tasa de falla creciente	Fallas de desgaste	<ul style="list-style-type: none">• Poseer a la corrosión, oxidación, avería del aislamiento, migraciones atómicas, desgaste por fricción, encogimiento, fatiga, etc.

Fuente: Dr. David J. Smith Reliability Maintainability and Risk

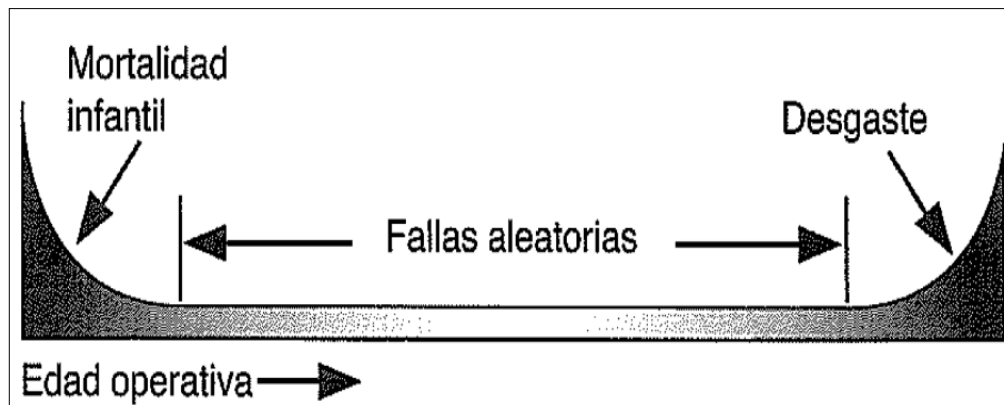


Figura 15. Curva de la Bañera

Fuente: John Moubray, mantenimiento centrado en la confiabilidad

2.2.8.1 Qué es un modo de falla

Un modo de falla podría ser definido como cualquier evento que pueda causar la falla de un activo físico (sistema o proceso), es vago y simplista aplicar el término “falla” a un activo de manera general. Es mucho más preciso distinguir entre “una falla funcional” (un estado de falla) y un “modo de falla” (un evento que puede causar un estado de falla) (Moubray J., 1997, pág. 56).

Un modo falla es cualquier

Evento que causa una falla funcional

2.2.8.2 ¿Qué es una falla funcional?

Una vez que las funciones y los estándares de funcionamiento de cada equipo se hayan definido. El paso siguiente es identificar cómo afecta

la falla en cada elemento de la realización de sus funciones. Esto lleva al concepto de una falla funcional, que se define como la incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado.

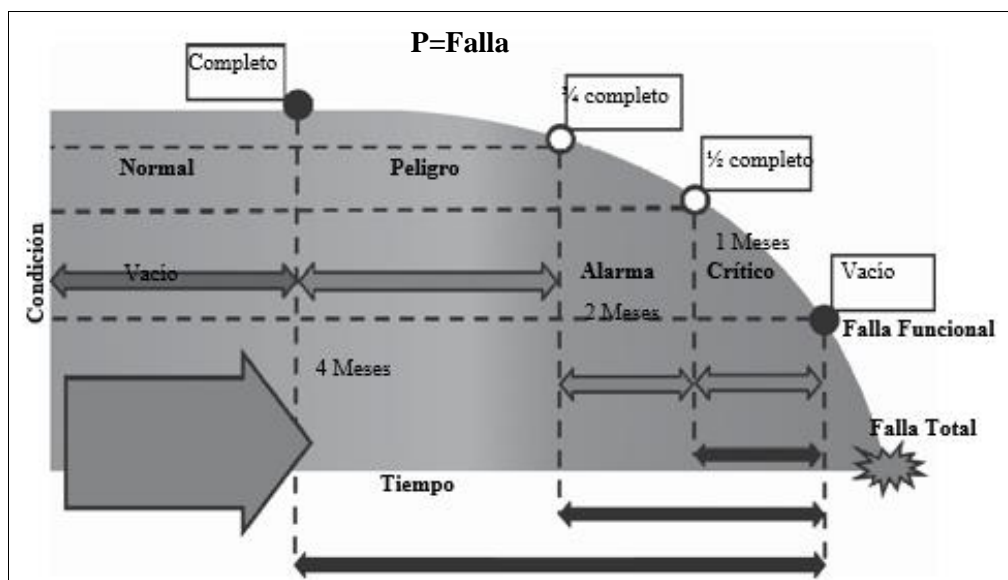


Figura 16. Deterioro de la capacidad funcional

Fuente: Strategies for excellence in maintenance de Jhon Cambell

2.2.8.3 Efectos de las fallas

¿Qué sucede cuando ocurren fallas (efectos de falla)? los criterios para identificar los efectos de falla son:

- Los efectos de falla describirán lo que sucedería si no se realizara una tarea específica para anticipar, prevenir o detectar la falla.

- Los efectos de falla incluyen toda la información necesaria para respaldar la evaluación de las consecuencias de la falla.
- ¿Cuál es la evidencia (si la hay) de que la falla ha ocurrido (en el caso de funciones ocultas, qué sucedería si ocurriera una falla múltiple)?
- ¿Qué se hace (si acaso) matar o herir a alguien, o tener un efecto adverso en el medio ambiente?
- ¿Qué tiene (si acaso) para tener un efecto adverso en la producción u operaciones?
- ¿Qué (si hay algo) debe hacerse para restablecer la función del sistema después de la falla?

FMEA generalmente describe los efectos de falla en términos de los efectos a nivel equipo, a nivel de subsistema y a nivel de sistema (Moblely, Higging, & Wikoff, 2008, pág. 2.36).

2.2.8.4 Consecuencias de las fallas

De qué manera importa cada falla (consecuencias de falla).

- La evaluación de las consecuencias de la falla se debe llevar a cabo como si no se estuviese llevando a cabo ninguna tarea específica para anticipar, prevenir o detectar la falla.
- Las consecuencias de cada modo de falla se clasificarán formalmente de la siguiente manera:

- El proceso de categorización de consecuencia separará los modos de falla ocultos de los modos de falla evidentes.
- Los procesos de categorización de consecuencia deberán distinguir claramente los eventos (modos de falla y fallas múltiples) que tienen consecuencias de seguridad y / o ambientales de aquellos que solo tienen consecuencias económicas (consecuencias operacionales y no operacionales).

2.2.8.5. Los patrones de falla

Falla tipo A (Curva de la Bañera)

Esta curva es la combinación de la mortalidad infantil y las curvas de mortalidad terminales (ver Figura 17). La probabilidad de falla comienza alta, luego los niveles aleatorios, luego comienza a subir de nuevo. Ejemplo: los camiones inicialmente tienen altas tasas de falla debido a defectos en mano de obra y piezas y defectos de diseño. Luego caen en una sección plana de la curva hasta que uno de los sistemas críticos experimenta desgaste crítico. La confiabilidad del vehículo disminuye y el número de incidentes de mantenimiento aumenta hasta la falla completa. Una curva común para los sistemas dominados por el desgaste.

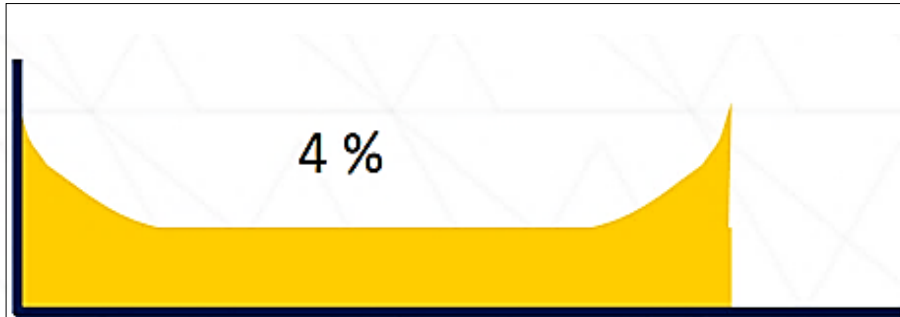


Figura 17. Falla de tipo A

Fuente: Mantenimiento centrado en la confiabilidad de John Moubray

Esto significa que el patrón de falla A generalmente describe la probabilidad condicional de dos o más modos de fallas diferentes.

Patrón de falla B (Final de la mortalidad)

La probabilidad de falla es aleatoria hasta el final del ciclo de vida y luego aumenta rápidamente (vea la Figura 22). Ejemplo: modo de falla común compartido por sistemas mecánicos. Este modo de falla se caracteriza por sistemas mecánicos que se desgastan hasta que alcanzan un punto y luego tienen un riesgo significativo de falla. Las tasas de fallas aumentan dramáticamente cuando se alcanza este nivel de deterioro.

Patrón de Falla C (Envejecimiento lento)

La probabilidad de falla aumenta lentamente con el tiempo o la utilización (vea la Figura 18). Ejemplo: Considere las mandíbulas de una trituradora de agregados. Estos son bloques masivos de acero al manganeso que la roca desgasta. Se usan de manera predecible y la probabilidad de falla aumenta gradualmente a lo largo de su vida. Los

neumáticos de camión tienen 2 modos de falla. El primero es al azar y el segundo es el desgaste de este tipo. Un gráfico de su deterioro sería una línea horizontal que luego se convierte en una línea que aumenta hacia arriba.



Figura 18. Falla tipo C

Fuente: Mantenimiento centrado en la confiabilidad de John Moubray

Patrón de falla D (aumento luego estable)

La probabilidad de falla aumenta rápidamente y luego los niveles (vea la Figura 19). Ejemplo: Poco común en mantenimiento. Elemento de calentamiento eléctrico en un calentador de agua. La probabilidad de falla aumenta a medida que la unidad se enciende y luego se estabiliza a un nivel aleatorio.

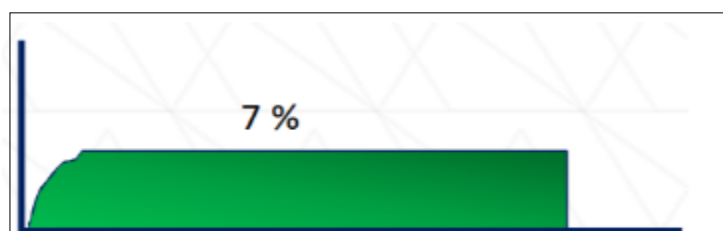


Figura 19. Falla tipo D

Fuente: Mantenimiento centrado en la confiabilidad de John Moubray

Patrón de falla E (Aleatorio)

La probabilidad de falla en cualquier período es la misma (vea la Figura 20). Ejemplo: El parabrisas de un vehículo fallará cuando sea golpeado por un objeto. La probabilidad de una falla no está relacionada con la duración de la vida. El escudo de viento no se desgasta en el sentido tradicional. Esta curva es común en electrónica (rayos) y en sistemas que se vuelven obsoletos antes de que se desgasten.

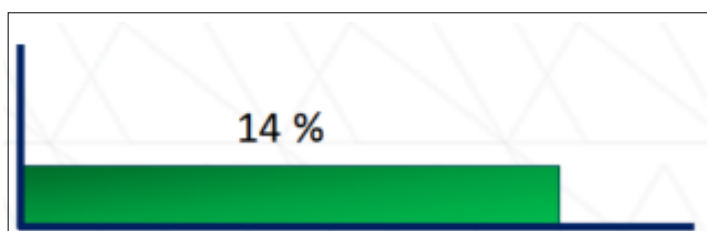


Figura 20. Falla tipo E

Fuente: Mantenimiento centrado en la confiabilidad de John Moubray

Patrón de falla F (Mortalidad infantil)

La probabilidad de falla comienza alta y luego cae a un nivel par o aleatorio (ver Figura 21). Ejemplo: muchos sistemas electrónicos fallan con mayor frecuencia durante la etapa inicial. Después de un período inicial (generalmente 48 horas) la probabilidad de falla de un período a otro no cambia significativamente. Las fallas en esta fase generalmente están cubiertas por la garantía. Las fallas son causadas por defectos en la fabricación, los materiales, la instalación y el trabajo. La mayoría de los sistemas complejos de cualquier tipo tienen altas tasas de fallas iniciales

debido a tales problemas. (Levitt, 2009, pág. 39)

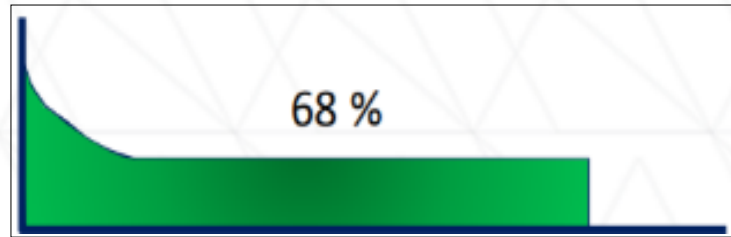


Figura 21. Falla tipo F

Fuente: Mantenimiento centrado en la confiabilidad de John Moubray

Resúmenes de los patrones de fallas

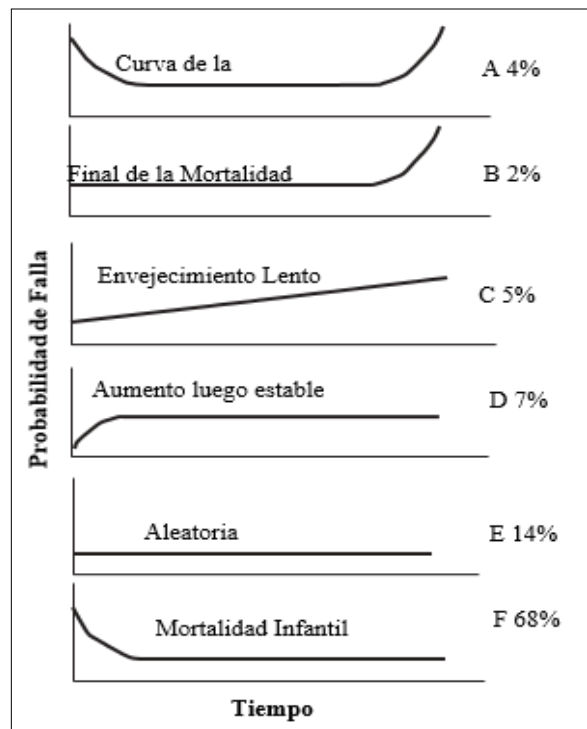


Figura 22. Seis patrones de falla

Fuente: Strategies for excellence in maintenance management

2.2.9. Desarrollo de FMEA (Modo de Falla y Análisis de Efectos)

FMEA (Modo de falla y análisis de efecto) es un método sistemático para identificar y prevenir problemas de productos y procesos antes de que ocurran. FMEA se enfoca en prevenir defectos, mejorando la satisfacción del cliente. Idealmente, el FMEA se lleva a cabo en el diseño del producto o en las etapas de desarrollo del proceso, aunque la realización de un FMEA en equipos y procesos existentes también puede generar beneficios sustanciales (McDermott, Mikulak, & Beauregar, 2009, pág. 1).

2.2.9.1 Hoja de Información

El nivel de detalle que usa para describir modos de falla en las hojas de información también está influenciado por el nivel en el cual se lleva a cabo el FMEA. Por esto se reparan los factores principales que influyen en el nivel de análisis general (también conocido como “nivel de documentación”).

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN © 1998 ALADON LTD		SISTEMA		<i>Sistema de Bombeo de Agua de Refrigeración</i>	
		SUB-SISTEMA			
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de Función)		MODO DE FALLA (Causa de la Falla)	
1	Transferir agua desde el Tanque X al tanque Y a no menos de 800 litros por minuto	A	Incapaz de transferir agua	1	Cojinetes agarrotados
				2	Impulsor loco, suelto
				3	Impulsor trabado por un cuerpo extraño
				4	El cubo de acople falla por fatiga
				5	Motor quemado
				6	Válvula de Ingreso trabada en posición cerrada
				7etc.
		B	Transfiere menos de 800 litros por minuto	1	Impulsor gastado
				2	Línea de succión parcialmente bloqueada
				3	...etc.

Figura 23. Hoja de información RCM

Fuente: Mantenimiento centrando en la confiabilidad de John Moubray

2.2.9.2 Hoja de decisión

La hoja de decisión permite presentar las respuestas a las preguntas formuladas en el diagrama de decisión y en función de dichas repuestas, registrar:

- Qué mantenimiento de rutina (si lo hay) será realizado, con qué frecuencia será realizado y quién lo hará.
- Qué fallas son lo suficientemente serias como para justificar el rediseño
- Las hojas de decisión están divididas en dieciséis columnas. Las columnas F, FF y FM identifican el modo de falla que se analiza en esa línea. Se utilizan para correlacionar las referencias de las hojas de información y las hojas de decisión.



HOJA DE DECISIÓN DE RCM

N°01			Sistema:										Realizo:	Fecha:			
			Componente:										Reviso:	Fecha:			
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias							Tareas "a falta de"			TAREAS PROPUESTAS	FRECUENCIA	A REALIZAR POR	COSTO	
F	FF	FM	H	S	E	O	H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	H4	H5	H6					

Figura 24. Hoja de decisión

Fuente: Elaboración propia

- Los encabezamientos de las próximas diez columnas se refieren a las preguntas del diagrama de decisión de RCM de la Figura 24 de manera que:
- Las columnas tituladas H, S, E, O y N son utilizadas para registrar las respuestas a las preguntas concernientes a las consecuencias de cada modo de falla.
- Las tres columnas siguientes (tituladas H1, H2, H3 etc.) registrar si ha sido seleccionada una tarea proactiva, y si es así, qué tipo de tarea.

- Si se hace necesario responder cualquiera de las preguntas “a falta de”, las columnas encabezadas con H4 y H5, o la S4 son las que permitan registrar estas repuestas.

2.2.9.3. Procedimiento de llenado

Consecuencias de la Falla

Una vez que se hayan determinado las funciones, las fallas funcionales, los modos de falla y los efectos de las mismas en cada elemento significativo, el próximo paso en el proceso del RCM es preguntar: ¿Cómo (y cuánto) importa cada falla? La razón de esto es porque las consecuencias de cada falla dicen si se necesita tratar, predecirlas o prevenirlas.

- Cada modo de falla es ubicado en solo una categoría de consecuencias. Entonces, si es clasificado como que tiene consecuencias ambientales, no se evalúa también sus consecuencias operacionales (al menos cuando se realiza el primer análisis de un activo físico cualquiera). Esto significa que, por ejemplo, si se registra una “S” en la columna E, no se registrará en la columna O.

HOJA DE DECISION MCC			Evaluación de las consecuencias				H1	S1	O1	N1
F	FF	M	H	S	M	O				
1	A	1	N	-	-	-	-	-	-	
5	B	2	S	S	-	-	-	-	-	
2	C	4	S	N	S	-	-	-	-	
1	A	5	S	N	N	S	-	-	-	
1	B	3	S	N	N	N	-	-	-	

H: Falla Oculta
S: Consecuencias para la Seguridad
M: Consecuencias para el Medioambiente
O: Consecuencias operacionales
N: Consecuencias No-operacionales

Figura 25. Hoja de desarrollo de hoja de decisión de consecuencias.

Fuente: Diplomado de gestión en maquinaria pasada de PUCP

Criterios de factibilidad técnica

Las columnas de la octava a la décima son utilizadas para registrar si se ha seleccionado una tarea proactiva, de la siguiente manera:

- La columna titulada H1/S1/O1/N1 es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea a condición apropiada para anticipar el modo de falla a tiempo como para evitar las consecuencias.
- La columna titulada H2/S2/O2/N2 es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea de reacondicionamiento programado apropiado para prevenir fallas.
- La columna titulada H3/S3/O3/N3, es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea de sustitución cíclica para prevenir fallas.

H1	H2	H3	
S1	S2	S3	
O1	O2	O3	
N1	N2	N3	
S			¿Es técnicamente factible realizar una tarea para detectar si está ocurriendo una falla o está a punto de ocurrir?
N	S		¿Es técnicamente factible realizar una tarea de reacondicionamiento programado para reducir la frecuencia de falla?
N	N	S	¿Es técnicamente factible realizar una tarea de sustitución cíclica para reducir la frecuencia de falla?

Figura 26. Hoja de desarrollo de hoja de decisión de criterios

Fuente: Diplomado de gestión en maquinaria pasada de PUCP

Las preguntas “A FALTA DE”

Las columnas H4, H5 y S4 en la hoja de decisión son utilizadas para registrar las respuestas a las tres preguntas “a falta de”. Se resume como se responde a estas preguntas. (Las preguntas “a falta de” solo se preguntan si las respuestas a las tres preguntas previas fueron todas “no”.)

- Registra “Sí”, es posible realizar la tarea y resulta práctico hacerlo con la frecuencia requerida y reduce el riesgo de la falla múltiple a un nivel tolerable.

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de		
F	FF	MF	H	S	M	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4
							O1 N1	O2 N2	O3 N3			
3	A	1	N				N	N	N	S	-	-

¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una tarea de búsqueda de falla?

Figura 27. Acción a falta de H4

Fuente: Diplomado de gestión en maquinaria pasada de PUCP

- Solo se hace esta pregunta si la respuesta a la pregunta H4 es no. Si la respuesta es Sí, el rediseño es obligatorio. Si la respuesta es NO, no realizar un mantenimiento programado, pero el rediseño puede ser deseable.

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de		
F	FF	MF	H	S	M	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4
							O1 N1	O2 N2	O3 N3			
4	B	4	N				N	N	N	N	S	-
4	C	2	N				N	N	N	N	N	-

¿Podría la falla múltiple afectar la seguridad o al medioambiente?

Figura 28. Acción a falta de H5

Fuente: Diplomado de gestión en Maquinaria pasada de PUCP

- “Sí”, si es una combinación de una o más tareas proactivas cualquiera reduce el riesgo de falla a un nivel tolerable (esto sucede rara vez). Si la respuesta es No el rediseño es obligatorio.

Referencia de Información		Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de			
F	FF	MF	H	S	M	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4
							O1 N1	O2 N2	O3 N3			
5	B	2	S	S			N	N	N		S	-
2	A	5	S	S			N	N	N		N	-

¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una combinación de tareas?

Figura 29. Acción a falta de S4

Fuente: Diplomado de gestión en maquinaria pasada de PUCP

2.2.10. RCM: Inicio rápido y mejora continua

El capítulo anterior exploró el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), un enfoque de excelencia. RCM es proactivo porque anticipa lo que es probable resulte mal en el futuro. Con este conocimiento, puede evitar cualquier consecuencia indeseable y prepararse para el evento anticipado de manera apropiada. Si bien RCM permite avances cuánticos en el rendimiento, puede estar precedido o mejorado por otros métodos de mejora continua enfocados en la confiabilidad. En la mejora continua, las fallas (nuestros errores) se convierten en experiencias de aprendizaje. Debido a que se han aprendido cosas importantes, se pueden evitar fallas similares en el futuro.

En el ciclo de calidad de Deming (planificar, hacer, verificar, actuar), RCM se puede considerar la actividad primaria de "planificación"; su implementación es "hacer". El monitoreo de los resultados / desempeño es "verificar" y los pasos tomados para corregir cualquier deficiencia es

nuestra manera de "actuar" en esos resultados. Los métodos descritos en este capítulo son herramientas para actuar sobre los resultados y hacer mejoras incrementales continuas.

Los métodos en este capítulo también se pueden usar solos o en combinación para abordar mejoras de confiabilidad. Las empresas que decidan confiar en estos métodos experimentarán mejoras, a veces sustanciales, pero lo más probable es que tarden mucho tiempo en hacerlo. Como señaló Churchill, el camino es cada vez más prolongado, siempre ascendente y en constante mejora. (Campbell & Reyes-Picknell, 2016, pág. 307).

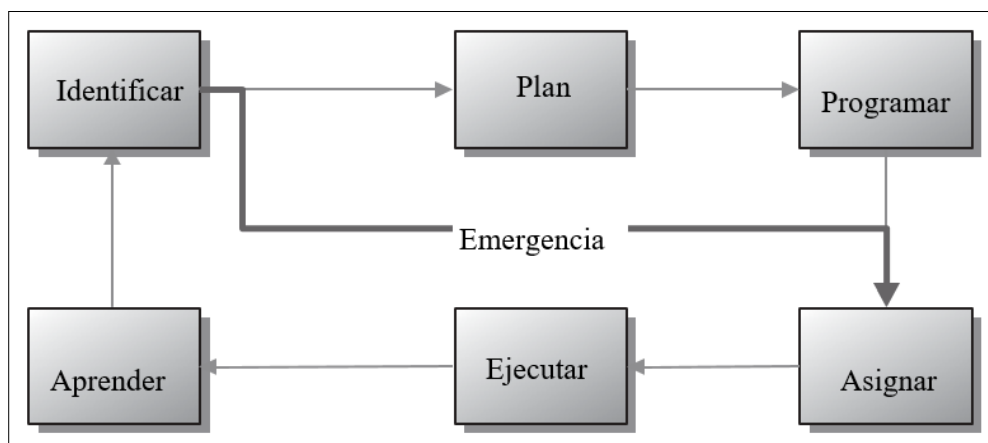


Figura 30. Ciclo de gestión de trabajo
Fuente: Elaboración propia

2.2.10.1 Optimización de mantenimiento preventivo

1. Programa mediante el uso de RCM, ya sea en general o (más comúnmente) centrándose selectivamente solo en activos claves. Otra alternativa es la optimización del mantenimiento preventivo (PMO).
2. Mientras que RCM comienza con un enfoque funcional basado en cero, PMO no lo hace. Comienza con un programa de mantenimiento existente, evalúa su eficacia, busca omisiones críticas y luego reintegra los resultados en un programa más efectivo. Los pasos típicos en el proceso incluyen lo siguiente:
3. Dar prioridad a los activos que se analizarán según su importancia para el negocio. Se da prioridad a aquellos activos que pueden causar consecuencias inseguras, ambientales o graves cuando fallan.
4. Compile una lista de las tareas de mantenimiento existentes realizadas por el personal de mantenimiento y operaciones. Reúna la información para esta lista de los registros de PM existentes, su sistema de administración de mantenimiento, procedimientos operativos, listas de verificación y entrevistas con operadores y mantenedores.
5. Determine los modos de falla que abordan las tareas de mantenimiento.

6. Determine modos de falla adicionales que podrían no haberse abordado previamente.
7. Determine qué funcionalidad se perdería a medida que ocurra cada modo de falla. Algunos métodos consideran que este paso es opcional porque las consecuencias suelen ser evidentes.
8. Describa los efectos de cada falla (breve y concisamente).
9. Describa las consecuencias de la falla (seguridad, medioambiente, pérdida comercial, etc.).
10. Describa qué se puede hacer para predecir o prevenir la falla.
11. Describa qué se puede hacer si no puede predecir o prevenir la falla.
12. Revise los resultados y apruebe la implementación.
13. Implementa los resultados en el campo.
14. Revise continuamente el programa para mejoras. Al igual que RCM (que también promueve un "programa de vida" después de que se completen los análisis iniciales), este paso a menudo se realiza mal o se pierde por completo.

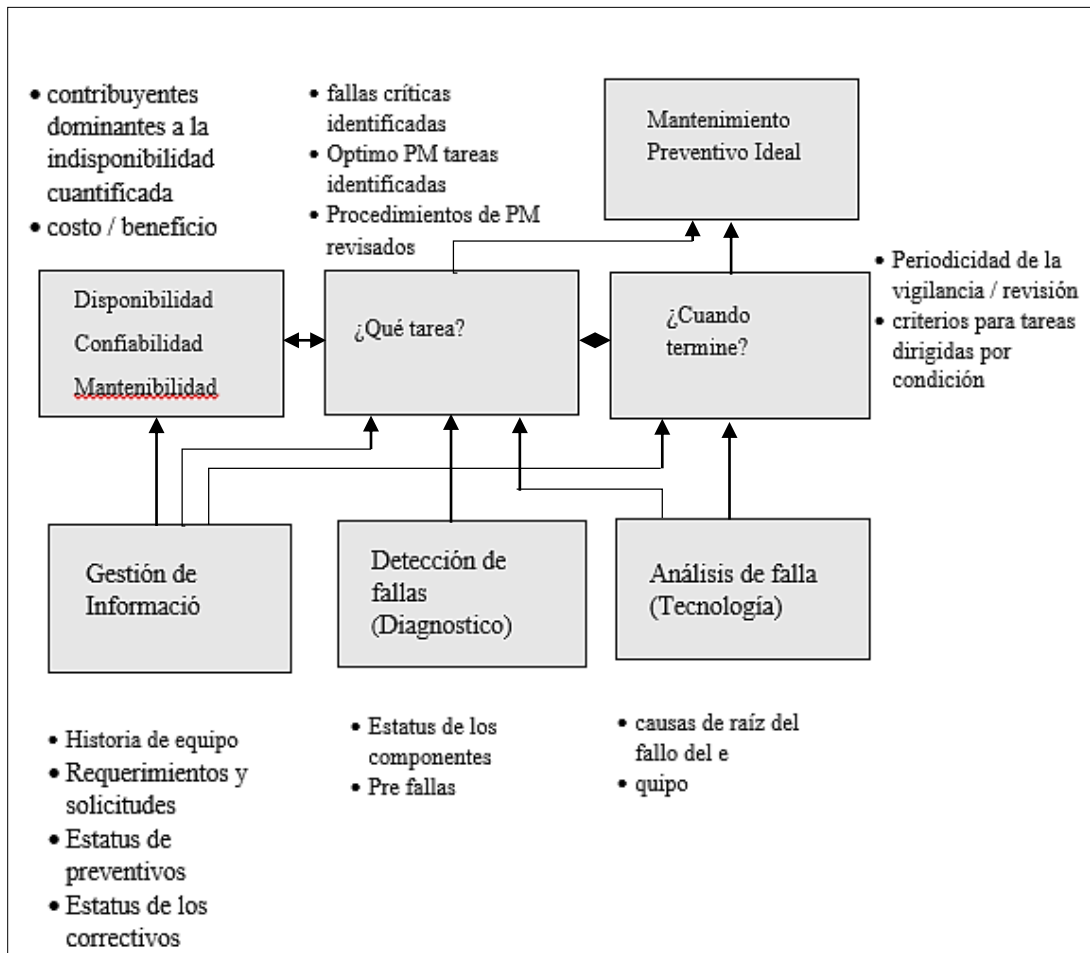


Figura 31. Ciclo de optimización de mantenimiento preventivo

Fuente: Elaboración propia

2.2.10.2. Análisis y causa de raíz (RCA)

El análisis de causa raíz (RCA) o análisis de causa raíz (RCFA), como se le llama en algún momento, es una metodología paso a paso que conduce al descubrimiento de la causa principal (o la causa raíz) del fallo. Si la causa raíz de un fallo no se aborda oportunamente, el fallo se repetirá, causando generalmente una pérdida innecesaria de producción y aumentando el costo de mantenimiento. RCA es una forma estructurada

para llegar a la causa raíz, facilitando así la eliminación de la causa y no sólo los síntomas asociados con ella.

Varios estudios de muchas organizaciones han demostrado repetidamente que el 90 % del tiempo las situaciones no deseadas causadas por fallas están relacionadas con problemas de proceso; Sólo alrededor del 10 % están relacionados con problemas de personal. Sin embargo, la mayoría de las organizaciones pasan mucho más tiempo en busca de culpables, en lugar de centrarse en encontrar causas de raíz. Debido a este esfuerzo mal dirigido, a menudo se pierde la oportunidad de aprender y beneficiarse de la comprensión de la causa raíz de los fracasos no deseados y la eliminación de esas causas.

El análisis de causa raíz no es una metodología única y definida; Hay varios tipos o filosofías de RCA en existencia. La mayoría de éstos se pueden clasificar en cuatro categorías muy definidas en función de su campo de aplicación: basadas en la seguridad, en la producción, en los procesos y en los activos. (Gulati, 2013, pág. 357).

1. RCA de seguridad se realiza para encontrar causas de accidentes relacionados con la seguridad, la salud y el medio ambiente.

2. La RCA basada en el producto o la producción se realiza para identificar las causas de la mala calidad, la producción y otros problemas en la fabricación relacionados con el producto.
3. La RCA basada en procesos se lleva a cabo para identificar las causas de los problemas relacionados con los procesos, incluidos los sistemas empresariales.
4. La RCA basada en activos se realiza para el análisis de fallas de activos o sistemas en ingeniería y el área de mantenimiento.

Principios generales para la RCA

- Apuntar las medidas correctivas en las causas es más eficaz que simplemente tratar los síntomas de un problema.
- Para ser eficaz, RCA debe realizarse sistemáticamente y las conclusiones deben estar respaldadas por evidencia.
- Normalmente hay más de una causa raíz para cualquier problema.

Los pasos en la realización de una RCA

- Definir el problema: el fallo.
- Recopilar datos / evidencias sobre los temas que contribuyeron al problema.
- Desarrollar soluciones y recomendaciones.
- Implementar las recomendaciones.

- Seguimiento de las soluciones recomendadas para asegurar la efectividad.

2.2.10.3 Diagrama de Pareto

Un gráfico de Pareto es un gráfico de barras que organiza la información de tal manera que las prioridades para la mejora del proceso se pueden establecer fácilmente. Es una herramienta para visualizar el principio de Pareto, que establece que un pequeño conjunto de problemas, los "pocos vitales", que afectan un resultado común, tienden a ocurrir con mayor frecuencia que el resto. En otras palabras, el 80 % de los efectos (fallas) se crean en un 20 % de las causas (activos / componentes). El gráfico de Pareto se usa para ilustrar las ocurrencias de problemas o defectos en un orden descendente. Se puede usar tanto durante el proceso de desarrollo como cuando se usan componentes o productos. Puede describir qué activos fallan más en un área específica o qué tipo de componentes tienen más fallas que otros. La Figura 32 muestra un ejemplo de un gráfico de Pareto para un sistema de compresor con sus componentes y el historial de fallas (Barsalov, 2015, pág. 22).

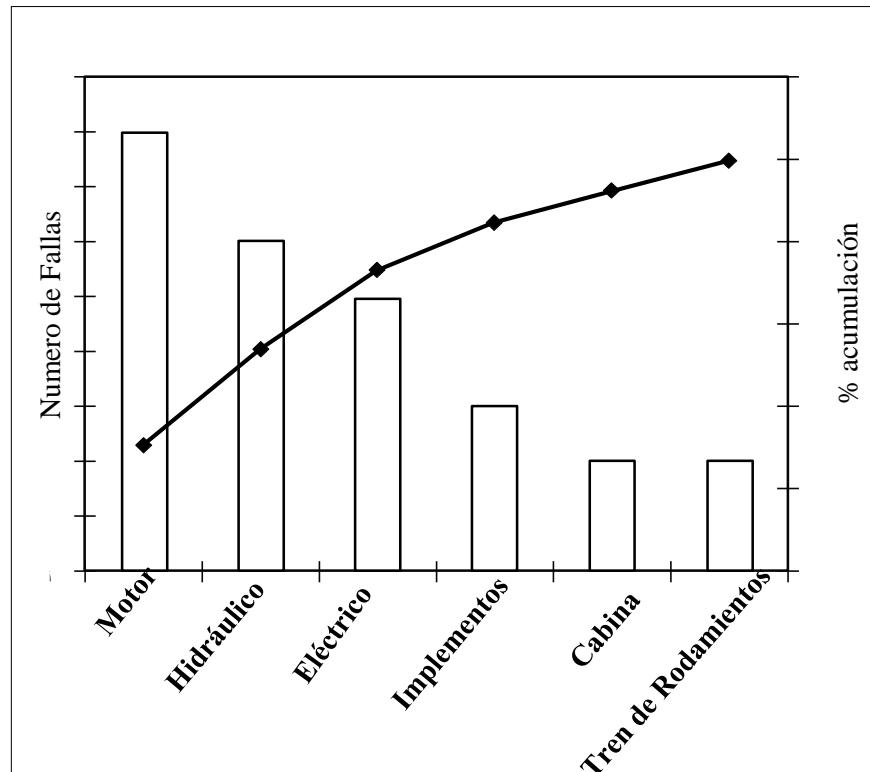


Figura 32. Diagrama de Pareto

Fuente: Propio

2.2.10.4 ¿Cinco por qué?

Otras herramientas de calidad pueden ser de gran utilidad para ayudar a un investigador de causa raíz. Un concepto simple que debe usarse durante cualquier análisis de causa raíz es preguntar "por qué" cinco veces.

La causa raíz que resultó en la causa aproximada o la cadena de eventos que condujeron a una causa próxima es la causa principal. El uso del método 5 Why puede conducir desde la causa inmediata obvia a la causa final.

Taiichi Ohno presenta el siguiente ejemplo del uso de 5 Why (Barsalov, Root Cause Analysis, 2015, pág. 34)

1. ¿Por qué la máquina se detuvo?

Hubo una sobrecarga, y el fusible explotó.

2. ¿Por qué hubo una sobrecarga?

El cojinete no estaba suficientemente lubricado.

3. ¿Por qué no se lubrica lo suficiente?

La bomba de lubricación no bombeaba lo suficiente.

4. ¿Por qué no bombeaba lo suficiente?

El eje de la bomba estaba desgastado y traqueteando.

5. ¿Por qué el eje se agotó?

No había colador adjunto y entraron chatarra.

2.2.10.4. Diagrama de dispersión

Conceptualmente, el método de análisis Jack-Knife corresponde a un estudio multicriterio de las distintas variables involucradas, o que inciden en los modos de fallas, tales como: frecuencia de ocurrencia de falla (tasa de falla de promedio), número de fallas, tiempo fuera de servicio (MTTR), costos asociados, entre otros. El mecanismo en sí de análisis, es un diagrama en dos o más dimensiones, en donde cada una de estas corresponde a una variable de estudio. En el caso de trabajar con números de fallas y tiempo fuera de servicio, el gráfico se trazan líneas de referencia

que denotan el número promedio de fallas y el tiempo promedio de reparación de los modos de falla, generando cuatro cuadrantes. Los modos de falla ubicados en el primer cuadrante son aquellos que poseen un número de fallas de mayor promedio (crónicos) y un tiempo fuera de servicio mayor al promedio (agudos), por lo que son candidatos importantes en la escala de criticidad.

Adicionalmente, se pueden (n) trazar una (s) recta(S) de indisponibilidad de manera que se identifiquen los modos de falla que generan una indisponibilidad mayor a la planteada/esperada. Para esto, por lo general se utilizan escalas logarítmicas para que las líneas de indisponibilidad (D) sean rectas.

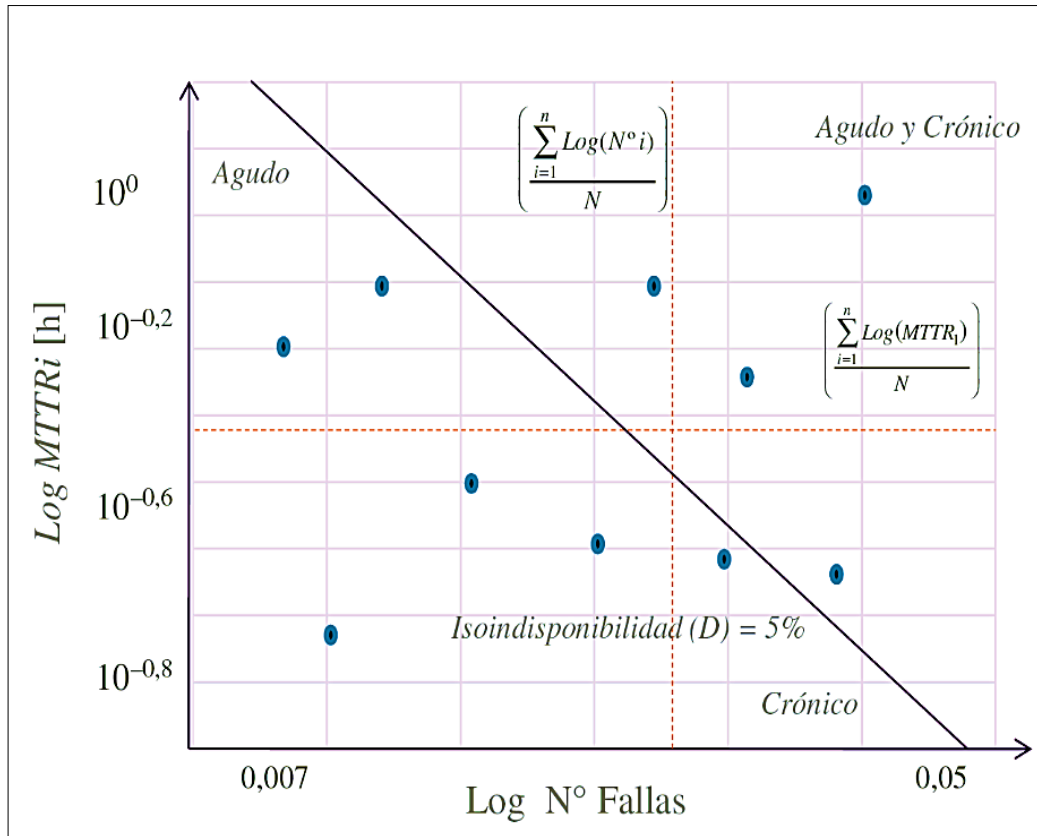


Figura 33. Diagrama de dispersión
 Fuente: Ing. Víctor D. Martínez CMR

2.2.11. Modelos de confiabilidad

2.2.11.1. Distribución Weibull

Una de las ventajas significativas que posee la distribución Weibull es que es muy manejable y se acomoda a las tres zonas (infancia, madurez o vida útil y envejecimiento) de la curva de la bañera o de Davies. La distribución de Weibull posee en su forma general tres parámetros, lo que le da una gran flexibilidad y cuya selección y ajuste adecuado permite obtener mejores ajustes, de estos parámetros son:

- Gamma - Parámetro de posición (γ): el más difícil de estimar y por este motivo se asume con demasiada frecuencia que vale cero.
- Eta- Parámetro de escala o característica de vida útil (η): su valor es determinante para fijar la vida útil del producto o del sistema.
- Beta - Parámetro de forma (β): refleja la dispersión de los datos y determina la forma que toma la distribución. (Mora Gutierrez, 2005, pág. 100)
- Se le denomina como la función de densidad de probabilidad de fallas o de falla instantánea en el tiempo t .

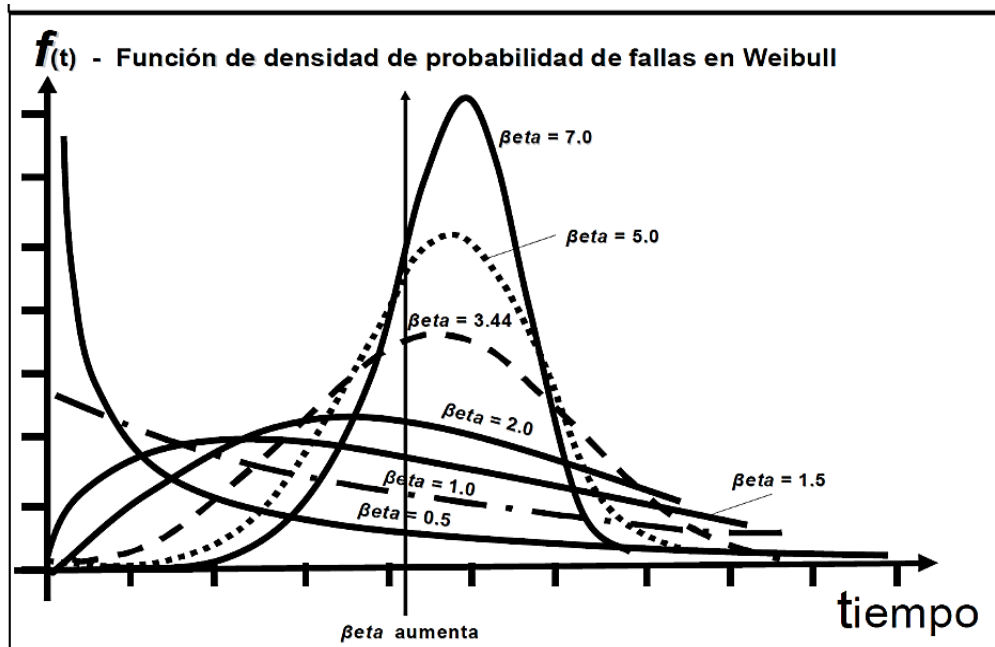


Figura 34. Función de densidad de probabilidad de fallas de weibull

Fuente: Mantenimiento estratégico para empresas industriales y de servicio de Ing Alberto Mora Gutiérrez

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \text{ con } \beta > 0, \eta > 0 \text{ y } t \geq \gamma \quad [1]$$

Donde se cumple que la tasa de fallas para la distribución es:

$$\lambda = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^{\beta-1} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad [2]$$

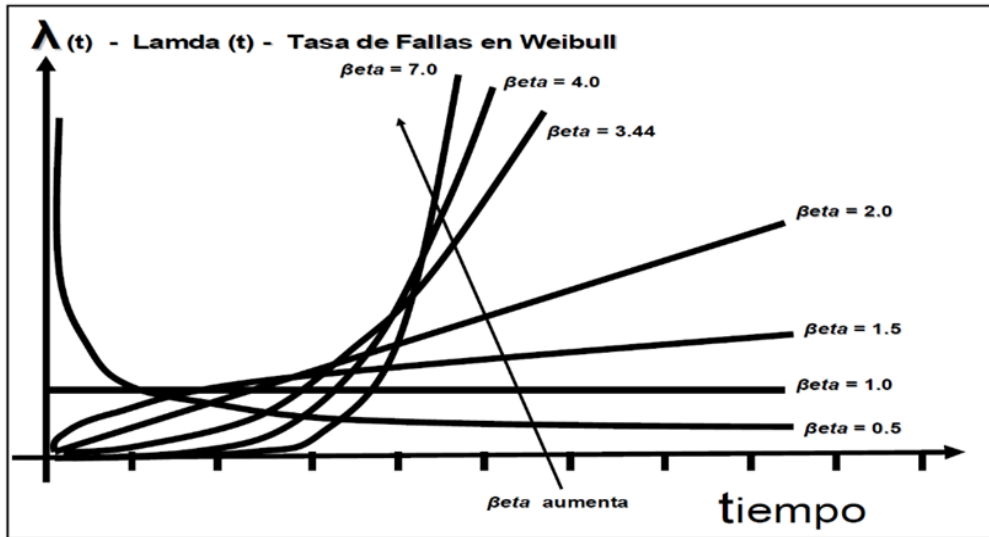


Figura 35. Tasa de Fallas en weibull

Fuente: Mantenimiento Estratégico para Empresas Industriales y de servicio de Ing
Alberto Mora Gutiérrez

Se conoce a $F(t)$ como función acumulativa de fallas

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta} \quad [3]$$

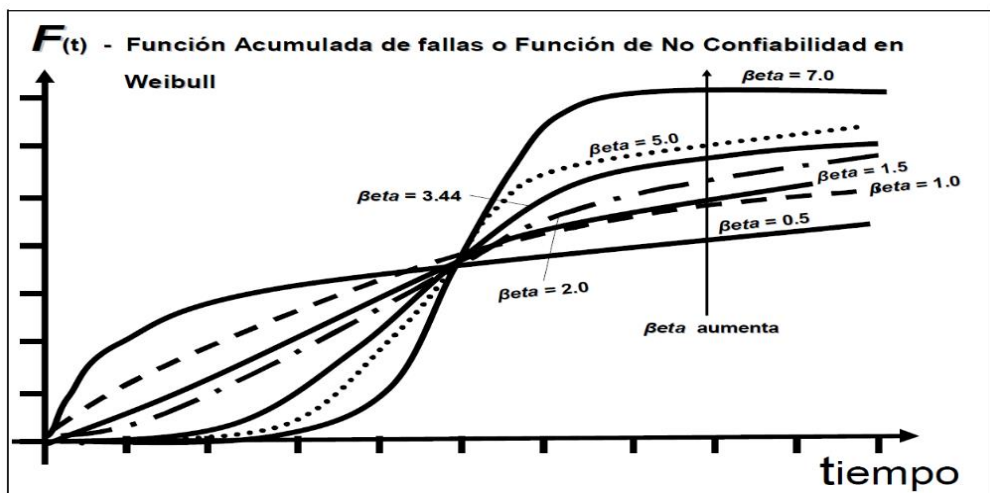


Figura 36. Función acumulada de fallas

Fuente: Mantenimiento estratégico para empresas industriales y de servicio de Ing.
Alberto Mora Gutiérrez

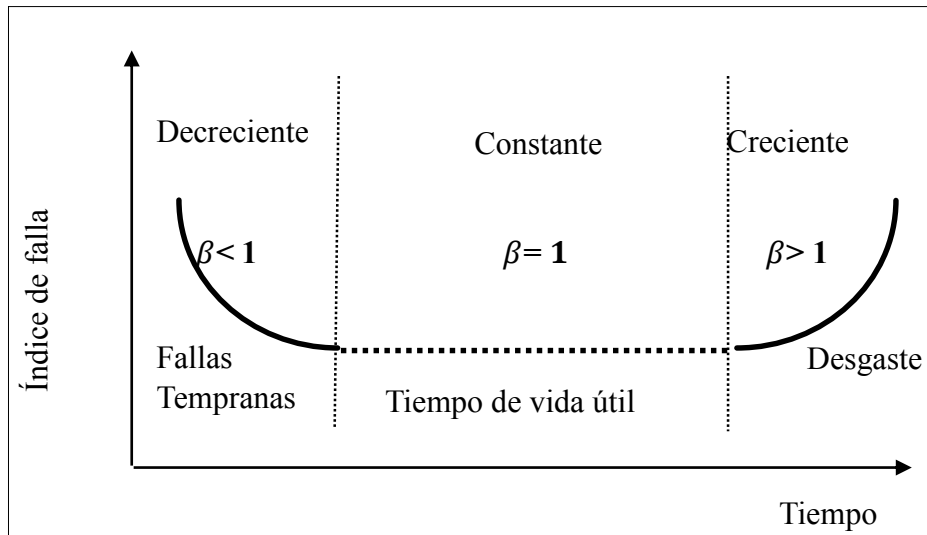


Figura 37. Tasa de falla Weibull
Fuente: Conceptos de confiabilidad

2.2.11.2. Distribución exponencial

La distribución exponencial posee una propiedad importante: que la tasa de riesgo es una constante. La tasa de riesgo constante indica que la probabilidad de que un producto superviviente falle en el próximo intervalo de tiempo pequeño es independiente del tiempo. Es decir, la cantidad de tiempo ya agotada para un producto exponencial no tiene ningún efecto en la vida restante del producto. Por lo tanto, esta característica también se llama propiedad sin memoria.

La distribución exponencial puede ser apropiada para modelar fallas aleatorias, esto se puede explicar con los siguientes argumentos. Las fallas aleatorias generalmente son causadas por choques externos. Por otro lado,

los argumentos implican que la distribución exponencial es inapropiada para fallas debido a degradación o desgaste. (Yang, 2007, pág. 19)

Por ejemplo, si el tiempo de falla de un producto se distribuye exponencialmente con el parámetro λ , la probabilidad de función de falla.

$$F(t) = \int_0^t \lambda e^{-\lambda t} dt = 1 - e^{-\lambda t}, t \geq 0 \quad [4]$$

La función de confiabilidad de la distribución exponencial es:

$$R(t) = e^{-\lambda t}, t \geq 0 \quad [5]$$

Función de peligro de la función de riesgo o índice de riesgo, denotada $h(t)$ y a menudo llamada tasa de falla, mide la tasa de cambio en la probabilidad de que un producto superviviente falle en el siguiente intervalo de tiempo pequeño. Se puede escribir como:

$$H(t) = \lambda \quad [6]$$

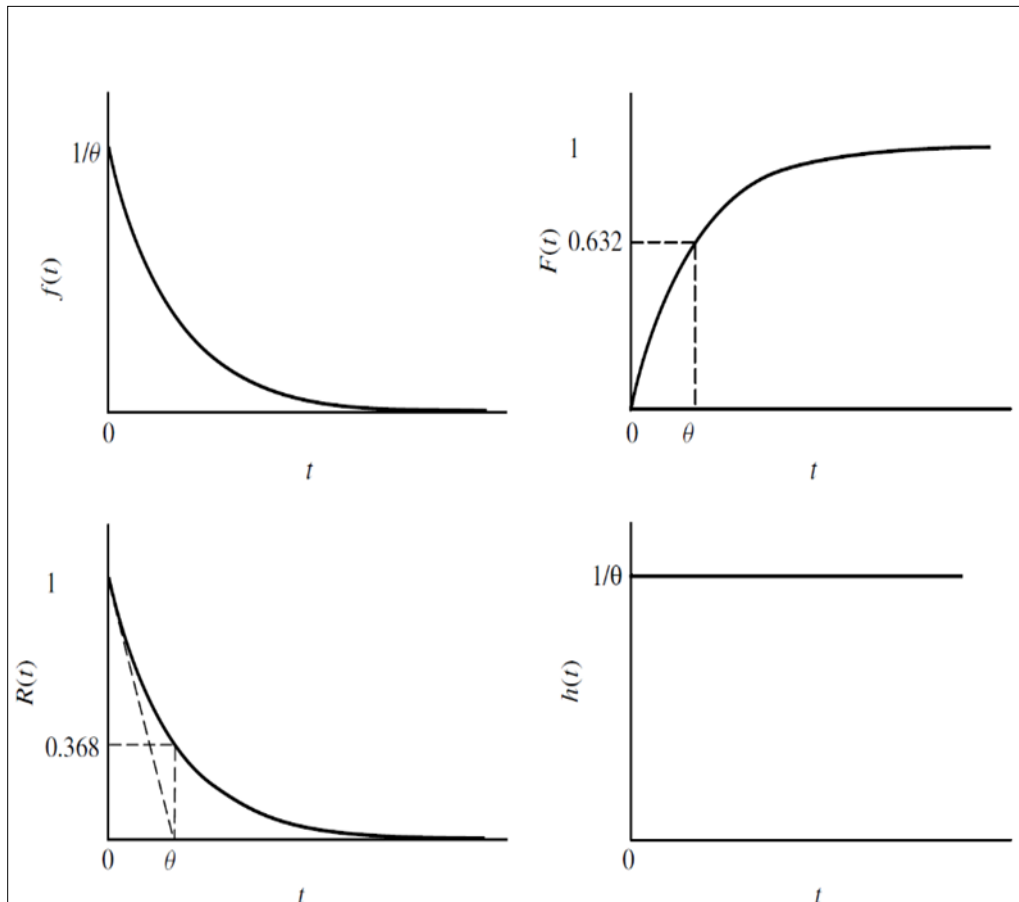


Figura 38. Modelos de distribución exponencial

Fuente: Ingeniería de confiabilidad de ciclo de vida, Guangbin Yang

2.2.11.3. Modelo normal

La distribución normal tiene una larga historia en uso debido a su simplicidad y simetría. La forma de campana simétrica describe muchos fenómenos naturales, como la altura y el peso de los bebés recién nacidos. La distribución es considerablemente menos común al modelar la vida porque permite que la variable aleatoria sea negativa. Puede ser adecuado para algunas propiedades del producto si el coeficiente de variación (σ / μ) es pequeño. La distribución normal es muy útil en el análisis estadístico.

Por ejemplo, el análisis de varianza de mejora de confiabilidad a través del diseño robusto supone que los datos se distribuyen normalmente. La distribución normal tiene una propiedad importante frecuentemente utilizada en el diseño de confiabilidad.

En este caso, la variable aleatoria continúa de tiempo hasta el fallo t sigue una distribución normal de parámetros μ y σ y se denota $N(\mu, \sigma)$ si su función de densidad está dada por:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad -\infty < t < \infty \quad [7]$$

Donde μ es la media y σ es la desviación típica σ^2 es la varianza.

Función normal de tasa de fallas

La probabilidad de falla

$$F(t) = \int_{-\infty}^t \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{y-\mu}{2\sigma^2}\right)} dy, \quad -\infty < t < \infty \quad [8]$$

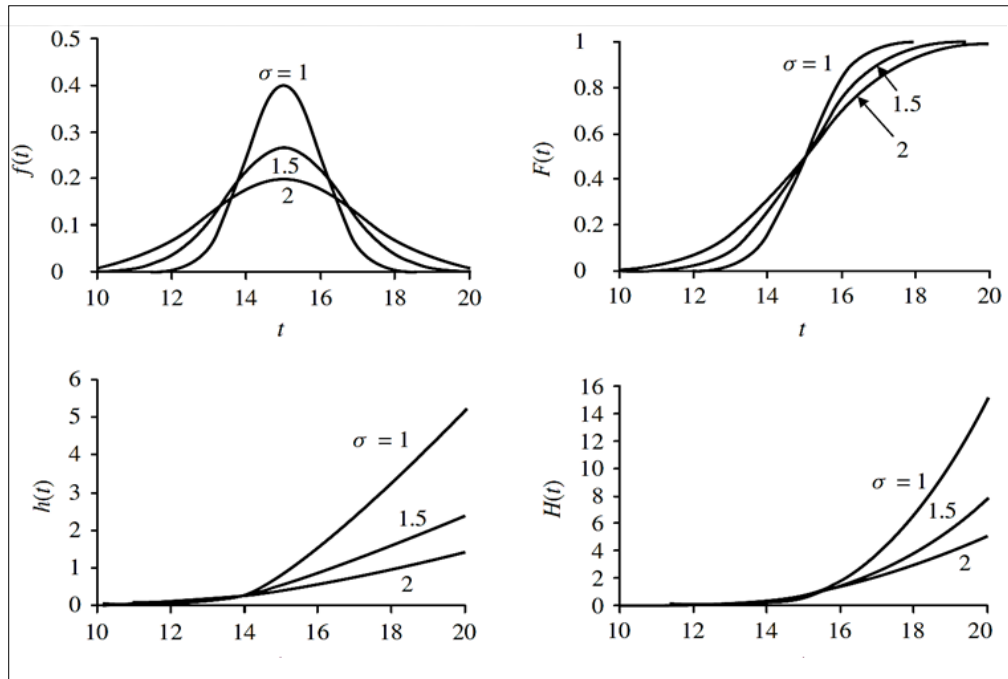


Figura 39. Modelos de distribución normal

Fuente: Ingeniería de confiabilidad de ciclo de vida, Guangbin Yang

Los modelos comunes de confiabilidad de exponencial, weibull y normal ver la figura 39.

Modelos Comunes de Confiabilidad	Exponencial	Weibull	Normal
Función de Densidad de Probabilidad (pdf), $f(t)$	$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t)$	$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left\{-\left[\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right]\right\}$	$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right]$
Función de Confiabilidad, $R(t)$	$R(t) = \exp(-\lambda t)$	$R(t) = \exp\left\{-\left[\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right]\right\}$	$R(t) = \int_{z(t)}^{\infty} \phi(z) dz$
Función de Tasa de Falla, $h(t)$	$h(t) = \lambda$	$h(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$	$h(t) = \frac{\phi(z)}{\sigma R(z)}$
Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF)	$\bar{T} = \frac{1}{\lambda}$	$\bar{T} = \eta \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right)$	$T = \text{media}$
Parámetros	$1/\lambda =$ escala sin forma	$\eta =$ escala $\beta =$ forma, o pendiente Weibull	media = localización $\sigma =$ escala
Aplicaciones	Sistema complejo vida útil electrónica	$\beta < 1$, fallas infantiles $\beta = 1$, exponencial $\beta > 1$, desgaste β app 3.4, app. normal muy flexible bien para fatiga en componentes mecánicos	$z(t) = (t - \mu)/\sigma$ $\phi(z) =$ pdf normal std. desgaste alto efectos aditivos (CLT)

Figura 40. Modelos de comunes de confiabilidad

Fuente: Diplomado de mantenimiento PUCP

2.2.12 Confiabilidad de sistemas

Un sistema es un conjunto de elementos interrelacionados dentro de las unidades de proceso que tienen una función específica de acuerdo a su operatividad. Y es esta operatividad la cual se debe garantizar; y dado que la confiabilidad individual de cada elemento afecta directamente a todo el sistema, el objetivo es poder garantizar la confiabilidad del sistema a través de sus componentes. También una sola máquina o equipo constituye un sistema.

Sistema en serie

Es cuando la interrupción de una máquina y/o equipo hace parar la línea de producción. Por ejemplo:

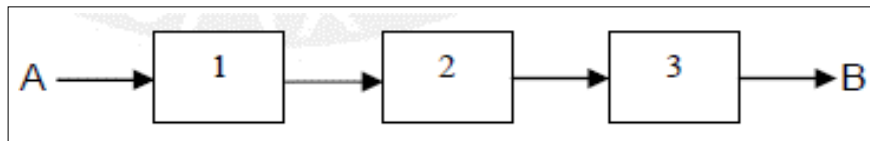


Figura 41. Confiabilidad en serie

Fuente: Diplomado de mantenimiento PUCP

Para el caso del ejemplo: $R_s = R_1 \times R_2 \times R_3$

Sistema en paralelo

Llamado también sistemas redundantes el cual es más complejo, a la vez también más costosos y por lo tanto de mayor confiabilidad. Esto significa que algunas funciones pueden de estar duplicadas, triplicadas, etc. Existen de dos tipos.

Primer caso: Sistemas de dos unidades.

- Ambas unidades están funcionando.
- Sólo se requiere una.
- Falla el sistema si las dos unidades fallan.

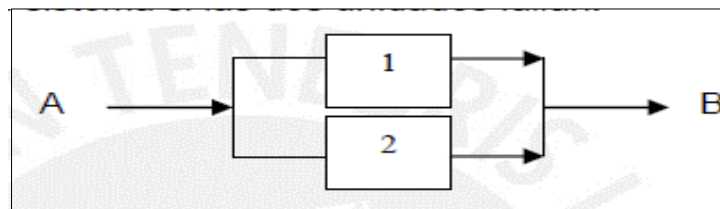


Figura 42. Confiabilidad en paralelo

Fuente: Diplomado de mantenimiento PUCP

2.2.13 Equipos de revisión RCM

En la práctica, el personal de mantenimiento no puede contestar a todas las preguntas por sí mismos. Esto es porque muchas (si ni la mayoría) de las respuestas solo pueden proporcionarlas el personal operativo o la producción. Lo cual se aplica especialmente a las preguntas que conciernen al funcionamiento deseado, los efectos de los fallos y las consecuencias de los mismos. El uso de estos grupos no solo permite que los directivos obtengan acceso de forma sistemática al conocimiento y experiencia de cada miembro del grupo, sino que además reparte de forma extraordinaria los problemas.



Figura 43. Equipos de revisión RCM

Fuente: Gestión de Mantenimiento III Edición Lima

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

2.3.1. Mantenibilidad

La facilidad y rapidez con que se puede llevar a cabo una actividad de mantenimiento en un activo. La sostenibilidad es una función del diseño del equipo y usualmente se mide por MTTR.

2.3.2. Falla

La falla es la incapacidad de un activo/componente para satisfacer su rendimiento esperado. El fallo también podría significar una reducción de la velocidad, o no cumplir con los requisitos operativos o de calidad.

2.3.3. Disponibilidad

La probabilidad de que un activo sea capaz de desempeñar satisfactoriamente su función prevista, cuando sea necesario, en un

entorno escalonado. Disponibilidad es una función de fiabilidad y facilidad de mantenimiento, el MTBR y el MTTR.

DISPONIBILIDAD (D)

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$$

↑ D: Disponibilidad
↑ MTBF: Tiempo promedio entre falla (Confiabilidad)
↓ MTTR: Tiempo promedio para reparar (Mantenibilidad)

Figura 44. Disponibilidad

Fuente: Diplomado de gestión de mantenimiento, Ing. Cesar Cerreño

2.3.4. Vida útil

Es la duración estimada que puede tener el equipo cumpliendo correctamente con la función para el cual ha sido creada. Normalmente calculamos en horas de duración.

2.3.5. Tiempo promedio entre fallas (MTBF)

Es una medida básica de la fiabilidad de los activos. Se calcula dividiendo el tiempo de operación total del activo por el número de fallos durante un período de tiempo. MTBF es el inverso de la tasa de fracaso. [Ramesh Gulati, CMRP].

$$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ de horas de operación}}{N^{\circ} \text{ de paradas correctivas}} \quad [9]$$

2.3.6. Tiempo promedio para reparar (MTTR)

MTTR es el tiempo promedio para restaurar un activo a su condición operacional completa en caso de un fallo. Se calcula dividiendo el tiempo de reparación total del activo por el número de fallos durante algún período de tiempo. Es una medida básica de Mantenibilidad [Ramesh Gulati, CMRP].

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparaciones correctivas}}{N^{\circ} \text{ de reparaciones correctivas}} \quad [10]$$

2.3.7. Máquina crítica

Es aquel que cuando falla, produce una parada total o suspensión drástica de la producción. Es decir afecta substancialmente el funcionamiento normal del sistema productivo. Solamente cuando es reparado este equipo, se puede reiniciar la producción. El tiempo que permanezca fuera.

2.3.8. Sistemas

Motor

Elementos que transforma la energía química a energía mecánica el funcionamiento de un motor diésel describe los siguientes sistemas lubricación, enfriamiento, combustible, admisión y escape, motor básico.

Parte Posterior:

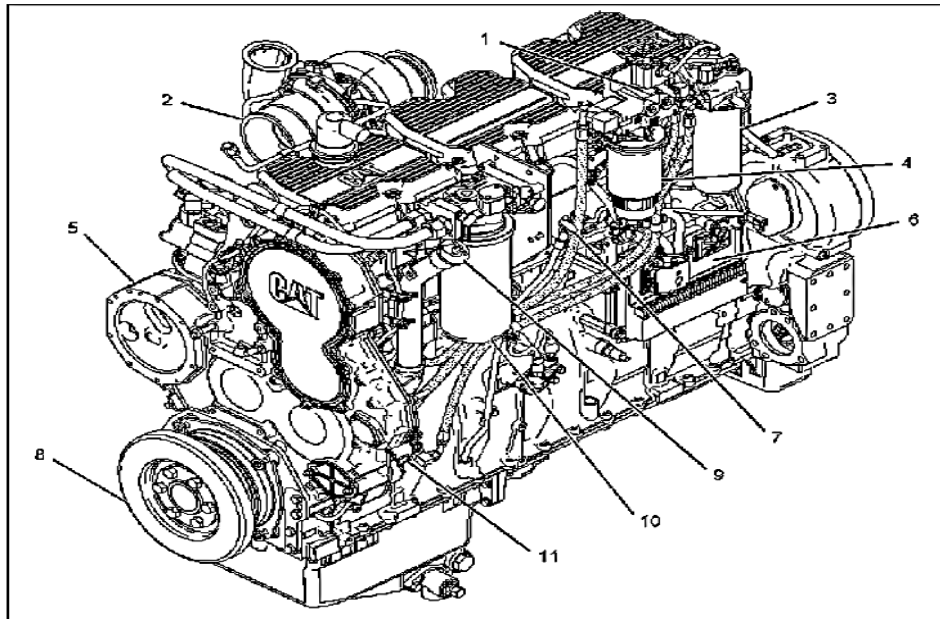


Figura 45. Partes del motor C15

Fuente: Manual del estudiante excavadora caterpillar

Tabla 3

Partes posteriores de motor

N°	Descripción
1	Bomba de cebado eléctrica
2	Turbocompresor
3	Filtro de combustible secundario
4	Filtro de combustible primario y separador de agua
5	Bomba de agua
6	Módulo de control electrónico ECM
7	Varilla nivel de aceite del motor
8	Amortiguador de vibración
9	Tapa llenado de aceite
10	Filtro de aceite del motor
11	Bomba de transferencia de combustible

Fuente: Manual del estudiante excavadora caterpillar

Parte delantera:

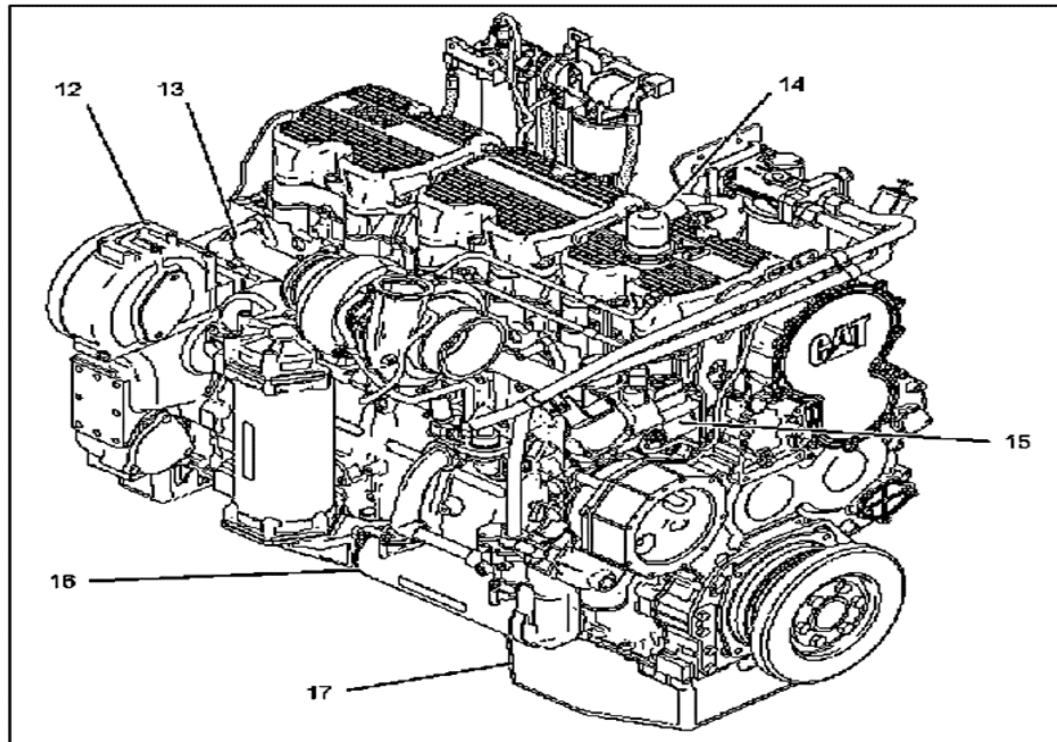


Figura 46. Partes del Motor C15

Fuente: Manual del estudiante excavadora caterpillar

Tabla 4

Partes delanteras de motor

N°	Nombre
12	Caja de la volante
13	Múltiple de escape
14	Respiradero del cárter
15	Caja del termostato
16	Enfriador de aceite del motor
17	Cárter del motor

Fuente: Manual del estudiante excavadora caterpillar

Tren de fuerza

Impulsar la máquina por medio de las ruedas guías que transmite la potencia del motor travel.

Tren de potencia

Tren de potencia

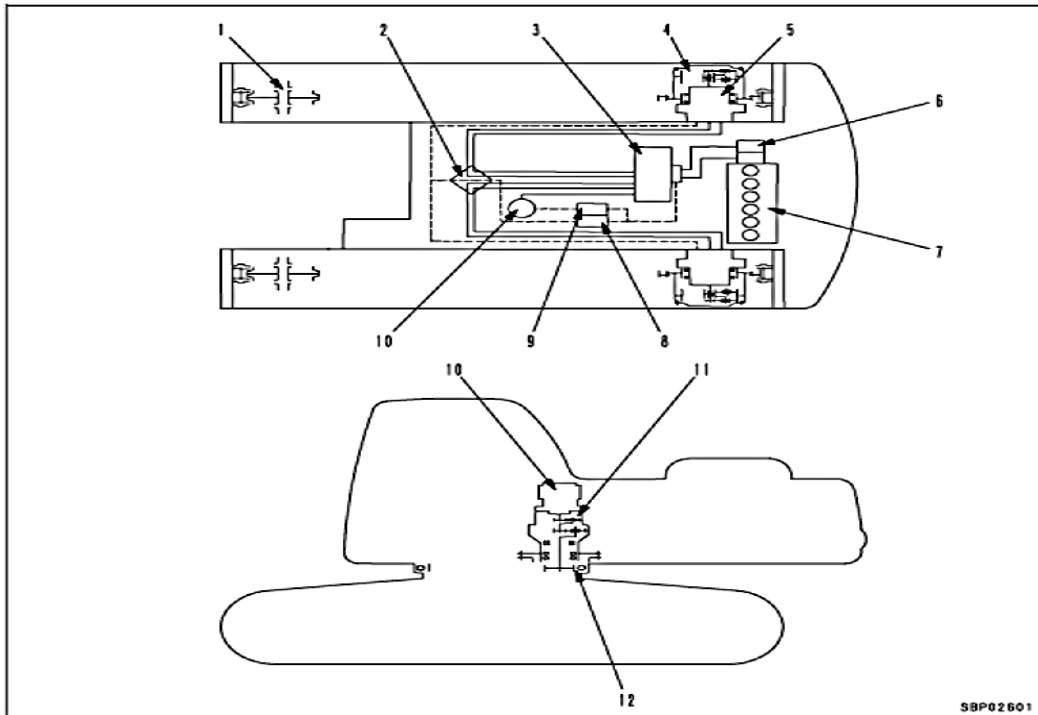


Figura 47. Partes del Motor C15

Fuente: Manual del estudiante excavadora caterpillar

Tabla 5

Tren de potencia

N°	Descripción
1	Rueda guía
2	Unión giratoria central
3	Válvula de control
4	Mando final
5	Motor de translación
6	Bomba hidráulica
7	Motor
8	Válvula de velocidad
9	Válvula de freno
10	Motor de giro
11	Reductor de giro
12	Tornamesa

Fuente: Manual del estudiante excavadora caterpillar

Hidráulico

El sistema hidráulico principal controla los cilindros, los motores de translación, motores de giro y tiene un sistema de enfriamiento separado que suministra aceite de motor del ventilador para enfriar el aceite hidráulico.

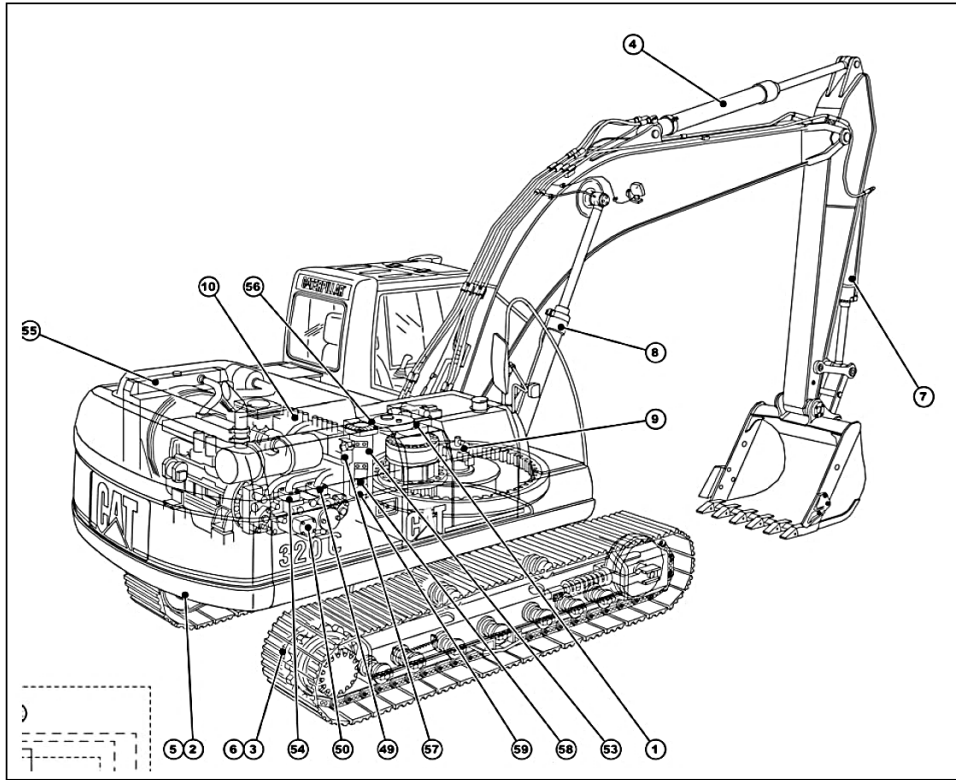


Figura 48. Partes del sistema hidráulico

Fuente: Manual del estudiante excavadora caterpillar

Tabla 6

Partes del sistema hidráulico

Número	Nombre
1	Motor de giro
2	Motor de lado lh
3	Motor de lado rh
4	Cilindro de stick
5	Válvula de freno lh
6	Válvula de freno rh
7	Cilindro de bucket
8	Cilindro de boom
9	Unión giratoria
10	Válvula de control principal
49	Bomba lado izquierdo
50	Bomba piloto
53	Enfriador
54	Bomba lado derecho
55	Tanque hidráulico
56	Filtro de drenaje
57	Filtro de piloto
58	Válvula de alivio de piloto

Fuente: Manual del estudiante excavadora caterpillar

Eléctrico

La función primaria del sistema eléctrico del motor diésel es arrancar el motor.

La función secundaria es dar energía a las luces, los medidores y los componentes.

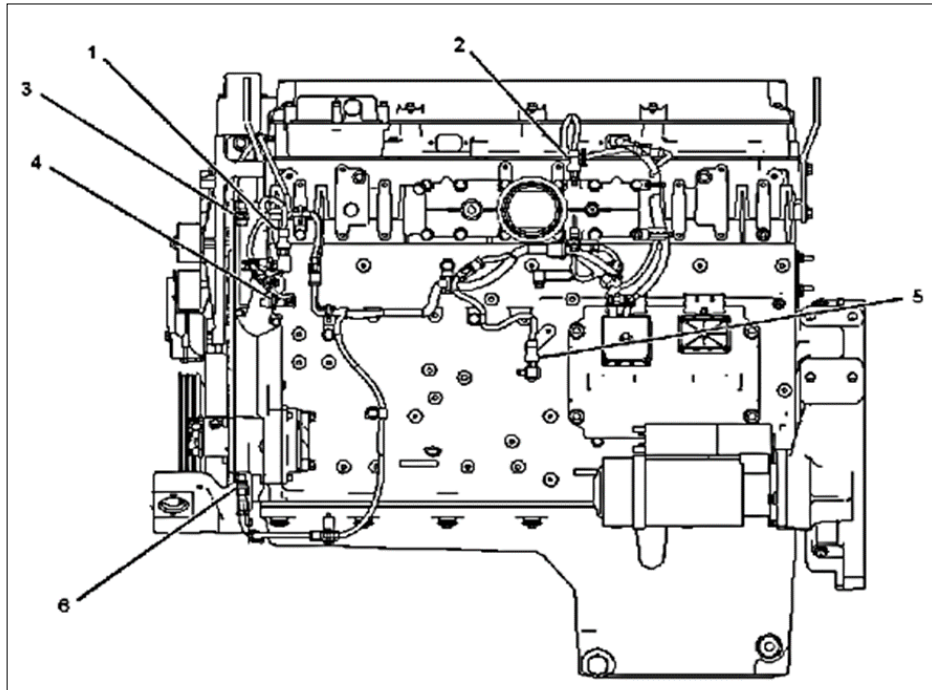


Figura 49. Partes del sistema eléctrico

Fuente: Manual del estudiante excavadora caterpillar

Tabla 7

Partes del sistema eléctrico de motor

Número	Nombre
1	Sensor de presión atmosférica
2	Sensor de presión del múltiple de admisión
3	Sensor de temperatura de refrigerante
4	Sensor de velocidad/sincronización secundario
5	Sensor de presión del aceite del motor
6	Sensor de velocidad/sincronización primario

Fuente: Manual del estudiante excavadora caterpillar

Tren de rodamiento

Conjunto de elementos o componentes que permiten el traslado del equipo o la máquina pueda desplazarse sobre ruedas.

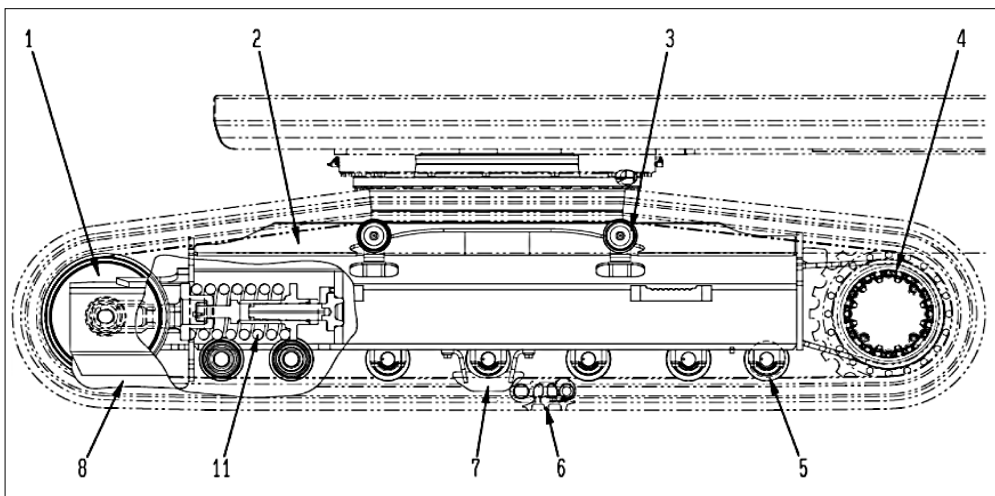


Figura 50. Tren de rodamiento

Fuente: Manual del estudiante excavadora caterpillar

Tabla 8

Partes de tren de rodamiento

Número	Nombre
1	Rueda guía
2	Bastidor
3	Rodillo superior
4	Rueda motriz
5	Rodillo inferior
6	Zapata
7	Protector central
8	Protector delantero
11	Resortes de tensor de rueda guía

Fuente: Manual del estudiante excavadora caterpillar

Herramientas

Son materiales que están en contacto directo con el material

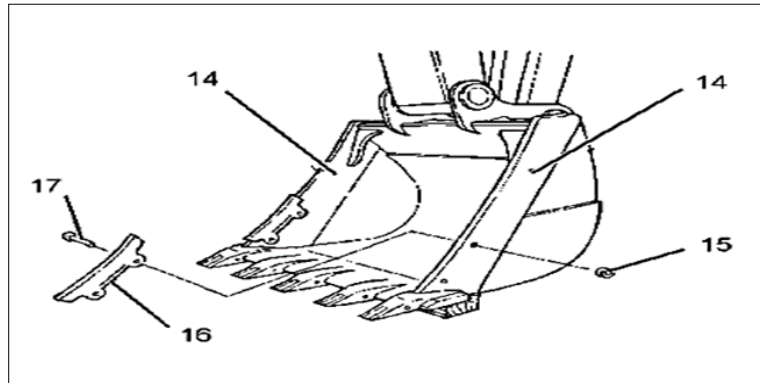


Figura 51. Partes de cucharón

Fuente: Manual del estudiante excavadora caterpillar

Tabla 9

Partes de cucharón

Número	Nombre
1	Rueda guía
2	Bastidor
3	Rodillo superior
4	Rueda motriz
5	Rodillo inferior

Fuente: Manual del estudiante excavadora caterpillar

Cabina

Sistema de administración de cabina crea un buen ambiente perfecto

para el operador

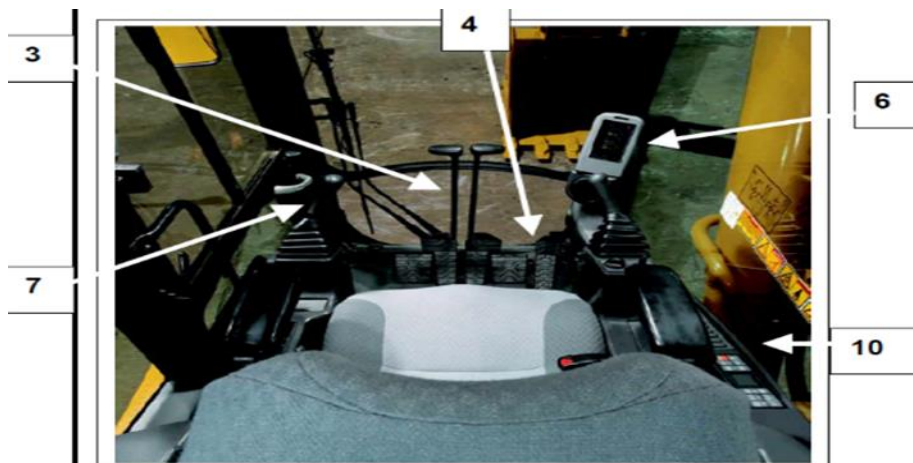


Figura 52. Partes de cabina

Fuente: Manual del Estudiante Excavadora Caterpillar

Tabla 10

Partes de cabina

Número	Nombre
1	Traba hidráulica
2	Control de la herramienta de trabajo
3	Controles de traslación
4	Pedal de marcha recta
5	Horómetro
6	Monitor
7	Joystick

Fuente: Manual del estudiante excavadora caterpillar

Se muestra las partes principales de la excavadora 345CL

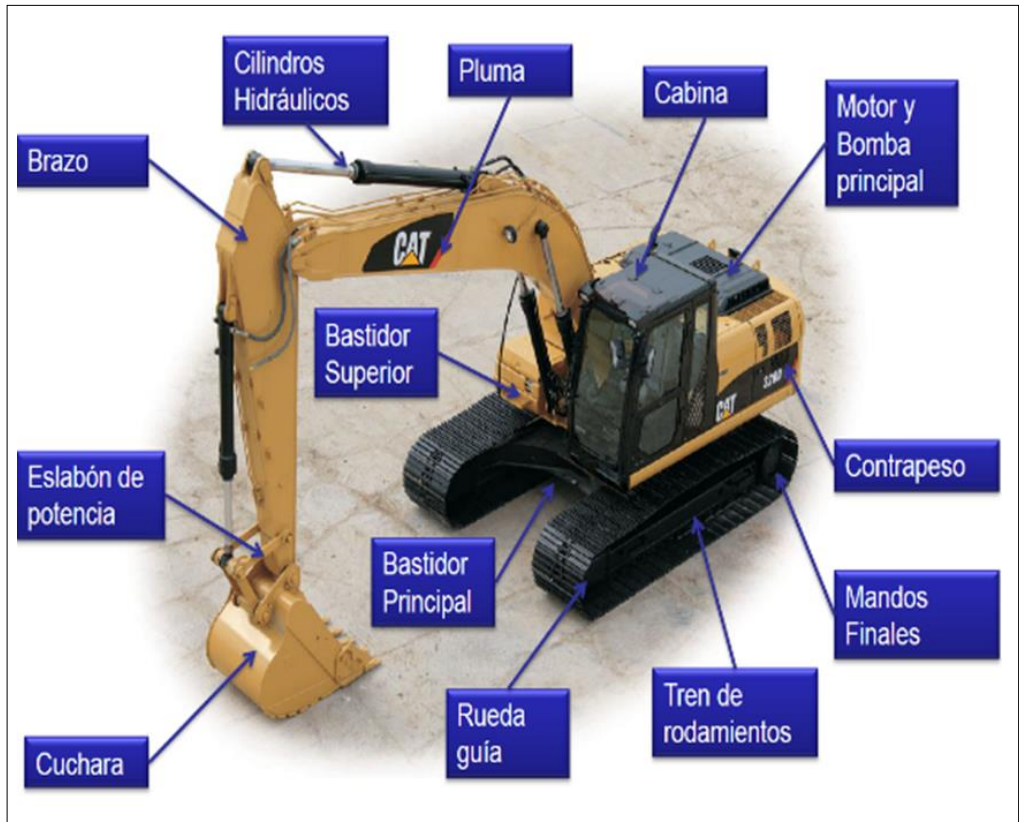


Figura 53. Partes principales de la excavadora 345CL

Fuente: Manual del estudiante excavadora caterpillar

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de investigación

La metodología utilizada es de tipo tecnológico, tiene como propósito mejorar la disponibilidad de la excavadora 345C de la empresa Mur Wy SAC.

La investigación tecnológica es la aplicación de un conjunto de técnicas, conocimientos y procesos, generados por la ciencia (investigación pura). Su resultado es la producción de satisfactores para la sociedad, la transformación de la realidad y la innovación en la industria, las áreas de ingeniería, los equipos, en resumen, pretende generar soluciones de beneficio de una comunidad específica, y la comodidad y el bienestar de la población en general.

La presente investigación corresponde a este tipo por que consiste en comparar resultados antes y después de aplicar el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en beneficio de la población en general.

3.1.2 Nivel de Investigación

El nivel de la investigación es aplicado, Espinoza Montes (2014), manifiesta que la investigación aplicada también conocida como de diseño o de innovación, tiene como propósito aplicar los resultados de la investigación experimental para diseñar tecnologías de aplicación inmediata en la solución de los problemas de la sociedad, buscando eficiencia y productividad.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

El estudio se centró en la Excavadora 345CL que operan en la unidad Minería Apumayo del Grupo Aruntani Sac.

Tabla 11

Excavadora considerada para estudio

ÍTEM	EQUIPO	MARCA	MODELO	CÓDIGO
01	EXCAVADORA	Caterpillar	345CL	345-06

Fuente: Elaboración propia

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Para el presente trabajo se utilizó el diseño con pre prueba y post prueba. Su diseño es:

M→O1→X→O2

- M: Excavadora 345CL-06

- X: Mantenimiento basado en la Confiabilidad
- O1: Disponibilidad Mecánica antes del mantenimiento centrado en la confiabilidad año 2014-2015
- O2: Disponibilidad Mecánica después del mantenimiento centrado en la confiabilidad año 2014-2015.

3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Listado de funciones y sus especificaciones

Especificaciones:

- Potencia Neta en el volante 345HP
- Peso 44,970 Kg
- Velocidad de rotación 8,6 rpm
- Velocidad de desplazamiento máximo 4,4 kph carguío de material
- Sistema Principal – Caudal máximo 720L/min
- Presión Máximo del equipo 36. kpascales
- Capacidades de tanque de combustible 705 litros
- Aceite de motor 42 litros
- Tanque hidráulico 243 litros

Funciones

- Carguío de material
- Levantar cargas.
- Trabajos con martillos hidráulicos.



Figura 54. Excavadora 345CL

Fuente: Caterpillar 2006

Determinación de Fallas Funcionales y Técnicas

- Mal uso del equipo por parte del supervisor de campo.
- Condiciones de frentes de trabajo en mal estado.
- Falta de registro de las inspecciones realizadas por parte de los mecánicos en campo.

- Mejorar el soporte del área de planificación para la programación de mantenimientos proactivos.
 - Falta aplicación de controles para mantenimientos.
 - Falta de un stock mínimo de repuestos.
 - Falta de repuestos críticos.

3.4.1 Técnica tipo documentación

La técnica desarrollada para la presente investigación es tipo documentación y empírica mediante la observación de datos con los formatos utilizados del área de mantenimiento Mur Wy Sac.

- Registro de llenado, orden de trabajo OT.
- Control de componentes
- Check list
- Análisis de aceite SOS
- Control de lubricantes
- Informes de falla

3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

La técnica de procesamiento de datos se realiza mediante el uso de una computadora y es donde se registra todas las actividades de mantenimiento para hacer los cálculos necesarios para obtener la información necesaria, para cual se logró desarrollar el trabajo de investigación.

Para el análisis de datos se siguió el siguiente diagrama de proceso como de elaboración propia bajo el panorama de debilidades del área de mantenimiento con respecto a las fallas repetitivas que no son analizadas, por lo explicado se está condenado a repetir los errores de mantenimiento e insatisfacción del cliente.

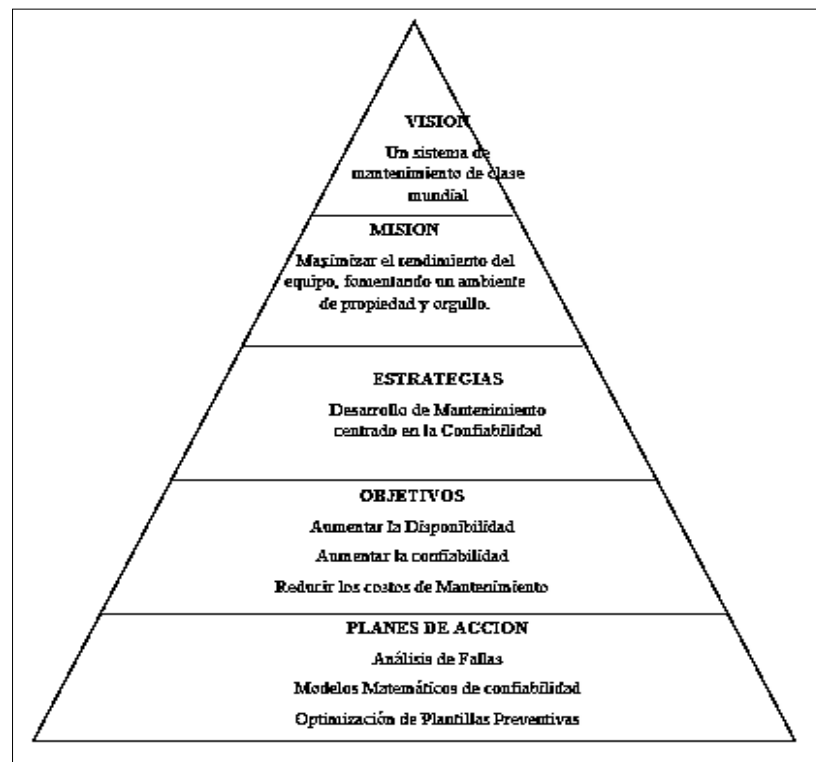


Figura 55. Procesamiento y análisis de datos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12

3.5.1 Fallas No Programadas del equipo

FECHA	TUR NO	HORA DE PARADA	HORA DE ENTR EGA	HRS INOP	HOROMET RO PARADA	TIPO DE INTERVEN CIÓN	SUBTIPO DE INTERVEN CIÓN	SISTEMA	COMPONENTE	PIEZA	DESCRIPCIÓN DEL MODO DE FALLA (QUÉ ORIGINÓ LA FALLA?)
2014-05-02	D	7:00	7:15	0,25	2 657,0	MC	MEC	Herramientas	Cucharon	PIN MASTER	FALTA DE INSPECCIÓN
2014-05-06	D	6:00	18:00	12,00	2 713,0	MP	EV	Lubricación	Eliminación de emanaciones	MOTOR	FUGA
2014-05-07	N	14:00	6:00	2,00	2 714,0	MP	MEC	Maquina Básica	Maquina general	GUARDAS	HORAS DE SERVICIO
2014-05-23	D	6:00	18:00	2,00	2 986,2	MC	ELC	Electrico_arranque	Grupo de iluminación	FOCOS	CORTE
2014-05-23	D	8:00	6:00	2,00	2 986,2	MC	MEC	Enfriamiento motor	Bomba de agua	BOMBA DE AGUA	FATIGA
2014-05-23	D	8:00	18:00	10,00	2 986,2	MC	MEC	Motor_basico	Grupo de cigüeñal	RETEN DE CIGÜEÑAL	RETEN RESECO
2014-05-24	D	6:00	6:00	24,00	2 986,2	MC	SOL	Admision_escape	Turbocompresor	TURBO	PERDIDA DE POTENCIA
2014-05-27	D	14:00	6:00	16,00	3 019,3	MP	EV	Motor_basico	Grupo de amortiguación	SOPORTE DE MOTOR	PERNOS SUELTOS DE SOPORTE
2014-05-28	D	6:00	8:20	2,33	3 021,5	MC	LUB	Enfriamiento_motor	Tanque de refrigerante	REFRIGERANTE	VIBRACIÓN
2014-06-03	N	2:00	2:30	0,50	3 157,0	MC	ELC	Electrico_arranque	Grupo de iluminación	FOCOS	FALTA DE INSPECCIÓN
2014-06-05	D	6:00	7:00	1,00	3 179,6	MC	ELC	Electrico_arranque	Grupo de iluminación	CIRCULINA	FOCO QUEMADO
2014-06-18	D	12:00	16:45	4,75	3 394,0	MC	MEC	Hidráulico	Grupo de bombas	BOMBA HIDRÁULICA	HORAS DE TRABAJOS
2014-06-28	D	15:00	6:00	15,00	3 504,9	MC	MEC	Enfriamiento_motor	Radiador	RADIADOR	HORAS DE TRABAJOS
2014-06-29	D	6:00	6:00	24,00	3 504,9	MC	MEC	Enfriamiento_motor	Radiador	RADIADOR	HORAS DE TRABAJOS
2014-06-30	D	6:00	6:00	24,00	3 504,9	MC	MEC	Enfriamiento_motor	Radiador	RADIADOR	HORAS DE TRABAJOS
2014-07-01	D	6:00	6:00	24,00	3 504,9	MC	MEC	Enfriamiento_motor	Radiador	RADIADOR	HORAS DE TRABAJOS

Continuación.....

Continuación.....

2014-07-02	D	6:00	6:00	24,00	3 506,0	MC	MEC	Enfriamiento_motor	Enfriador de aceite	ENFRIADOR DE ACEITE	ENFRIADO DE ACEITE DE MOTOR AUJEREADO INTERNAMENTE
2014-07-03	D	6:00	6:00	24,00	3 506,0	MP	LUB	Maquina_Basica	Maquina general	MOTOR	HORAS DE TRABAJO
2014-07-04	D	6:00	8:00	2,00	3 510,0	MC	MEC	Enfriamiento_motor	Radiador	ENFRIADOR DE ACEITE	REALIZAR MONITOREO DE RADIADOR LAVADO
2014-07-04	N	18:50	19:10	0,22	3 510,5	MC	ELC	Electrico_Arranque	Maquina general	EQUIPO	FALTA DE INSPECCION
2014-07-05	D	14:25	14:40	0,25	3 534,1	MC	MEC	Hidráulico	Grupo de motores	REDUCTOR DE GIRO	VIBRACION DEL EQUIPO
2014-07-06	D	4:30	10:10	5,67	3 542,0	MC	MEC	Enfriamiento_motor	Líneas de agua general	MANGUERA DE REFRIGERACION	FUGA
2014-07-10	D	13:00	18:00	5,00	3 626,2	MC	MEC	Enfriamiento_motor	Líneas de agua general	CONECTORES	SELLOS EN MAL ESTADO
2014-07-11	N	4:45	6:00	1,25	3 656,7	MC	SOL	Herramientas	Cucharon	CUCHARON	OPERACIÓN
2014-07-12	D	6:00	6:00	24,00	3 656,7	MC	SOL	Herramientas	Cucharon	CUCHARON	OPERACIÓN
2014-07-13	D	6:00	23:30	17,50	3 656,7	MC	SOL	Implementos	Cucharon	CUCHARON	OPERACIÓN
2014-07-21	D	8:00	18:00	10,00	3 790,8	MC	SOL	Herramientas	Cucharon	CUCHARON	FATIGA DEL COMPONENTE
2014-07-23	D	14:00	14:45	0,75	3 816,0	MC	ELC	Electrico_Arranque	Grupo de iluminación	FOCOS	NO MLLEGA CORRIENTE AL FARO POR EL RELAY EN MALAS CONDICIONES
2014-07-25	D	9:00	19:00	10,00	3 846,0	MC	MEC	Hidráulico	Grupo de bombas	BOMBAS	FATIGA DEL COMPONENTE
2014-08-15	D	16:00	16:15	0,25	4 191,6	MC	MEC	Herramientas	G.E.T.S.	PUNTAS	FATIGA DEL COMPONENTE
2014-08-18	N	22:50	23:00	0,17	4 257,0	MC	MEC	Cabina_Operador	Asiento	CINTURON	MALA OPERACIÓN
2014-08-27	D	6:00	6:00	24,00	4 393,3	MC	MEC	Motor_Basico	MOTOR	MOTOR	EMPAQUETADURAS EN MAL ESTADO
2014-08-28	D	6:00	6:00	24,00	4 393,3	MC	EV	Motor_Basico	MOTOR	MOTOR	DESGASTE PREMATURO DE GUIADORES
2014-08-21	D	6:00	6:00	24,00	4 393,4	MC	MEC	Motor_Basico	MOTOR	MOTOR	SELLOS EMPAQUETADURAS RESECAS
2014-09-01	D	6:00	6:00	24,00	4 393,4	MC	MEC	Motor_Basico	MOTOR	MOTOR	DAÑOS INTERNOS, DESGASTE DE GUIAS DE VALVULAS

Continuación.....

Continuación.....

2014-09-02	D	6:00	6:00	24,00	4 393,4	MC	MEC	Motor_Basico	MOTOR	MOTOR	DESGASTE DE GUIA DE VALVULAS DE LA CULATA
2014-09-05	D	6:00	6:00	24,00	4 396,0	MC	ELC	Electrico_Arranque	Grupo de sensores	SENSOR NIVEL DE ACEITE MOTOR	DESGASTE
2014-09-08	D	6:00	6:00	24,00	4 396,0	MC	MEC	Herramientas	Cucharon	CUCHARON	FALTA DE CONTROL
2014-09-09	D	6:00	6:00	24,00	4 396,0	MP	MEC	Maquina_basica	Maquina general	MAQUINA	HORAS DE TRABAJO
2014-09-10	D	6:00	6:00	24,00	4 396,0	MP	MEC	Maquina_basica	Maquina general	MAQUINA	HORAS DE TRABAJO
2014-09-13	D	6:00	6:00	24,00	4 396,0	MC	MEC	Motor_basico	MOTOR	ECM	HORAS DE TRABAJO
2014-09-14	D	6:00	6:00	24,00	4 396,0	MC	MEC	Motor_basico	MOTOR	ECM	HORAS DE TRABAJO
2014-09-16	D	6:00	6:00	24,00	4 396,0	MC	MEC	Motor_basico	MOTOR	MOTOR	DESGASTE DE GUIA DE VALVULAS DE LA CULATA
2014-09-16	D	6:00	6:00	24,00	4 396,0	MC	MEC	Motor_basico	MOTOR	MOTOR	DESGASTE DE GUIA DE VALVULAS DE LA CULATA
2014-09-18	D	6:00	6:00	24,00	4 396,0	MC	MEC	Motor_basico	MOTOR	ECM	HORAS DE TRABAJO
2014-09-19	D	6:00	6:00	24,00	4 396,0	MC	MEC	Motor_basico	MOTOR	ECM	HORAS DE TRABAJO
2014-09-20	D	6:00	6:00	24,00	4 400,0	MC	MEC	Motor_basico	MOTOR	MOTOR	DESGASTE DE GUIA DE VALVULAS DE LA CULATA
2014-09-21	D	6:00	6:00	24,00	4 400,0	MC	MEC	Combustible	Juego de Inyección	INYECTORES	DESGASTE DE SELLOS
2014-09-24	D	9:00	11:00	2,00	4 411,0	MC	MEC	Herramientas	Cucharon	ADAPTERS	FALTA DE CONTROL
2014-09-30	D	13:30	14:50	1,33	4411,0	MP	EV	Electrico_arranque	Grupo de alarmas	COGIDOS ACTIVOS	ELECTRONICO
2014-10-06	D	6:15	7:00	0,45	4 587,2	MC	MEC	Hidráulico	Grupo de válvulas	JYOSTICK RH	FALTA DE CONTROL
2014-10-09	D	12:00	12:25	0,42	4 653,0	MC	MEC	Hidráulico	Grupo de tuberías	CAÑERÍA DE CILINDRO DEL BOOM	ROTURA
2014-10-16	D	9:00	9:30	0,50	4 788,5	MC	MEC	Herramientas	Cucharon	PERNOS DE CUCHARON	TRABAJO FORZADO
2014-10-24	N	4:30	6:00	1,50	4 835,0	MC	MEC	Herramientas	Cucharon	ADAPTERS	FALTA DE CONTROL

Continuación.....

Continuación.....

2014-10-24	D	6:00	16:00	10,00	4 844,2	MC	MEC	Herramientas	Cucharon	CUCHARON	FALTA DE CONTROL
2014-10-29	D	16:00	18:00	2,00	4 921,0	MC	MEC	ENFRIAMIENTO_MOTOR	Enfriador de aceite	VENTILADOR Y RADIADOR	RPM DEL VENTILADOR INADECUADO, ENFRIADORES OBSTRUIDOS POR SUCIEDAD EXCESIVO POLVO EN TAJO Y TAPONAMIENTO DE PANELES DE ENFRIADORES CON POLVO Y BARRO
2014-10-29	D	8:30	12:00	3,50	4 923,0	MC	MEC	Enfriamiento_motor	Enfriador de aceite	ENFRIADORES	TAPONAMIENTO DE PANELES DE ENFRIADORES CON POLVO Y BARRO
2014-11-05	D	12:00	13:00	1,00	4 994,0	MC	MEC	Herramientas	CUCHARON	CUCHARON	MALA OPERACIÓN
2014-11-06	N	19:10	19:25	1,00	5 017,0	MP	EV	Maquina_basica	Maquina general	MAQUINA	LUBRICACION
2014-11-14	D	10:40	18:00	8,00	5 145,0	MP	LUB	Maquina_basica	Maquina general	MAQUINA	LUBRICACION
2014-11-14	N	18:00	21:30	3,50	5 145,0	MP	EV	Maquina_basica	Maquina general	MAQUINA	PERNOS FLOJOS, INICIO DE ARRANQUE
2014-11-14	D	10:40	18:00	7,33	5 145,0	MC	MEC	Hidráulico	GRUPO DE CILINDROS	CILINDRO DE BOOM	FISURA EN CASCO DE CILINDRO
2014-11-15	D	6:20	7:00	0,80	5 152,3	MC	ELC	Cabina_Operador	Tablero de control	MONITOR	HARNE SUCIO
2014-11-15	N	5:20	6:00	0,67	5 171,0	MC	MEC	Hidráulico	Grupo de cilindros	CILINDRO DE BOOM	DESGASTE INTERNO DE KIT DE SELLOS
2014-11-16	D	6:00	18:00	12,00	5 171,7	MC	MEC	Hidráulico	Grupo de cilindros	CILINDRO DE BOOM	CASCO DE CILINDRO FISURADO
2014-11-17	N	19:50	20:00	0,17	5 190,0	MC	ELC	Electrico_arranque	Grupo de iluminación	LUCES DE BOOM	CORTE DE CABLE EN TRAMO DEL CABLE, HORAS DE SERVICIO
2014-11-22	D	16:00	18:00	2,00	5 253,7	MC	ELC	Electrico_arranque	Alternador de Carga	ALTERNADOR	FALTA DE CONTROL
2014-11-25	D	16:30	17:30	1,00	5 296,1	MC	ELC	Electrico_arranque	Radio de comunicaciones	RADIO DE COMUNICACIONE	CIRCUITO ABIERTO EN EL SISTEMA DE CABLEADO
2014-11-28	D	18:00	19:40	1,67	5 348,9	MC	MEC	Lubricación	Eliminación de emanaciones	MANGUERA DE ACEITE	FUGA POR MAGUERA DE ACEITE DE MOTOR, MANGUERA DETERIORADA Y RESECA
2014-12-01	D	12:00	0:30	12,50	5 398,4	MC	MEC	Enfriamiento_motor	Ventilador de succión	MANDO DE GIRO DE VENTILADOR	RODAMIENTOS CON DESGASTE DEL MANDO DEL VENTILADOR
2014-12-09	N	23:00	0:00	1,00	5 524,9	MC	MEC	Implementos	Boom	PIN DE BOOM	DESGASTE PREMATURO
2014-12-10	D	6:00	8:05	2,08	5 615,6	MC	SOL	Implementos	Boom	PIN MASTER BOOM	BASE DE ANCLAJE DE PERNO DE PIN MASTER DEL BOOM QUEBRADO

Continuación.....

Continuación.....

2014-12-12	D	6:15	6:25	0,17	5 545,5	MC	MEC	Herramientas	Cucharon	PIN BUCKET	FALTA DE CONTROL
2014-12-14	D	7:00	7:50	0,83	5 575,6	MP	MEC	Maquina_basica	Maquina General	MAQUINA	PERNOS FLOJOS, INICIO DE ARRANQUE
2014-12-17	D	5:40	5:50	0,17	5 629,9	MC	MEC	Implementos	Grupo de varillaje	TAPA DE REGULADOR DE VARILLAJE	TAPA SIN PERNOS
2014-12-19	D	17:50	18:10	0,33	5 676,5	MC	ELC	Electrico_arranque	Grupo de iluminación	LUCES	FOCO QUEMADO POR TIEMPO DE TRABAJO
2015-02-24	D	15:40	19:00	3,33	6 216,6	MC	MEC	Hidráulico	Grupo de cilindros	CILINDRO DE BUCKET	RAJADURAS EN BASTADO POR IMPACTO CON ROCA
2015-02-24	N	19:00	3:15	8,25	6 216,6	MC	MEC	Implementos	STICK	BOCINAS Y PINES	HORAS DE SERVICIO
2015-02-27	D	13:00	18:00	5,00	6 216,6	MC	MEC	Hidráulico	Grupo de bombas	BOMBA DE PILOTAJE	DESGASTE DE BOMBA DE PILOTAJE
2015-03-02	N	19:06	20:00	0,72	6 297,3	MC	ELC	Cabina_operador	Limpiaparabrisas	TRICO	BRAZO DOBLADO
2015-03-19	N	22:00	23:00	1,00	6 466,0	MP	LUB	Maquina_basica	Maquina General	MAQUINA	HORAS DE TRABAJO
2015-03-19	D	16:00	16:30	0,50	6 466,0	MP	MEC	Maquina_basica	Maquina General	MAQUINA	HORAS DE TRABAJO
2015-03-19	D	10:40	11:10	0,50	6 505,0	MC	ELC	Electrico_arranque	Grupo de sensores	SELENOIDE DE FRENO	SELENOIDE DE FRENO DE GIRO FUERA DE SERVICIO
2015-03-22	D	12:00	12:30	0,50	6 515,0	MC	MEC	Herramientas	G.E.T.S.	PUNTAS DE CUCHARON	POR HORAS
2015-03-22	D	12:00	12:30	0,00	6 515,0	MC	MEC	Herramientas	G.E.T.S.	PUNTAS DE CUCHARON	POR HORAS
2015-03-26	D	9:30	11:20	1,83	6 598,1	MC	MEC	Hidráulico	Mangueras Hidráulicas	MANGUERA	MANGUERA RESECA X HORAS DE TRABAJO
2015-03-27	D	16:45	17:40	0,92	6 613,0	MC	MEC	Combustible	Bomba de cebado	LINEAS	POR CEBADOR DE COMBUSTIBLE (NUEVO)
2015-03-27	N	22:10	22:20	0,17	6 623,4	MC	MEC	Herramientas	G.E.T.S.	RETEN	FALTA DE INSPECCION
2015-03-29	D	6:00	6:00	24,00	6 655,0	MC	MEC	Hidráulico	Grupo de cilindros	CILINDRO DE LEVANTE	SELLOS DE TAPA DE CILINDRO EN MAL ESTADO
2015-03-30	D	6:00	10:30	4,50	6 658,4	MC	MEC	Hidráulico	Grupo de cilindros	CILINDRO BOOM	FUGA DE ACEITE POR EL RETEN, PUERTA ACHATADA, POR HORAS DE TRABAJO, TIPO DE TRABAJO

Continuación.....

Continuación.....

2015-04-01	D	6:00	7:30	1,50	6 689,6	MC	MEC	Hidráulico	Mangueras hidráulicas	MANGUERA DE AMORTIGUACION DE LA BOMBA	SELLOS DAÑADO DE TAPON
2015-04-03	D	7:00	14:00	6,00	6 715,0	MC	SOL	Herramientas	G.E.T.S.	ADAPTER	TIEMPO DE TRABAJO
2015-04-08	D	7:00	11:30	4,50	6 787,6	MC	MEC	Combustible	Líneas de combustible	SENSOR DE TEMPERATURA	CODIGO ACTIVO DE SENSOR TEMPERATURA DE COMBUSTIBLE MANGUERA DE ADMINISION DE TURBO ROTO
2015-04-10	D	12:00	13:00	1,00	6 809,7	MC	MEC	Hidráulico	Mangueras hidráulicas	SWIVEL	MANGUERA EN MAL ESTADO
2015-04-10	N	22:50	0:20	1,50	6 817,8	MC	ELC	Electrico_arranque	Baterías y cables	BATERIA	FALTA DE CONTROL
2015-04-10	N	22:50	0:20	0,00	6 817,8	MC	ELC	Electrico_arranque	Baterías y cables	BATERIA	FALTA DE CONTROL
2015-04-15	N	18:00	6:00	12,00	6 849,6	MC	MEC	Hidráulico	Grupo de válvulas	VALVULA DRIPS	DESGASTE DE SELLOS
2015-04-16	D	6:00	9:00	3,00	6 849,8	MP	MEC	Maquina_basica		TOPE DE SWIBEL	HORAS DE TRABAJO
2015-04-16	D	6:00	10:00	4,00	7 085,0	MC	MEC	Hidráulico	Mangueras hidráulicas	MANGUERA DE TRAVEL RH	MANGUERA QUEBRADA
2015-05-02	D	6:50	7:15	0,33	7 087,1	MC	ELC	Electrico_arranque	Grupo de iluminación	FOCOS	HORAS DE SERVICIO
2015-05-05	N	3:15	6:00	2,75	7 160,2	MC	MEC	Enfriamiento_motor	Bomba de agua	BOMBA DE AGUA	BOMBA CON FUGA
2015-05-06	D	6:00	6:00	24,00	7 160,2	MC	MEC	Enfriamiento_motor	Bomba de agua	BOMBA DE AGUA	BOMBA CON FUGA
2015-05-07	N	6:00	6:00	24,00	7 160,6	MC	MEC	Enfriamiento_motor	Bomba de agua	BOMBA DE AGUA	BOMBA DE AGUA CON DESGASTE
2015-05-08	D	6:00	6:00	24,00	7 160,6	MC	MEC	Enfriamiento_motor	Radiador	RADIADOR	MATERIAL DEBILITADO
2015-05-09	D	6:00	6:00	24,00	7 160,6	MC	MEC	Enfriamiento_motor	Radiador	RADIADOR	MATERIAL DEBILITADO
2015-05-10	D	6:00	6:00	24,00	7 162,5	MC	MEC	Enfriamiento_motor	Radiador	RADIADOR	MATERIAL DEBILITADO
2015-05-21	D	7:55	8:20	0,42	7 322,0	MP	MEC	Maquina_basica	Maquina general	MAQUINA	HORAS DE TRABAJO
2015-05-22	N	0:30	1:30	1,00	7 341,5	MC	ELC	Electrico_arranque	Grupo de alarmas	CLAXON	CLAVES ROTOS

Continuación.....

Continuación.....

2015-05-25	D	6:00	11:30	5,50	7 350,1	MC	MEC	Hidráulico	Grupo de control de válvulas	CONTROLE DE BOMBA	HORAS DE SERVICIO
2015-05-25	N	1:30	4:50	3,33	7 361,4	MC	MEC	Combustible	Bomba de cebado	BOMBA DE CEBADO	FALTA DE COMBUSTIBLE
2015-05-29	D	12:00	15:00	3,00	7 401,5	MC	ELC	Electrico_arranque	Motor de Arranque	ALTERNADOR	CORREA ROTA DE ALTERNADOR, ALTERNADOR EN MAL ESTADO
2015-05-29	D	12:00	15:00	3,00	7 401,5	MC	ELC	Electrico_arranque	Motor de Arranque	ALTERNADOR	CORREA ROTA DE ALTERNADOR, ALTERNADOR EN MAL ESTADO
2015-06-01	D	10:30	6:00	16,50	7 453,1	MC	MEC	Motor_basico	Sistema de Aceleración de Motor	SIST. COMBUSTIBLE	EXCESIVO PASO DE COMBUSTIBLE
2015-06-02	D	6:00	18:00	12,00	7 461,6	MC	MEC	Motor_basico	Grupo de engranajes	DISTRIBUCION	EN EVAUACION
2015-06-03	D	6:00	6:00	24,00	7 461,6	MP	INS	Motor_basico	Grupo de engranajes	MOTOR	EN EVAUACION
2015-06-04	D	6:00	6:00	24,00	7 461,6	MC	MEC	Motor_basico	Grupo de engranajes	MOTOR	DESGASTE
2015-06-05	D	13:00	18:00	12,00	7 461,6	MC	MEC	Hidráulico	Grupo de cilindros	CILINDRO BUCKET	SELLOS INTERNOS RENDIDOS
2015-06-06	N	6:00	18:00	12,00	7 461,6	MC	MEC	Motor_basico	Grupo de engranajes	MOTOR	SE ENCONTRARON PARTICULAS DE FIERRO EN EL CARTER DE MOTOR
2015-06-06	N	6:00	0:00	24,00	7 461,6	MC	MEC	Motor_basico	Grupo de engranajes	MOTOR	SE ENCONTRARON PARTICULAS DE FIERRO EN EL CARTER DEL MOTOR
2015-06-07	D	6:00	6:00	24,00	7 461,6	MC	MEC	Motor_basico	Grupo de engranajes	MOTOR	SE ENCONTRARON PARTICULAS DE FIERRO EN EL CARTER DEL MOTOR
2015-06-08	D	6:00	6:00	24,00	7 461,6	MC	MEC	Hidráulico	Grupo de motores	MOTOR GIRO	RETEN DE EJE DE MOTOR EN MAL ESTADO
2015-06-09	D	6:00	6:00	24,00	7 461,6	MC	MEC	Motor_basico	Grupo de engranajes	MOTOR	SE ENCONTRARON PARTICULAS DE FIERRO EN EL CARTER DEL MOTOR
2015-06-10	D	6:00	6:00	24,00	7 461,6	MC	MEC	Hidráulico	Grupo de motores	MOTORES DE GIRO	SELLOS DE MOTOR DE GIRO CON DESGASTE
2015-06-11	D	6:00	6:00	24,00	7 461,6	MC	MEC	Motor_basico	Grupo de engranajes	MOTOR	SE ENCONTRARON PARTICULAS DE FIERRO EN EL CARTER DE MOTOR
2015-06-12	D	6:00	6:00	24,00	7 461,6	MC	MEC	Hidráulico	Grupo de bombas	BOMBA DE REDUCTOR	DESGASTE INTERNO DE SELLOS
2015-06-13	D	6:00	6:00	24,00	7 461,6	MC	MEC	Motor_basico	Grupo de engranajes	MOTOR	SE ENCONTRARON PARTICULAS DE FIERRO EN EL CARTER DE MOTOR
2015-06-14	D	6:00	6:00	24,00	7 461,6	MC	MEC	Motor_basico	Grupo de engranajes	MOTOR	SE ENCONTRARON PARTICULAS DE FIERRO EN EL CARTER DE MOTOR

Continuación.....

Continuación.....

2015-06-15	D	6:00	6:00	24,00	7 461,6	MC	MEC	Motor_basico	Grupo de engranajes	MOTOR	SE ENCONTRARON PARTICULAS DE FIERRO EN EL CARTER DE MOTOR
2015-06-16	D	6:00	6:00	24,00	7 461,6	MC	MEC	Motor_basico	Grupo de engranajes	MOTOR	SE ENCONTRARON PARTICULAS DE FIERRO EN EL CARTER DE MOTOR
2015-06-17	D	6:00	6:00	24,00	7 461,6	MC	MEC	Motor_basico	Grupo de engranajes	MOTOR	SE ENCONTRARON PARTICULAS DE FIERRO EN EL CARTER DE MOTOR
2015-06-18	D	6:00	6:00	24,00	7 461,6	MC	MEC	Motor_basico	Grupo de engranajes	MOTOR	SE ENCONTRARON PARTICULAS DE FIERRO EN EL CARTER DE MOTOR
2015-06-19	D	6:00	6:00	24,00	7 461,6	MC	MEC	Motor_basico	Grupo de engranajes	MOTOR	SE ENCONTRARON PARTICULAS DE FIERRO EN EL CARTER DE MOTOR
2015-06-20	D	6:00	6:00	24,00	7 461,6	MC	MEC	Motor_basico	Grupo de engranajes	MOTOR	SE ENCONTRARON PARTICULAS DE FIERRO EN EL CARTER DE MOTOR
2015-06-21	D	6:00	6:00	24,00	7 461,6	MC	MEC	Motor_basico	Grupo de engranajes	MOTOR	SE ENCONTRARON PARTICULAS DE FIERRO EN EL CARTER DE MOTOR
2015-06-22	D	6:00	6:00	24,00	7 461,6	MC	MEC	Motor_basico	Grupo de engranajes	MOTOR	SE ENCONTRARON PARTICULAS DE FIERRO EN EL CARTER DE MOTOR
2015-06-23	D	6:00	6:00	24,00	7 461,6	MC	MEC	Motor_basico	Grupo de engranajes	MOTOR	SE ENCONTRARON PARTICULAS DE FIERRO EN EL CARTER DE MOTOR
2015-06-24	D	6:00	6:00	24,00	7 461,6	MC	MEC	Motor_basico	Grupo de engranajes	MOTOR	SE ENCONTRARON PARTICULAS DE FIERRO EN EL CARTER DE MOTOR
2015-06-24	D	6:00	6:00	24,00	7 461,6	MC	MEC	Motor_basico	Grupo de engranajes	MOTOR	SE ENCONTRARON PARTICULAS DE FIERRO EN EL CARTER DE MOTOR
2015-06-30	D	6:00	6:00	24,00	7 461,6	MC	MEC	Hidráulico	Mangueras Hidráulicas	LINEAS HIDRAULICAS	HORAS DE TRABAJO
2015-07-03	D	6:00	18:00	12,00	7 461,6	MC	MEC	Motor_basico	MOTOR	MOTOR	SE ENCONTRARON PARTICULAS DE FIERRO EN EL CARTER DE MOTOR
2015-07-03	N	18:00	6:00	12,00	7 461,6	MC	MEC	Motor_basico	MOTOR	MOTOR	SE ENCONTRARON PARTICULAS DE FIERRO EN EL CARTER DE MOTOR
2015-07-04	D	6:00	6:00	24,00	7 461,6	MC	MEC	Motor_basico	MOTOR	MOTOR	SE ENCONTRARON PARTICULAS DE FIERRO EN EL CARTER DE MOTOR
2015-07-05	D	6:00	6:00	24,00	7 461,6	MC	MEC	Motor_basico	MOTOR	MOTOR	SE ENCONTRARON PARTICULAS DE FIERRO EN EL CARTER DE MOTOR
2015-07-05	D	6:00	6:00	0,00	7 461,6	MC	MEC	Motor_basico	MOTOR	MOTOR	SE ENCONTRARON PARTICULAS DE FIERRO EN EL CARTER DE MOTOR
2015-07-07	N	22:40	2:00	3,33	7 467,3	MC	ELC	Hidráulico	Grupo de bombas	MOTORES DE GIRO	HORAS DE TRABAJO
2015-07-10	D	17:20	20:30	3,17	7 505,2	MC	MEC	Hidráulico	Grupo de tuberías	TUBERIA DE MOTOR	FATIGA

Continuación.....

Continuación.....

2015-07-14	N	20:30	21:30	1,00	7 582,7	MP	ELC	Electrico_arranque	Otros - Describe	CODIGO ACTIVO	RESTRICCION DE FILTRO DE COMBUSTIBLE
2015-07-14	D	6:40	9:30	2,83	7 794,0	MC	ELC	Electrico_arranque	Grupo de control electrónico	SENSOR DE PRESION	CIRCUITO ABIERTO EN EL CABLEADO
2015-07-28	D	11:00	12:30	1,50	7 810,0	MC	MEC	Cabina_operador	Asiento	Asiento	HORAS DE TRABAJO
2015-07-30	D	14:01	15:00	0,98	7 833,8	MC	MEC	Motor_basico	Otros - Describe	MOTOR	PERDIDA DE POTENCIA
2015-08-13	D	20:00	23:00	3,00	7 969,0	MP	LUB	Maquina_basica	Maquina General	MAQUINA	HORAS DE TRABAJO
2015-08-13	D	20:00	23:00	0,00	7 969,0	MP	LUB	Maquina_basica	Maquina General	MAQUINA	HORAS DE TRABAJO
2015-08-21	N	9:10	11:00	1,83	8 057,8	MC	ELC	Electrico_arranque	Grupo de Harness	HARNES DE LUCES	FALTA INSPECCION
2015-28-24	D	6:00	18:00	24,00	8 082,5	MC	MEC	Enfriamiento_motor	Radiador	ENFRIADOR	HORAS DE TRABAJO
2015-08-27	D	12:30	15:35	3,08	8 088,1	MC	MEC	Hidráulico	Grupo de banco de Válvulas	SELLOS BANCO VALVULA	HORAS DE SERVICIO
2015-08-29	D	17:30	18:00	0,50	8 106,5	MC	MEC	Enfriamiento_motor	Radiador	Radiador	HORAS DE TRABAJO
2015-09-04	N	4:01	5:00	0,98	8 148,0	MC	LUB	Enfriamiento_motor	Radiador	RADIADOR	RADIADOR EN MAL ESTADO
2015-09-05	N	3:40	4:00	0,33	8 172,9	MC	MEC	Herramientas	G.E.T.S.	ADAPTERS	FATIGA
2015-09-07	D	6:00	6:00	24,00	8 186,0	MC	MEC	Enfriamiento_motor	Radiador	RADIADOR	HORAS DE TRABAJO
2015-09-08	D	6:00	18:00	12,00	8 186,6	MC	MEC	Enfriamiento_motor	Radiador	RADIADOR	RADIADOR EN MAL ESTADO
2015-09-21	N	21:00	1:00	4,00	8 320,3	MC	ELC	Electrico_arranque	Alternador de Carga	ALTERNADOR	ALTERNADOR EN MAL ESTADO
2015-09-28	N	21:00	6:00	9,00	8 409,9	MC	MEC	Enfriamiento_motor	Radiador	RADIADOR	ROTURA
2015-09-28	N	21:00	6:00	0,00	8 409,9	MC	MEC	Enfriamiento_motor	Radiador	RADIADOR	ROTURA
2015-09-29	D	6:00	6:00	24,00	8 409,9	MP	MEC	Maquina_basico	Maquina General	RADIADOR	HORAS DE TRABAJO
2015-09-30	D	6:00	6:00	24,00	8 409,9	MP	MEC	Maquina_basico	Maquina General	RADIADOR	HORAS DE TRABAJO

Continuación.....

Continuación.....

2015-10-01	D	6:00	6:00	24,00	8 409,9	MP	MEC	Maquina_basico	Maquina general	RADIADOR	HORAS DE TRABAJO
2015-10-03	D	6:00	13:00	7,00	8 409,9	MC	MEC	Motor_basico	Radiador	RADIADOR	REPARACION INADECUADA
2015-10-09	D	8:15	8:45	0,50	8 487,6	MP	INS	Maquina_basico	Maquina general	MAQUINA	HORAS DE TRABAJO
2015-10-10	D	12:00	12:30	0,50	8 508,2	MC	MEC	Enfriamiento_motor	Enfriador de aceite	ENFRIADORES	ENFRIADORES OBSTRUIDOS
2015-10-17	D	18:00	18:30	0,50	8 560,3	MC	SOL	Herramientas	Cucharon	TOPE PIN MASTER	TIEMPO DE TRABAJO
2015-10-20	N	18:10	18:30	0,33	8 584,7	MC	ELC	Electrico_Arranque	Baterías y cables	BATERIAS	BATERIA BAJA
2015-10-21	N	2:00	3:00	1,00	8 599,0	MC	ELC	Electrico_Arranque	Baterías y cables	BATERIAS	BATERIAS DESCARGADAS
2015-10-24	D	14:40	15:00	0,33	8 634,0	MC	MEC	Electrico_Arranque	Grupo de sensores	SENSOR DE PRESION DE ACEITE MOTOR	SELLO DE SENSOR DE PRESION EN MAL ESTADO
2015-10-26	D	6:00	10:00	4,00	8 654,3	MC	MEC	Motor_basico	Grupo de poleas	RODAJES DE POLEAS	SISTEMA DE POLEAS DETERIORADOS
2015-10-26	N	2:30	2:50	0,33	8 654,3	MC	ELC	Electrico_arranque	Baterías y cables	BATERIAS	FALTA DE INSPECCION
2015-10-26	N	2:30	2:50	0,00	8 654,3	MC	ELC	Electrico_arranque	Baterías y cables	BATERIAS	FALTA DE INSPECCION
2015-11-04	N	1:30	6:00	4,50	8 800,5	MC	MEC	Hidráulico	Grupo de tuberías	TUBERIA DE CILINDRO DE BUCKET	FISURA EN TUBERIA DE CILINDRO DE BUCKET
2015-11-06	D	6:00	18:00	12,00	8 800,5	MC	MEC	Hidráulico	Grupo de tuberías	TUBERIA DE CILINDRO DE BUCKET	TUBERIA DE CILINDRO HIDRAULICO DAÑADO
2015-11-10	N	20:40	20:55	0,25	8 880,1	MC	ELC	Electrico_arranque	Grupo de iluminación	LUCES	TIEMPO DE TRABAJO
2015-11-20	N	1:45	2:30	0,75	8 899,0	MP	MEC	Maquina_basica	Maquina general	MAQUINA	HORAS DE TRABAJO
2015-11-22	D	13:00	6:00	17,00	8 899,0	MP	MEC	Maquina_basica	Maquina general	MAQUINA	HORAS DE TRABAJO
2015-12-10	D	9:30	12:00	2,00	9 200,2	MC	SOL	Herramientas	Cucharon	CUCHARON	DEGASTE DE MATERIAL POR TIEMPO DE TRABAJO
2015-12-11	D	7:00	6:00	24,00	9 200,2	MC	MEC	Hidráulico	Grupo de motores	MOTOR DE GIRO RH	DESGASTE DE SELLOS DE MOTOR DE GIRO
2015-12-12	D	6:00	6:00	12,00	9 200,2	MC	MEC	Hidráulico	Grupo de motores	MOTOR DE GIRO RH	DESGASTE DE SELLOS DE MOTOR DE GIRO

Figura Fuente: Elaboración propia

3.5.2. Indicadores de mantenimiento

Para el siguiente desarrollo de la investigación se presenta los indicadores de la excavadora 345CL.

• Indicadores de mantenimiento año 2014

Tabla 13

Registro de indicadores 2014

MES	Código Mina	Hr Prg Mina	Hr Motor	Disp. M%	Hr manto prog	Utiliz%	MTBF.	MTTR.
MAYO	345-06	600	443	88,7%	104,4	73,8%	147,57	18,75
JUNIO	345-06	620	502	96,2%	45,4	81,0%	251,00	10,04
JULIO	345-06	600	343	73,4%	8,3	57,1%	38,07	13,82
AGOSTO	345-06	620	525	99,9%	0,0	84,6%	262,25	0,21
SEPTIEMBRE	345-06	620	48	11,7%	21,7	7,7%	23,95	181,00
OCTUBRE	345-06	600	424	97,7%	14,3	70,6%	141,27	3,33
NOVIEMBRE	345-06	620	452	94,3%	13,5	72,9%	75,28	4,53
DICIEMBRE	345-06	720	413	94,6%	290,0	57,3%	58,99	3,35

Fuente: Elaboración propia

De los gráficos presentados, la baja disponibilidad se debe a los siguientes problemas.

- Julio: Presencia de Aceite motor en el refrigerante
- Septiembre: Presencia de Fuga de aceite en el Motor.

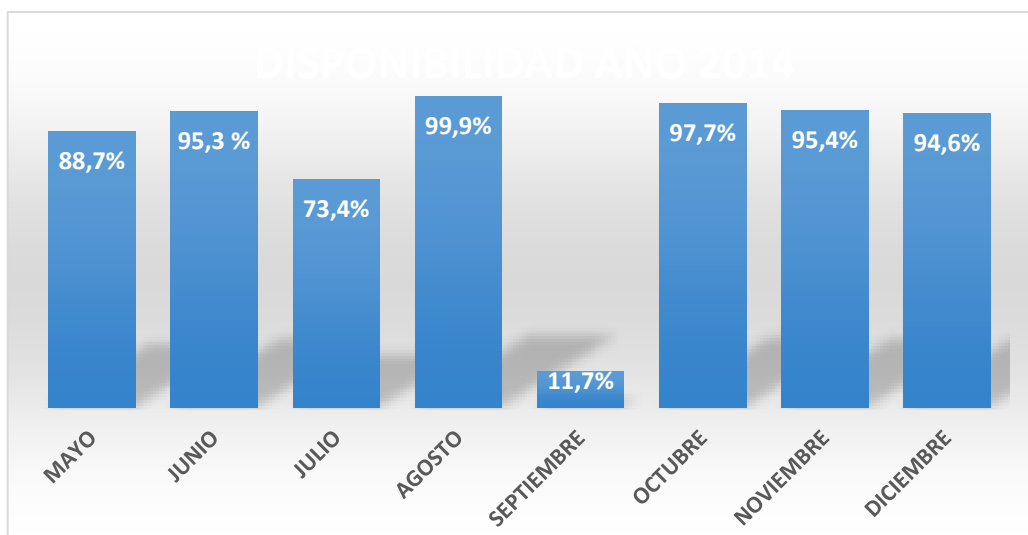


Figura 56. Disponibilidad año 2014

Fuente: Información de área de planeamiento Mur Wy Sac-Apumayo

• **Indicadores de mantenimiento año 2015.**

Tabla 14

Registro de indicadores

MES	Codigo Mina	Hr Prg Mina	Hr Motor	Disp M %	Hr manto prog	Utilz%	MTBF.	MTTR.
ENERO	345-06	500	253	100,0%	33,8	51%	252,50	0,00
FEBRERO	345-06	620	266	96,5%	160,9	43%	265,90	9,58
MARZO	345-06	560	358	97,9%	59,8	64%	71,54	1,54
ABRIL	345-06	620	421	90,2%	84,7	68%	46,76	5,07
MAYO	345-06	600	347	75,7%	159,3	58%	34,70	11,17
JUNIO	345-06	620	95	16,1%	497,6	15%	31,67	165,17
JULIO	345-06	600	313	78,1%	240,2	52%	62,54	17,50
AGOSTO	345-06	620	288	90,5%	132,7	46%	57,66	6,03
SEPTIEMBRE	345-06	620	299	88,5%	76,9	48%	49,86	6,48
OCTUBRE	345-06	600	273	78,7%	138,8	45%	45,48	12,31
NOVIEMBRE	345-06	620	457	92,9%	48,2	74%	65,24	5,00
DICIEMBRE	345-06	720	165	84,6%	59,5	23%	164,60	30,00

Fuente: Elaboración propia

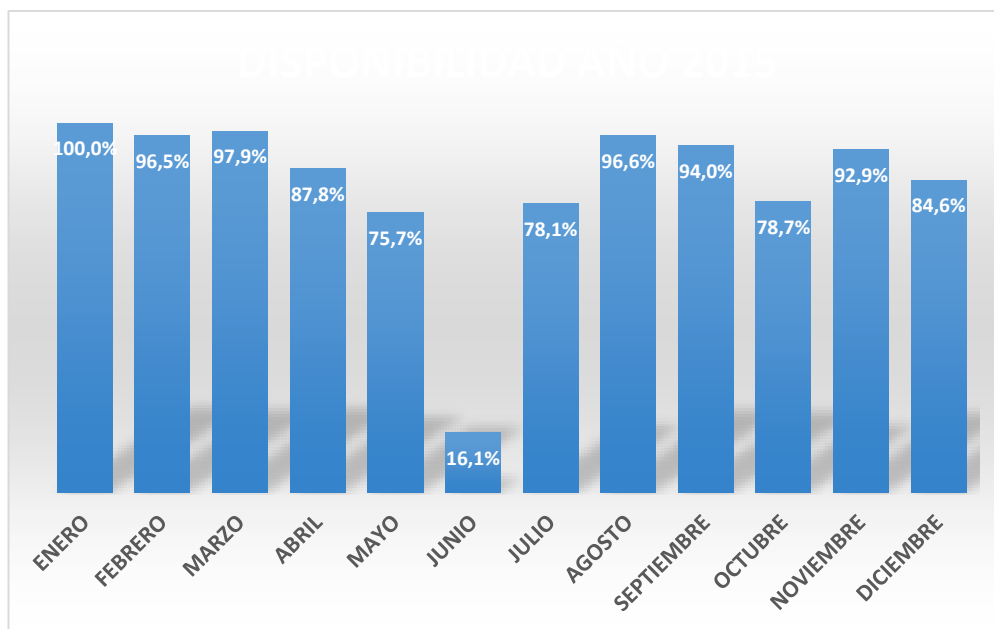


Figura 57. Disponibilidad año 2015

Fuente: Información de área de planeamiento Mur Wy Sac-Apumayo

Del siguiente gráfico de disponibilidad, las fallas más representativas son:

- Mayo: Fuga de refrigerante por la bomba de agua
- Junio: Motor de giro y problemas de motor
- Julio: Cilindro hidráulicos
- Octubre: Ruptura de radiador

3.5.3. Análisis de Pareto

Se realizó el análisis de Pareto para analizar entre las causas más importantes de las fallas de los sistemas que ocasionan paradas.

Según el gráfico líneas abajo se muestra el análisis de Pareto representado el sistema de motor básico con 712,48 h, hidráulico 223,49 h y enfriamiento 185,73 h representan 80 % de horas de inoperatividad y la erradicación de todas estas fallas representa el 20 % del esfuerzo.

Tabla 15
Pareto por sistemas

Sistema	Horas Inoperativo	%Acumulado
Motor básico	712,48	52,5 %
Hidráulico	223,49	69,0 %
Enfriamiento motor	185,73	82,7 %
Herramientas	105,25	90,4 %
Implementos	46	93,8 %
Eléctrico arranque	35,83	96,4 %
Combustible	25,17	98,3 %
Admisión y escape	20	99,8 %
Cabina de operador	2,39	100,0 %
Lubricación	0,67	100,0 %

Fuente: Información de área de planeamiento Mur Wy Sac-Apumayo

Como se puede ver en la Tabla 14 horas inoperativas por trabajos correctivos no programados, de los sistemas motor básico, hidráulico y enfriamiento de motor son los sistemas más críticos y el 80% de los problemas.

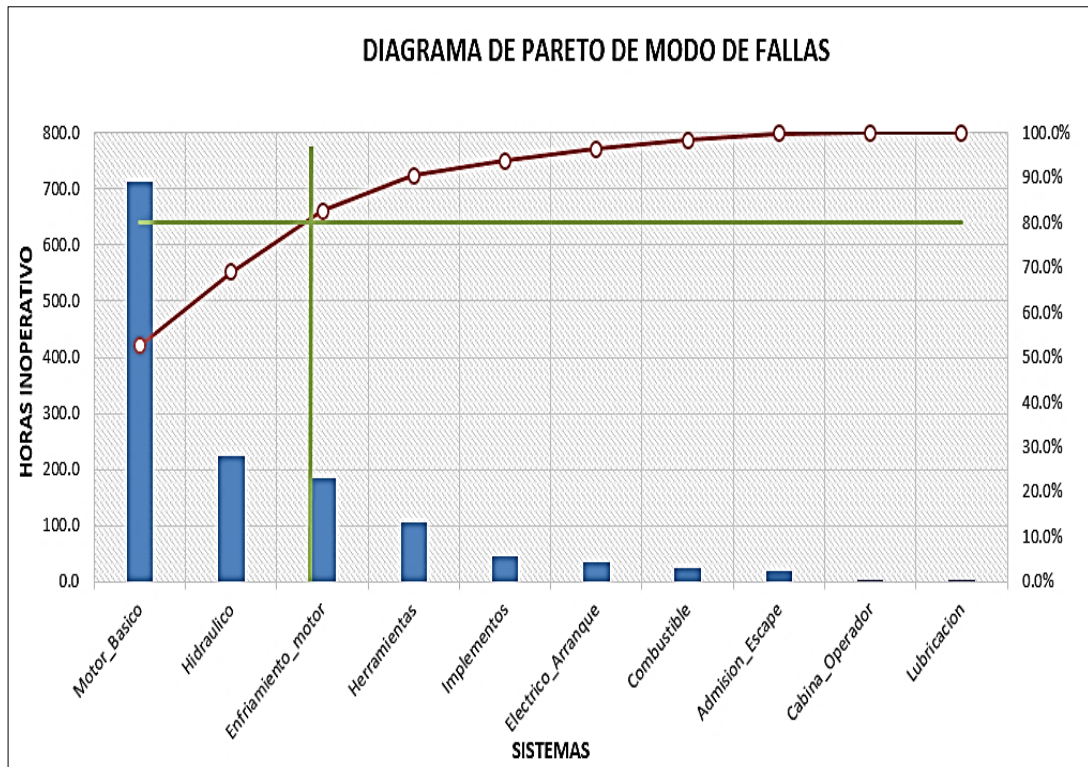


Figura 58. Pareto por sistemas

Fuente: Información de área de planeamiento Mur Wy Sac-Apumayo

3.5.4. Diagrama de Knife

Al realizar una evaluación más profunda de los modos de falla para determinar cuáles son las causas reales de la falla debido a que las fallas pueden ser por diferentes causas.

Lo interesante de el Diagrama Jack Knife es que puedes saber las prioridades que debe de tomar en mantenimiento de una manera gráfica.

El gráfico mostrado líneas abajo se desarrolló del historial de órdenes de trabajo (OT).

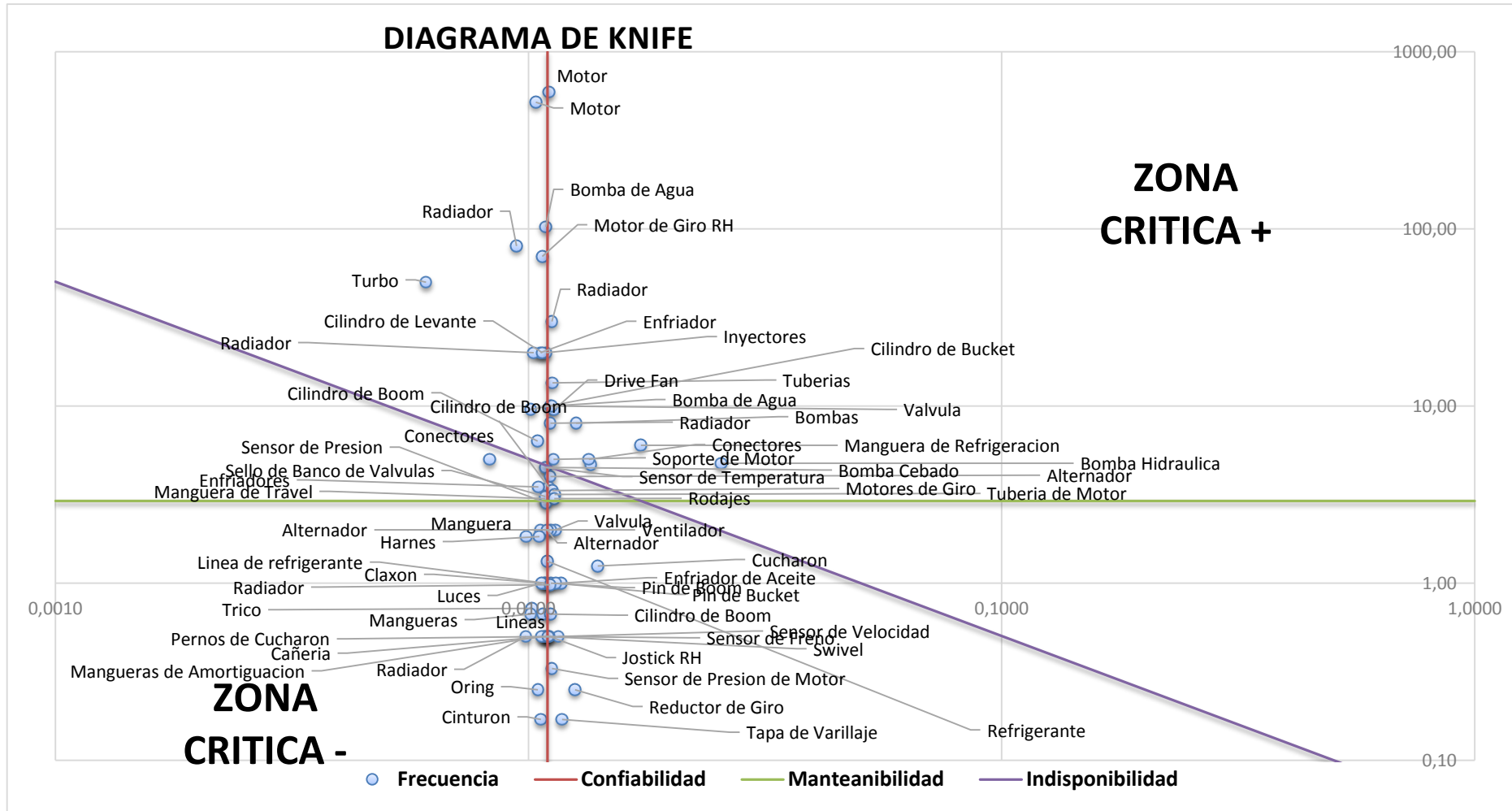


Figura 59. Diagrama de Knife

Fuente: Información de área de planeamiento Mur Wy Sac-Apumayo

De acuerdo al gráfico de knife se realizó un análisis de falla para ver la gran utilidad de este sistema que beneficiará al área de planeamiento.

De acuerdo al diagrama se va a realizar un análisis de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la confiabilidad de los siguientes componentes críticos.

- Motor
- Bomba de agua
- Motor de giro rh
- Enfriador de aceite motor
- Cilindro de de bucket
- Drive fan

Asimismo, se desarrolló los modos de fallas más frecuentes de la excavadora, para el desarrollo estratégico para la erradicación de las fallas por el área de planeamiento para la ejecución.

3.5.5. Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad


3.5.5.1. Análisis de modos de fallas (Hoja de información)

3.5.5.1.1. Motor

Según la información previa, el equipo se pasó por alto contenido de cobre.

Emitiéndose el siguiente informe por el área técnica y validación por la jefatura de mantenimiento, el cual indica que la falla fue dejar encendido el equipo causando degradación de aceite y afectando los anillos.

Informe de motor

		INFORME TÉCNICO DE FALLA DE COMPONENTES		Versión:	27/08/2014
				Código:	ITFC V:2
				Página:	1_2
Nº	Asunto: EVALUACION DEL MOTOR DIESEL POR PRESENCIA DE COBRE EN EL SISTEMA				
APU-90					
UNIDAD	APUMAYO	FECHA	27/08/2014		
TECNICO		SUPERVISOR			
DATOS DEL EQUIPO					
MARCA	CAT	HOROMETRO EQUIPO	4393.3 horas		
SERIE	DHP00447	Nº OT			
MODELO	345 CL	PROPIETARIO Y COD.	MUR - 06		
DATOS DEL COMPONENTE					
SISTEMA	MOTOR	CODIGO INTERNO - SERIE	MUR - -		
COMPONENTE	MOTOR BASICO	N/P			
ANTECEDENTES DEL COMPONENTE (Debe ser llenado por Planeamiento de Mantenimiento)					
FECHA DE INSTALACIÓN		ESTADO	<input type="checkbox"/> Nuevo	<input type="checkbox"/> Reparado	<input type="checkbox"/> Otro Eq.
HORAS INSTALACIÓN A EQ.		HRS TRABAJADAS EQ. ANT.			
EQ. PROCEDENCIA		HRS COMP. AL MOMENTO DE INSTALACION	-		
HRS. ACUMULADAS		OBSERVACIONES			
ESTADO INICIAL DEL EQ	<input type="checkbox"/> Stand By	<input type="checkbox"/> Inopera.	<input checked="" type="checkbox"/> Operati.	ESTADO FINAL DEL EQ	<input type="checkbox"/> Stand By
					<input checked="" type="checkbox"/> Inopera.
					<input type="checkbox"/> Operati.
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y/O FALLA:					
Presencia de cobre en el sistema del motor diesel en estado crítico (74 ppm)					
Rellenos de aceite de motor a razon de 01 gal por 10 horas.					
DESCRIPCIÓN DEL MODO DE FALLA / QUÉ OCASIONÓ LA FALLA? : (Según criterio del técnico)					
Al reducir la carga del motor (baja en vcaio) por un tiempo prolongado aumenta la degradación del aceite, enfriándose demasiado el motor					
formandose condensacion de este afectando los anillos de piston, camisas de cilindro, guidores de valvulas					
¿QUÉ PRUEBAS DE EVALUACIÓN Y DIAGNOSTICO REALIZÓ?					
Se realizo las siguientes trabajos:					
.Se procedio a situar las valvulas del motor a punto					
.Se dereno aceite de motor y refrigerante					
.Se desmonto conjunto de poleas del alternador					
.Se desmonto Damper					
.Se desmonto tren de balancines y cover					
.Se desmonto culata					
.Se realizo inspeccion de componentes: valvulas y camisas de cilindros.					
OBSERVACIONES :					
.En primera instancia la evaluacion se avoco a la presencia de cobre en el motor diesel, conforme se procedia a desmontar los componentes antes mencionados se hallaron anomalías tanto en la culata y camisas de cilindros tal como se muestra en las imágenes líneas abajo					
.Se recomienda el Reemplazo / Reparacion del motor diesel por las anomalías encontradas en las valvulas de la culata originando el consumo prematuro de aceite de motor, y añadiendo a esto el estado en que se encuentran las camisas de cilindros .					
.Cabe resaltar los intervalos de relleno de aceite de motor que se ha venido realizando desde el mes de Junio a la fecha con un promedio de relleno de 01 galon de aceite 15W40 por 10 horas trabajadas del equipo.					

Continuación.....

Continuación.....

	INFORME TÉCNICO DE FALLA DE COMPONENTES	Versión:	27/08/2014
		Código:	ITFC V:2
		Página:	2_2
Fotos:			
	PRESENCIA DE ACEITE EN LOS VASTAGOS DE VALVULAS		
			ÁREAS BRILLANTES EN EL INTERIOR DE LA CAMISA

TÉCNICO REPORTANTE

SUPERVISOR

JEFE DE MANTENIMIENTO

ADMINISTRADOR MUR WY

Figura 60. Informe de falla de motor diésel

Fuente: Información de área de planeamiento Mur Wy Sac-Apumayo

- Consumo de aceite promedio de 1,65 galón diario del 19 de junio

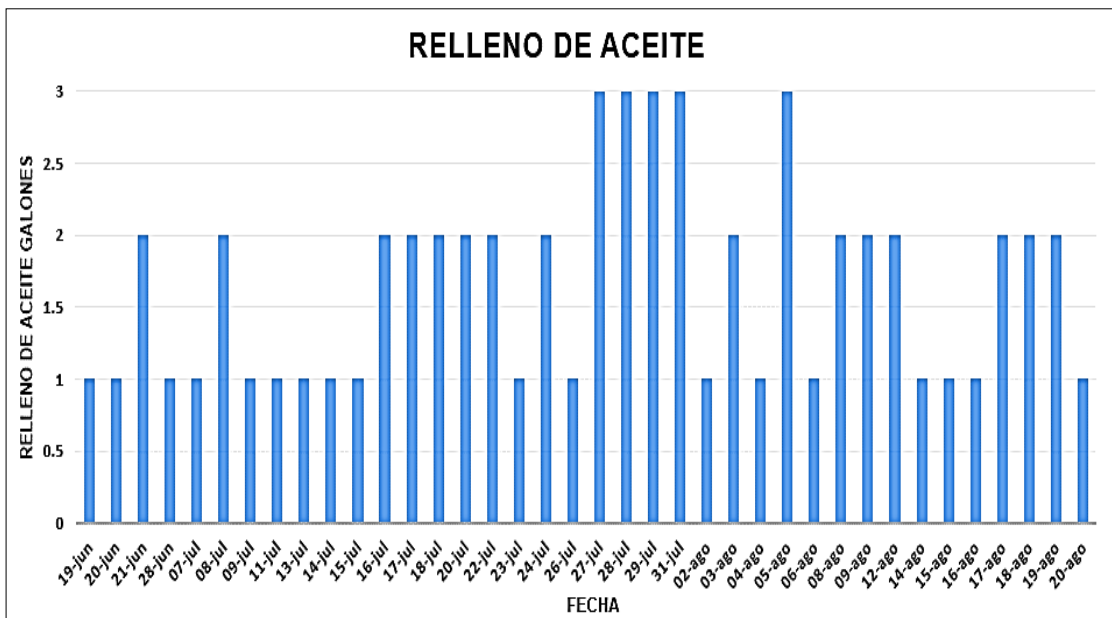


Figura 61. Relleno de aceite

Fuente: Información de área de planeamiento Mur Wy Sac-Apumayo.

- Según el análisis de aceite muestra que hubo alto contenido de hierro y bajo T.N.B desde el mes de marzo de 2014 y alto contenido de hierro (Ver anexo 06).

Se realizó un análisis de causas y raíz (RCA) debido a que el informe no presenta la confiabilidad.

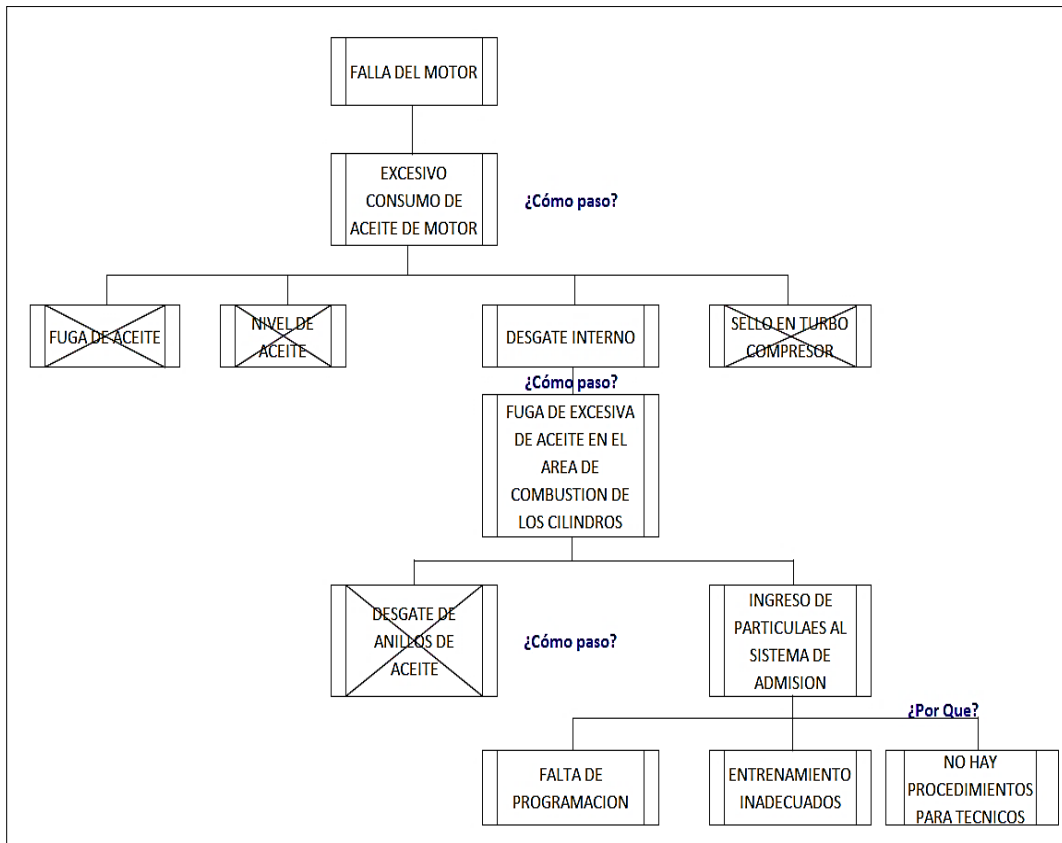


Figura 62. Análisis de falla y causa de raíz (ACR)

Fuente: Información de área de planeamiento Mur Wy Sac-Apumayo

¿Qué pasó por que tuvo que llegar a estos desgastes prematuros del motor? ocasionando grandes pérdidas de costo de reparación del motor y las 538 horas de inoperativa, se tuvo 6 meses de alerta para prevenir la falla catastrófica.

Teniendo las siguientes conclusiones:

- Las ralladuras producidas en las camisas se deben al ingreso de partículas por el sistema de admisión.

- El relleno de aceite se debe al paso del aceite a la cámara de combustión debido al desgaste.
- El Bajo TNB del aceite se debe al paso del azufre (producido en la cámara de combustión) por las camisas que presentan ralladuras.

N°01	Sistema: Motor		Realizado: Gilmer Patricio Ancota	Fecha: 2017-06-20
	Sub Sistema: Motor		Revisado: Ing. Víctor Malpartida A.	Fecha: 2017-06-22
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)	
Transformar la energía química en energía mecánica	Excesivo consumo de aceite motor diésel	Desgaste de anillos	1	Falla prematura del motor, alto costo de reparación
		Ingreso de partículas al sistema de admisión	2	

Figura 63. Análisis de falla del motor Mur Wy Sac - Apumayo

Fuente: Información de área de planeamiento Mur Wy Sac-Apumayo

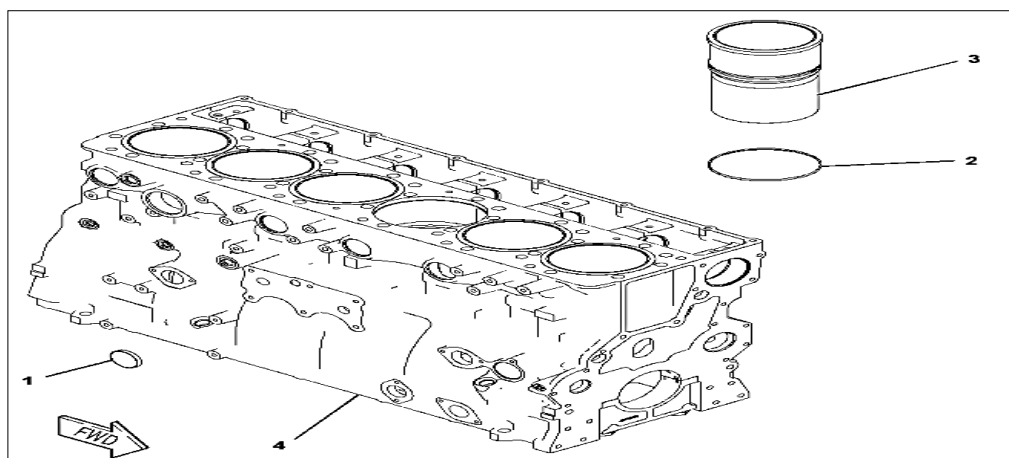


Figura 64. Bloque de motor

Fuente: Sis cat (Caterpillar)

Tabla 16

Partes del motor

Ítem	Nombre
1	Tapón
2	Sello de camisa
3	Camisa de bloque
4	Conjunto de bloque

Fuente: Sis cat (Caterpillar)

3.5.5.1.2 Cilindro hidráulico de Bucket

N°01	Sistema: Hidráulico		Realizado: Gilmer Patricio Ancota	Fecha: 2017-06-20
	Sub Sistema: Cilindro hidráulico de bucket		Revisado: Ing. Víctor Malpartida A.	Fecha: 2017-06-22
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
Realizar movimiento de carguío con el cucharón para la flota de volquetes	1 Lentitud del cilindro hidráulico de cucharón	Desgaste de sellos internos Grafico 01	1	Baja la producción de tonelaje x hora y la disminución de la flota de volquetes
		A Sellos pegados de la válvula de la válvula de control de bucket	2	

Figura 65. Cilindro hidráulica de bucket

Fuente: Información de área de planeamiento Mur Wy Sac-Apumayo

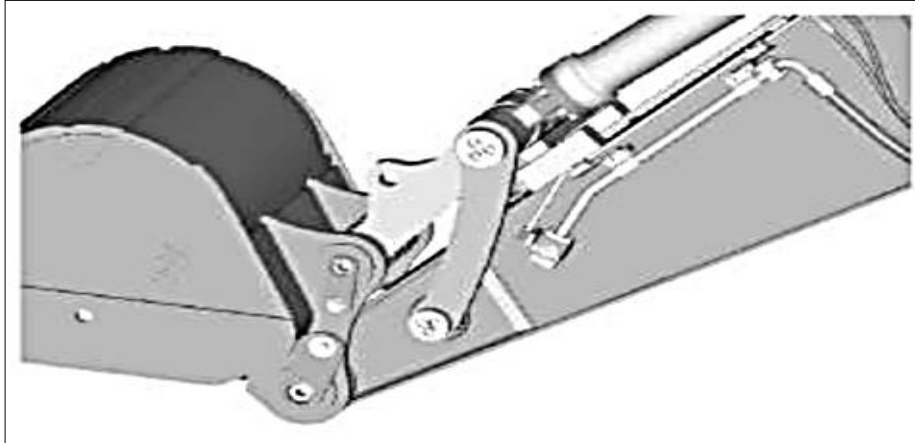


Figura 66. Cilindro de bucket

Fuente: Sis cat (Caterpillar)

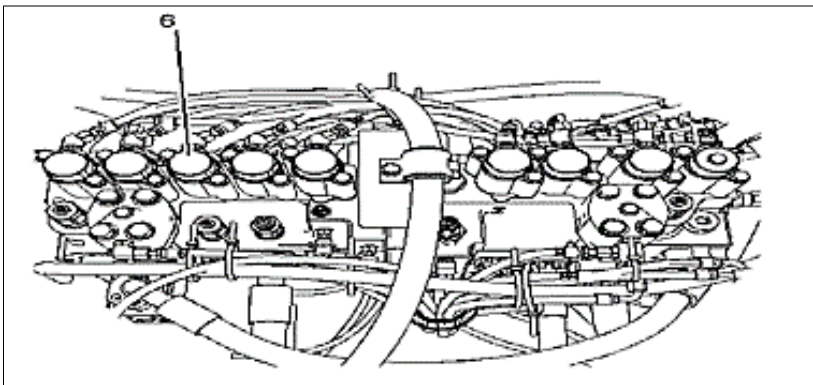


Figura 67. Válvula de Cilindro de bucket

Fuente: Sis cat (Caterpillar)

Tabla 17

Parte del cilindro de bucket

Item	Nombre
1	Kit de sellos
6	Válvula de cilindro de bucket

Fuente: Información de área de planeamiento Mur Wy Sac-Apumayo

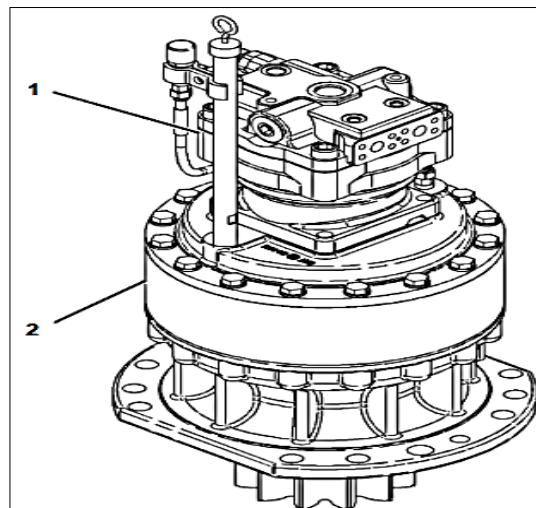


Figura 68. Motor de giro

Fuente: Sis cat (Caterpillar)

Tabla 18

Motor de giro

Item	Nombre
1	Motor de giro
2	Reductor de giro

Fuente: Información de área de planeamiento Mur Wy Sac Apumayo

3.5.5.1.3 Grupo de mando de ventilador

N°03	Sistema: Motor básico		Realizado: Gilmer Patricio Ancota	Fecha: 2017-06-20
	Sub Sistema: Grupo de mando de ventilación		Revisado: Ing. Víctor Malpartida A.	Fecha: 2017-06-22
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
Trasmitir el movimiento giratorio del motor hidráulico al ventilador	Juego excesivo en rodamiento del mando de giro	Desgaste de sellos y rodamientos por horas de trabajo	1	Produce zumbido y/o sonido

Figura 69. Analisis de falla grupo de mando de ventilación Mur Wy Sac – Apumayo.
Fuente: Información de área de planeamiento Mur Wy Sac-Apumayo

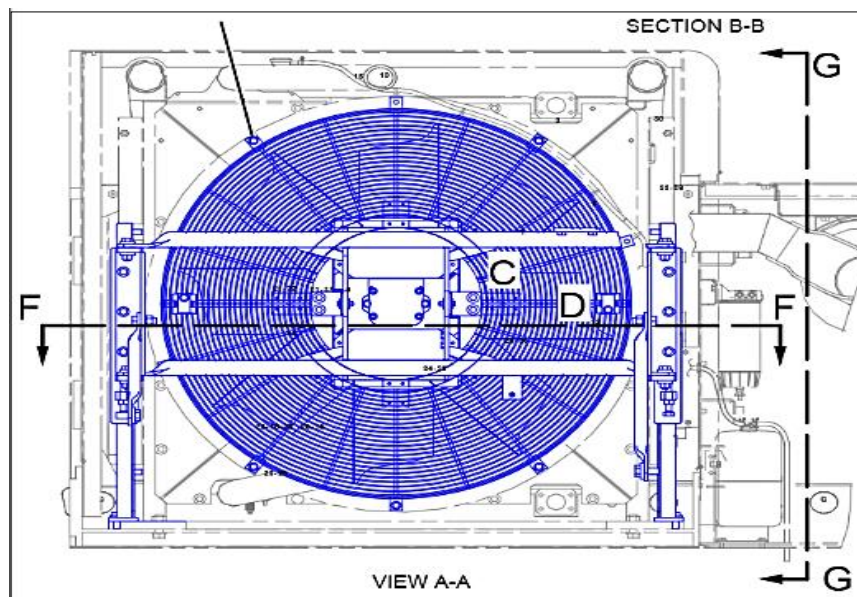


Figura 70. Motor básico
Fuente: Sis cat (Caterpillar)

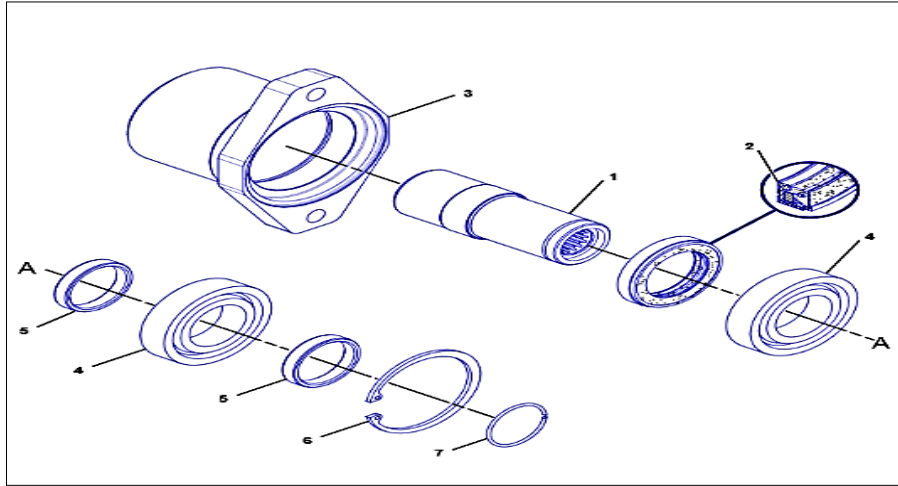


Figura 71. Grupo de sistema de mando de ventilador

Fuente: Sis cat (Caterpillar)

Tabla 19

Grupo de mando de ventilación

Item	Nombre
1	Eje
2	Sello de labio
3	Caja
4	Cojinete de bolas
5	Espaciadores
6	Anillo de reten
7	anillo

Fuente: Sis cat (Caterpillar)

3.5.5.1.4 Bomba de agua

N°03	Sistema: Enfriamiento		Realizado: Gilmer Patricio Ancota	Fecha: 2017-06-20
	Sub Sistema: Bomba de agua		Revisado: Ing. Víctor Malpartida A.	Fecha: 2017-06-22
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
Regula la temperatura con la cual el motor debe trabajar. La bomba de agua es responsable de hacer circular el líquido de refrigerante.	1 Recalentamiento de motor	A Cojinetes agarrotados	1	Afecta directamente la operación y la vida útil de servicio de motor

Figura 72. Analisis de falla de bomba de agua

Fuente: Información de área de planeamiento Mur Wy Sac-Apumayo

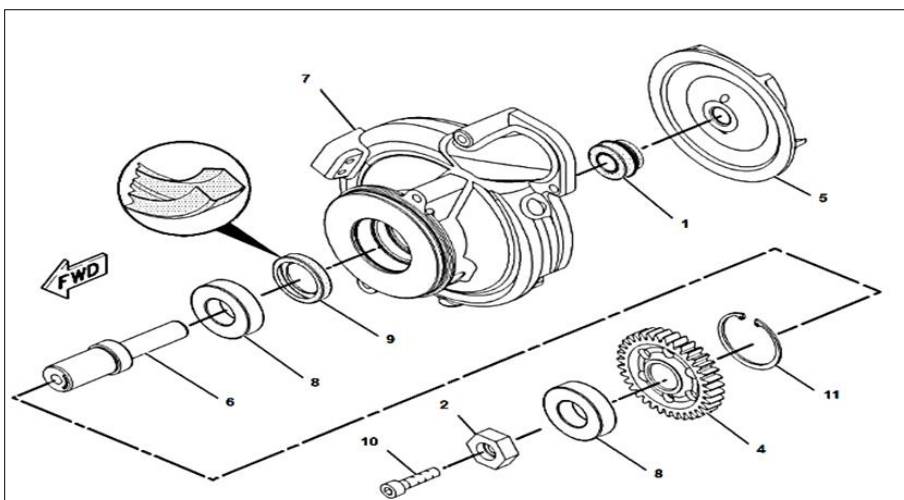


Figura 73. Partes de la bomba de agua

Fuente: Sis cat (Caterpillar)

Tabla 20

Partes de una bomba de agua

Ítem	Nombre
1	Grupo de sellos
2	Arandela
4	Engranaje
5	Impelente
6	Eje de bomba
7	Caja de bomba
8	Cojinete de bolas
9	Sello de labio
10	Perno
11	Anillo de retención

Fuente: Elaboración propia

3.5.5.1.5. Grupo de enfriador de aceite

N°03	Sistema: Lubricación		Realizado: Gilmer Patricio Ancota	Fecha: 2017-06-20
	Sub Sistema: Enfriador de aceite motor		Revisado: Ing. Víctor Malpartida A.	Fecha: 2017-06-22
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
Mantener a temperatura de trabajo el aceite de motor.	1 Perdida de enfriamiento de motor	A Rotura de tubos de cobre	1	Flujo de refrigerante contaminado con aceite de motor

Figura 74. Analisis de falla de enfriador de aceite de motor Mur Wy Sac - Apumayo

Fuente: Información de área de planeamiento Mur Wy Sac-Apumayo

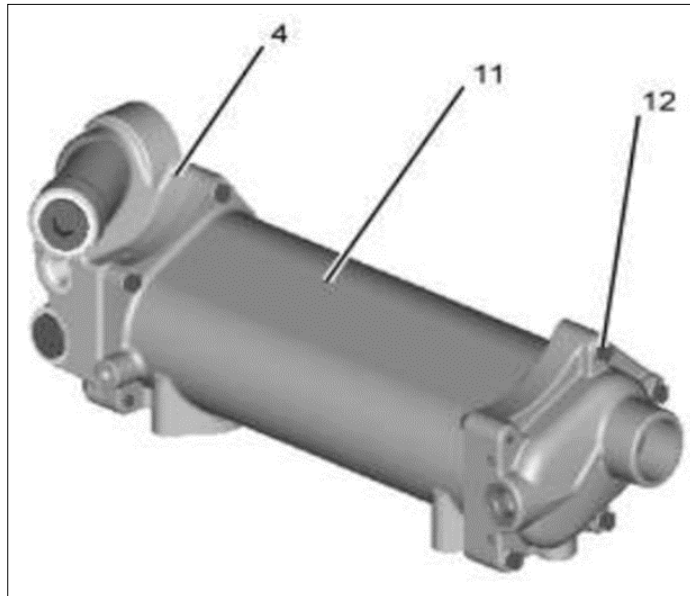


Figura 75. Sistema de lubricación, (enfriador de aceite)
 Fuente: Sis cat (Caterpillar)

Tabla 21

Partes de enfriador de aceite de motor

Ítem	Nombre
4	Salida del fluido
11	Cuerpo
12	Ingreso de fluido

Fuente: Sis cat

3.5.5.2. Hoja de decisión y análisis de estadísticos

- **Motor**

PU De la Excavadora 110\$

PU del volquete 50\$

Por cada hora de excavadora parada se tiene 7 volquetes parados, por eso la importancia del equipo carguio

N°01			Sistema: Motor						Realizó: Gilmer Patricio Ancota			Fecha:2017-06-20				
			Componente: Motor						Revisó: Ing. Víctor Malpartida Arrieta			Fecha: 2017-06-24				
Referencia de información			Evaluación de consecuencias				H1 S1 O1 M1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas "a falta de"			TAREAS PROPUESTAS	FRECUENCIA	A REALIZAR POR	COSTO
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	H6				
1	A	2	S	N	N	S	S						Inspección de posibles fugas y/o ingreso de partículas al sistema de admisión (Añadir al check list de equipo)	125	Técnico	Horas Inoperativas (517,2 h) Costo =110(517,2) +50(517,2) (8) Pérdida (517,2 horas) =237 890 \$

Figura 76. Hoja de decisión de motor

Fuente: Elaboración propia

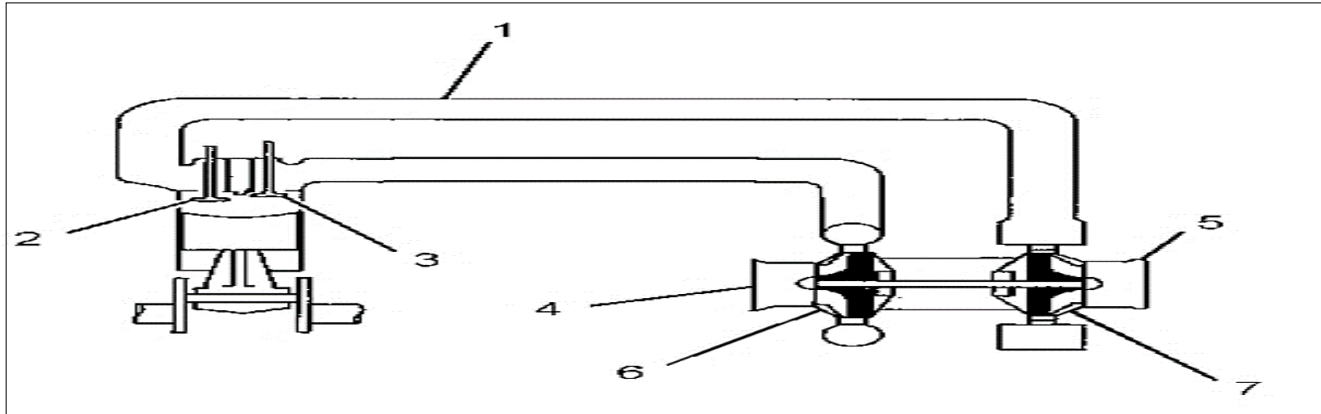


Figura 77. Sistema de Admisión

Fuente: Sis cat (Caterpillar)

Ítem :Nombre

- 1 :Línea de admisión
- 2 :Válvula de admisión
- 3 :Válvula de escape
- 4 :Escape
- 5 :Admisión

Se realiza las inspecciones cada 125 horas por el mecánico que de ser registrado en el Check list de preliminar antes de PM.

- Cilindro hidráulico de bucket

N°01			Sistema: Hidráulico						Realizo: Gilmer Patricio Ancota			Fecha: 2017-06-20				
			Componente: Cilindro hidráulico Bucket						Reviso: Ing. Víctor Malpartida Arrieta			Fecha: 2017-06-24				
Referencia de información			Evaluación de consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas "a" falta de"			TAREAS PROPUESTAS	FRECUENCIA	A REALIZAR POR	COSTO
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	H6				
1	A	1	S	N	N	S	N	S				Realizar el reemplazo de sellos	6 000	Técnico	Pérdida (20,33 hrs) =110(20,33) + 50(20,33) (7)	
1	A	2	S	N	N	S	S					Realizar el desmontaje de la válvula para verificar las partes internas y los sellos	2 000	Técnico	Pérdida (20,33 hrs) =9 351,8 \$	

Figura 78. hoja de decisión de cilindro hidráulico de bucket
Fuente: Elaboración propia

							Weibull 2p	
FECHA	TURNO	H INOP	DESCRIPCIÓN DE TRABAJO	HOROMETRO	MR=F(t)	R(t)	X=int	Y=lnln(1/R(t))
2015-02-15	Día	2,33	Reemplazo de cilindro (Enviado de lima) por fuga	6 216,6	0,205	0,794	8,734 1	-1,467
2015-06-15	Día	10,00	Reemplazo de cilindro de bucket de otra excavadora en stand by	7 461,6	0,5	0,5	8,917	-0,366
2015-07-05	Día	10,00	Evaluación de aceite (resume de cilindro de bucket)	8 805,5	0,794	0,205	8,932	0,457

Figura 79. Elaboración propia Aplicación de Weibull a cilindro de bucket

Fuente: Elaboración propia

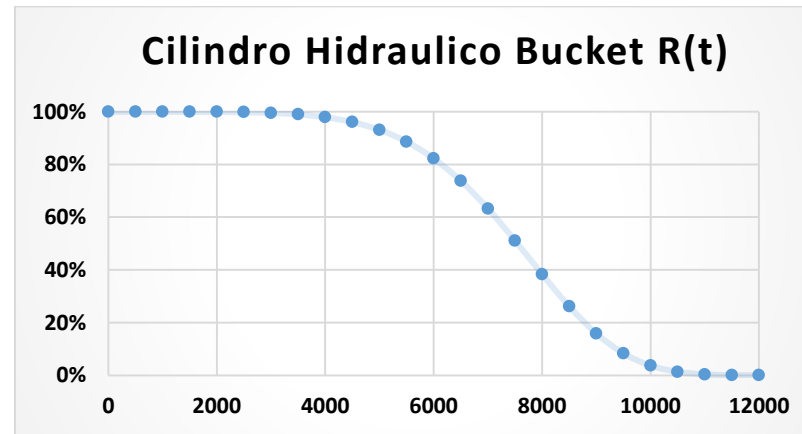


Figura 80. Confiabilidad de R (t) de cilindro hidráulico de bucket

Fuente: Elaboración propia

Debido a $\beta = 5,53$ (realizar mantenimiento predictivo (toma de presiones cada PM04-2 000 hrs) el reemplazo de sellos a las 6 000 h, $R(6\ 000) = 80\%$ de Confiabilidad.

B: 5,53

η : 8 060,35

γ : 0

• **MOTOR HIDRÁULICO DE GIRO RH**

N°02			Sistema: Hidráulico						Realizo: Gilmer Patricio Ancota			Fecha: 20-06-17											
			Componente: Motor de giro RH						Reviso: Ing. Víctor Malpartida Arrieta			Fecha: 24-06-17											
Referencia de Información			Evaluación de consecuencias				H1	S1	O1	N1	H2	S2	O2	N2	H3	S3	O3	N3	Tareas "a falta de"	TAREAS PROPUESTAS	FRECUENCIA	A REALIZAR POR	COSTOS
F	FF	F M	H	S	E	O												H4	H5	H6			
1	A	1	S	N	N	S	N	S													4 000	Técnico	Pérdida (30 hrs)=110(20)+50(7)(8) Pérdida (30 hrs)=13 800 \$

Figura 81. Hoja de decisión de motor hidráulico de giro RH

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32

Aplicación de weibull a motor de giro rh

N°	FECHA	HOROMETRO ENTREGA	Weibull 2p			
			MR=F(t)	R(t)	x=int	Y=lnln(1/R(t))
1	2017-07-03	3 461,60	0,205 882	0,794 118	8,149 486	-1,467 402
2	2015-06-08	7 461,60	0,500 000	0,500 000	8,917 525	-0,366 513
3	2015-12-11	9 200,20	0,794 118	0,205 882	9,126 981	0,457 710

Fuente: Elaboración propia

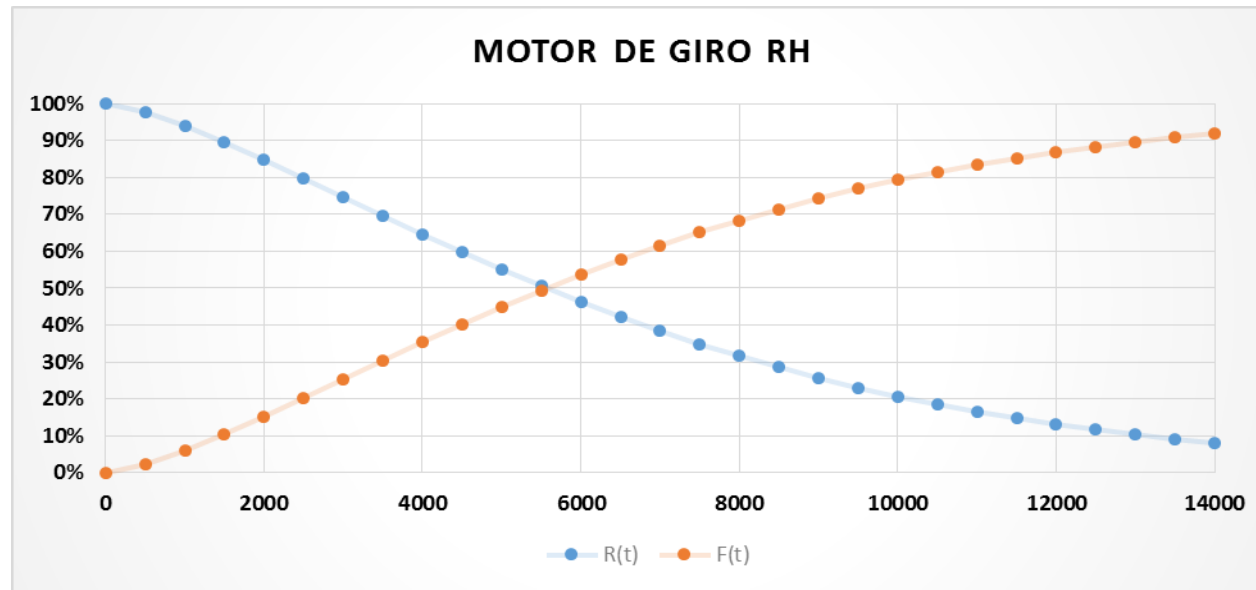


Figura 82. Motor de giro rh

Fuente: Elaboración propia

β : 1,399

η : 7 226,89

γ : 0,000

Realizar un mantenimiento preventivo debido a $\beta = 1,399$ (Inspecciones), se realizó el reemplazo a las 4000 horas según el análisis de gráfico $R(t)$, $F(t)$, $R(4\ 000) = 65\%$ de confiabilidad.

- Mando Fan

Referencia de Información			Evaluación de consecuencias				Tareas "a falta de"			TAREAS PROPUESTAS	FRECUENCIA	A REALIZAR POR	COSTO
N°03			Sistema: de Motor básico				Realizó: Gilmer Patricio Ancota			Fecha:2017-06-20			
			Componente: Grupo de mando de ventilador				Revisó: Ing. Víctor Malpartida Arrieta			Fecha: 2017-06-24			
1	A	1	S	N	N	S	N	S		Reemplazo de Rodamientos	4000	Técnico	Pérdida (12,5 hrs) =110(12,5) + 50(12,5) (7) Pérdida (12,5 hrs) =5 750 \$
1	A	2	S	N	N	S	S			Nota: El espacio libre nominal entre la cubierta protectora y el conjunto de aspas es 10,0 mm (0,39 pulg). (1) Par de los ocho pernos... 30 ± 7 N·m (266 ± 62 lb-pulg) Nota: Aplique Loctite 271 rojo a las roscas de los pernos.	1000	Técnico	

Figura 83. Hoja de decisión de mando fan
Fuente: Elaboración propia

Para este caso se colocó el reemplazo de los rodajes a las 4 000 horas según la consulta con el área de planificación y la parte de la técnica. El ajuste de los pernos cada de 1 000 h (PM 03).

- **Bomba de agua**

Referencia de Información			Evaluación de consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas falta de"			TAREAS PROPUESTAS	FRECUENCIA	A REALIZAR POR	COSTO y BENEFICIO
										H4	H5	H6				
F	FF	FM	H	S	E	O										
N°04			SISTEMA: Sistema de enfriamiento				REALIZÓ: Gilmer Patricio Ancota.			Fecha:2017-06-20						
			COMPONENTE: Bomba de agua				REVISÓ: Ing. Víctor Malpartida Arrieta.			Fecha: 2017-06-24						
1	A	1	S	N	N	S	S					Saque el tapón del orificio (1). Instale el Manómetro de Aire 6V-7775 en el orificio (1). Arranque el motor. Opere el motor hasta que el refrigerante esté a la temperatura de operación. Observe la presión de la bomba de agua. La presión de la bomba de agua debe ser de 100 a 125 Kpa (15 a 18 lb/pulg2)	1000	Técnico	Pérdida (109,5 hrs) =110(115) + 50(115) (7) Pérdida (109,5 hrs) =50 370 \$ Ahorro de 50 370 \$, Si se reemplaza los rodamientos a las 4 000, COSTO DE LOS RODAMIENTOS 950\$	
1	A	2	S	N	N	S	N	S				Realizar el reemplazo de los cojinetes de la bomba de agua. El rodete, el eje y la cubierta pueden volverse a utilizar, a menos que la	4000	Técnico		

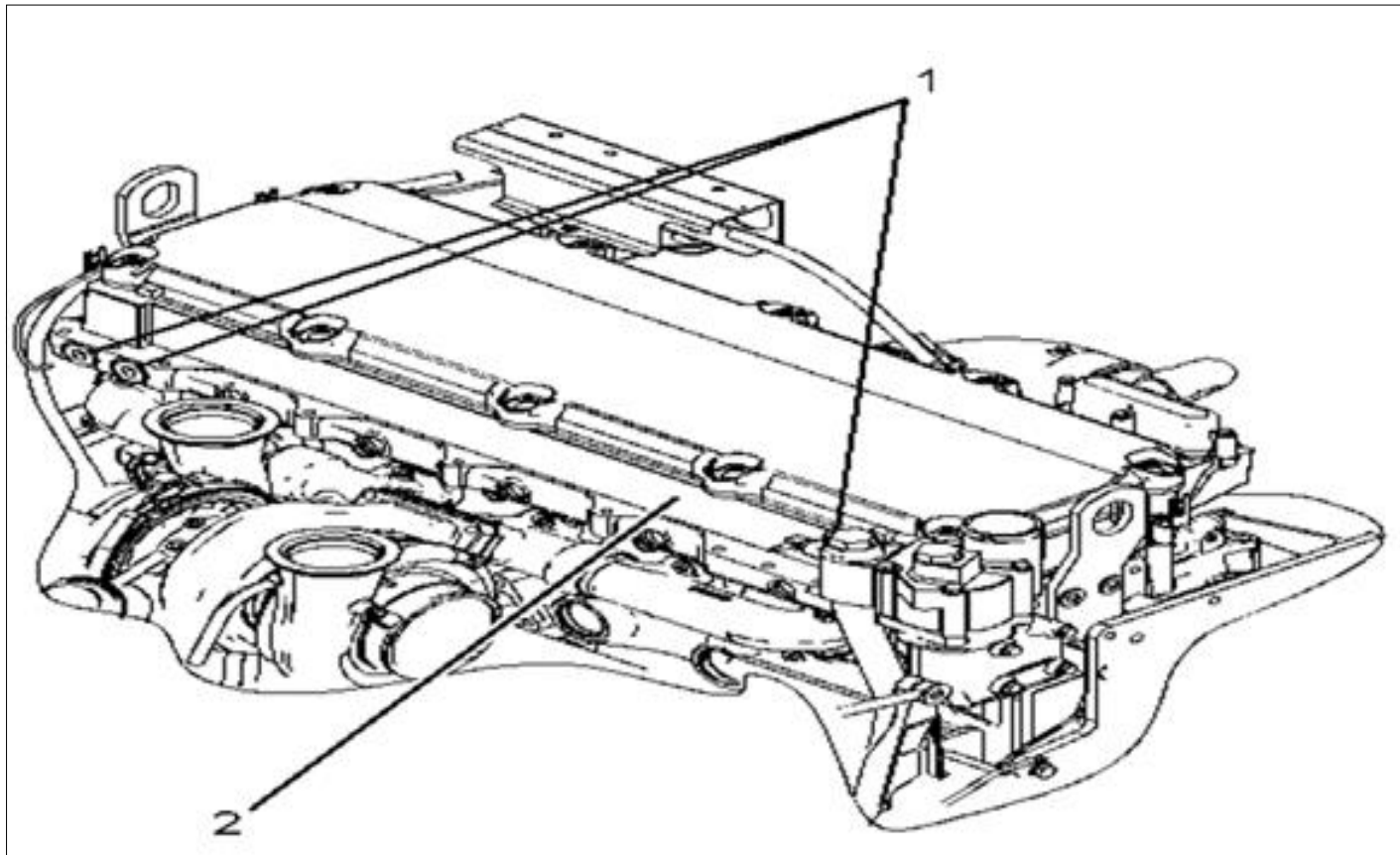


Figura 85. Punto de toma de presión

Fuente: Sis cat

Tabla 23

Análisis de weibull de bomba de agua

N°	FECHA	DESCRIPCIÓN DE TRABAJO	HORAS INOP	HOROMETR O ENTREGA	Weibull 2p			
					MR=F(t)	R(t)	x=int	Y=lnln(1/R(t))
1	2014-05-23	Corrección de fuga	2,0	2 986,00	0,205	0,794	8,002	-1,467
2	2017-08-27	Evaluación por fuga de aceite y consumo de aceite	5,0	4 361,60	0,500	0,500	8,381	-0,367
3	2015-05-05	Reemplazo de bomba de agua (Equipo Inoperativo)	102,0	7 160,00	0,794	0,206	8,876	0,458

Fuente: Elaboración propia

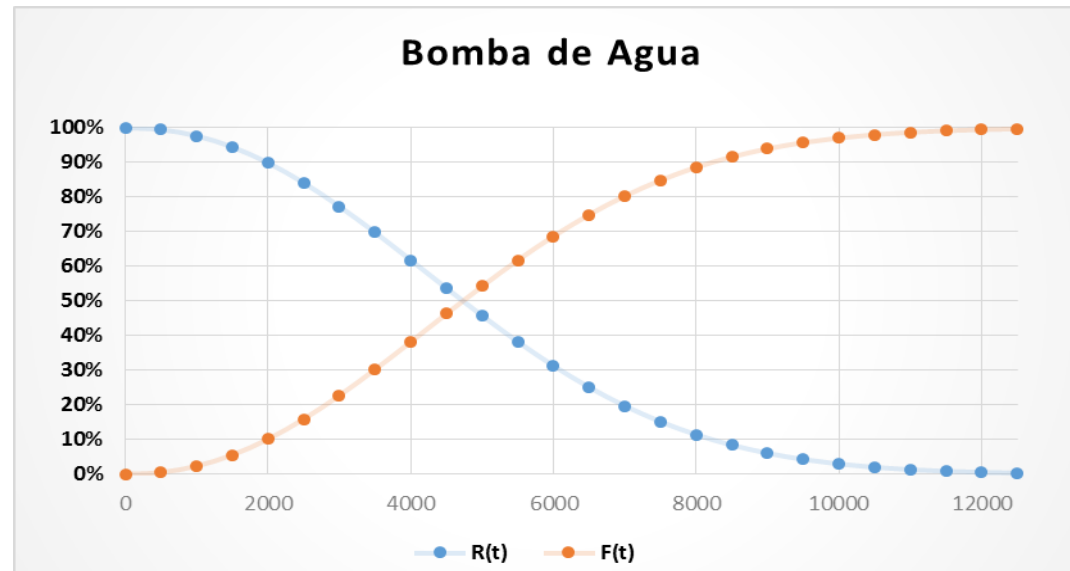


Figura 86. Weibull de bomba de agua

Fuente: Sis Cat

Realizar un mantenimiento predictivo (toma de presiones) debido a que $\beta=2,174$ el reemplazo de los rodamientos a las 4 000 h, $R(4\ 000)=38,2$ confiabilidad, es reacondicionamiento.

β : 2,174

η : 5 599,916

γ : 0,000

- **Enfriador de aceite motor**

N°06		SISTEMA: Sistema de lubricación						REALIZÓ: Gilmer Patricio Ancota			Fecha:2017-06-20					
		COMPONENTE: Enfriador de aceite de motor						REVISÓ: Ing. Víctor Malpartida Arrieta			Fecha: 2017-06-24					
Referencia de Información	Evaluación de Consecuencias						O1	O2	O3	Tareas "a" falta de"			FRECUENCIA	A REALIZAR POR	COSTO	
	F	F	F	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5				H6
1	A	1	S	N	N	S	S							2 000	Técnico	Parados Pérdida (64 hrs)=110(64)+ 50(64)(7) Pérdida (64)=32 640 \$

1. Agitar los enfriadores de aceite en el tanque de solución cáustica 2 (Agitar) horas 2. Enjuagar el enfriador de aceite una segunda vez con una solución cáustica limpia eliminará el aluminio adicional o desechos aflojados durante la etapa de agitación. Durante 30 minutos 3. Enjuague el enfriador de aceite con agua para eliminar cualquier exceso de solución cáustica. Enjuague el agua a través del refrigerador de aceite del interior durante 15 minutos con el enfriador de aceite vertical. (utilizas inhibidor de la corrosión) Caterpillar

															recomienda usar solo disolventes Sanisol			
1	A	1	S	N	N	S	N	N	S						Reemplazo de enfriador de aceite motor	6 000	Técnico	

Figura 87. Hoja de decisión de enfriador de aceite
Fuente: Elaboración propia

Tabla 24

Hoja de decisión de enfriador de aceite de motor

N°	FECHA	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	HORAS INO	HOROMETRO ENTREGA	Weibull 2p			
					MR=F(t)	R(t)	x=int	Y=lnln(1/R(t))
1	2014-07-01	Reemplazo de un enfriador de aceite (Equipo Inoperativo)	60,0	3 504,90	0,2059	0,794	8,162	-1,467
2	2014-10-30	Limpieza por recalentamiento de motor	3,5	4 361,60	0,5000	0,500	8,381	-0,367
3	2015-10-10	Limpieza por recalentamiento de motor	0,5	7 160,00	0,7942	0,206	8,876	0,458

Fuente: Elaboración propia

B=2.519, Realizar un mantenimiento predictivo (análisis de aceite), se realizó el reemplazo del enfriador de aceite a 6 000 h R (6 000) =40 % de confiabilidad, pero haciendo la limpieza a las 2 000 h.

β: 2,519

η: 5 739,12

γ: 0,000

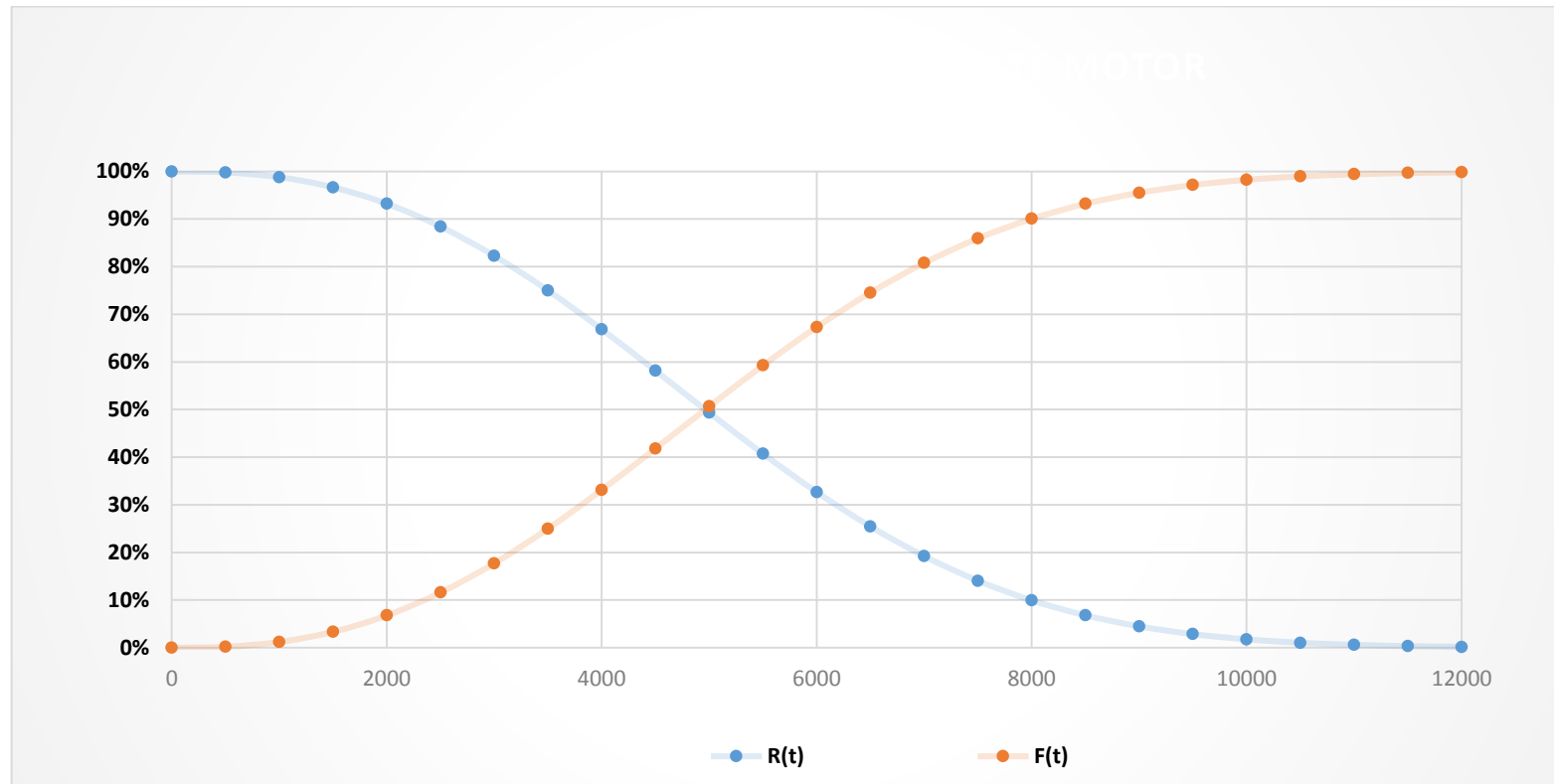


Figura 88. $R(t)$ y $F(t)$ Enfriador de Aceite Motor

Fuente: Elaboración propia

3.5.6. Costo y beneficio de la aplicación de RCM

El aumento de costos de reparaciones y/o reemplazo de los componentes está relacionado con la falta de análisis de las fallas esto es inherente del diseño de los elementos mecánicos que constituyen el equipo en sí, los cuales están sometido a esfuerzos constantes y repetitivos, que provocan finalmente su falla por desgaste o fatiga, si no son reemplazados en el momento adecuado.

La determinación del momento óptimo de reemplazo se realizó en la hoja de decisión desarrollada en el capítulo anterior, pues se busca minimizar los costos por fallas de los equipos, incrementando así su rentabilidad.

• Costo sin la aplicación de RCM

Tabla 25

Análisis de costo antes del RCM

Componente	Costo US\$	Vida Util	Sin Análisis de Falla	
			Horas Inoperativa	Pérdida US\$
Motor	70 170,75	14 000	517,2	23 789,0
cilindro de bucket	18 325,03	10 000	20,33	9351,8
Motor hidráulico de giro	10 115,49	14 000	30	13 800
Mando de fan	650,00	6 000	12,5	5 750
Bomba de agua	1 383,07	8 000	109,5	50 370
Enfriador de aceite motor	1 048,10	8 000	110	32 640

Fuente: Elaboración propia

Nota:

No se considera el costo del componente debido a que generalmente es enviada de otro proyecto minero, debido a la demora logística y su disponibilidad inmediata.

La vida útil del componente se tomó como referencia del área de planeamiento central de Mur Wy SAC.

Los costos del componente referencia de la Pagina Sis Cat (Caterpillar)

La pérdida total se obtiene del análisis desarrollado en hoja de decisión.

Tabla 27

Análisis de modos de falla de cilindro de bucket

Componente	Costo US\$	Vida Util (RCM)	Análisis de Falla		
			Horas Inoperativa	Perdida US\$	Pérdida Total
Motor	15	125	1	160	175
Cilindro de bucket	286,69	4 000	8	1 280	1 566,69
Motor hidráulico de giro	962,71	4 000	12	1 920	2 882,71
Mando de fan	200	2 000	12	1 920	2120
Bomba de agua	179,75	4 000	24	3 840	4 019,75
Enfriador de aceite motor	1048,1	6 000	24	3 840	4 888,1

Fuente: Elaboración propia

Nota:

El costo: es el reacondicionamiento para aumentar su vida útil y realizar el reemplazo óptimo del componente establecido por planeamiento central

Mur Wy Sac

Pérdida Total: es precio unitario de la excavadora y los volquetes por la cantidad de horas inoperativas + el costo de reacondicionamiento.

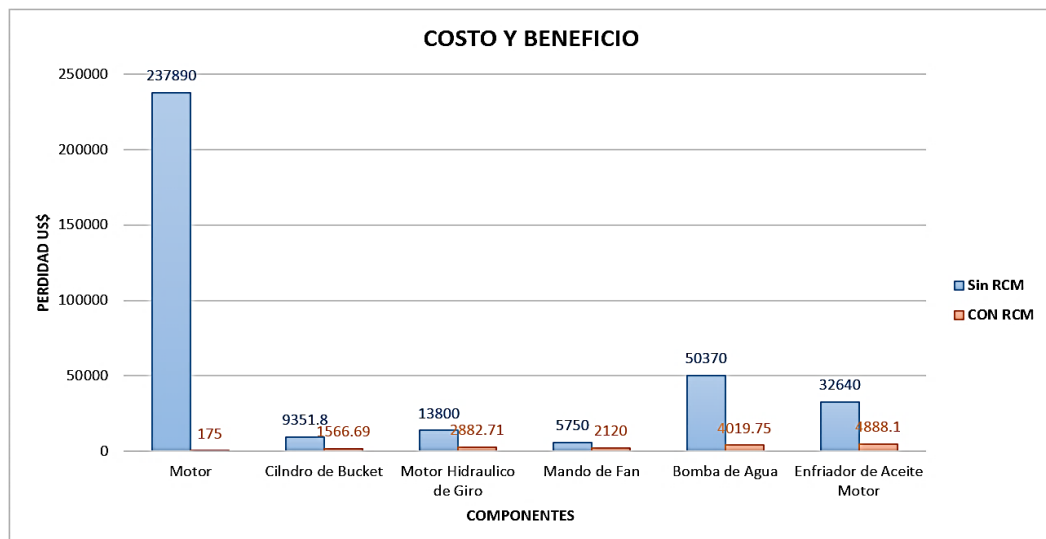


Figura 89. Costo y beneficio

Fuente: Elaboración propia

Según el desarrollo de costo se tuvo un beneficio de:

$$\text{Costo y Beneficio} = \text{Costo Sin RCM} - \text{Costo con RCM}$$

$$\text{Costo y Beneficio} = 349\,801 - 15\,652,25$$

$$\text{Costo y Beneficio} = 334\,149,55 \$$$

3.5.7. Desarrollo de las fallas

- **Motor básico**

FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	ACCIONES RECOMENDADAS
El bloque motor es de un diseño único con un abocardado o profundo que soporta la camisa del cilindro. El bloque motor forma también la camisa refrigerante.	Motor Tiene desgaste prematuro	Intervalos de mantenimiento o incorrectos o aceite incorrecto	Desgaste de los elementos	Utilice el aceite de motor que se recomienda y cambie el aceite del motor en el intervalo recomendado por el Manual de Operación y Mantenimiento del motor.
		Aceite del motor contaminado	el aceite está contaminado	Obtenga un análisis de aceite S-O-S. El análisis contribuirá a un mejor entendimiento de la contaminación del aceite.
		Baja presión del aceite	Algunos componentes prestan pérdida de presión	A. El aceite del motor contaminado con otro líquido puede producir una baja presión del aceite de motor. El nivel alto de aceite del motor puede ser una indicación de contaminación. Realice un análisis del aceite del motor. B. La rejilla de entrada del tubo de succión para la bomba de aceite del motor puede tener una restricción. Esta restricción causa cavitación y una pérdida de presión del aceite del motor. Compruebe la rejilla de entrada en el tubo de succión y saque cualquier material que pueda obstruir el paso del aceite del motor.
		Fugas en el sistema de aire	Una fuga en el sistema de admisión de aire puede permitir que ingrese aire sin filtrar en el motor.	Inspeccione el sistema de admisión de aire para ver si hay rayas que pueden indicar fugas de aire sin filtrar.
		Inspeccione si hay contaminación en los filtros de combustible.	El combustible tiene contaminación.	Quite los filtros de combustible. Inspeccione si hay contaminación en los filtros de combustible. Los contaminantes del combustible, como sulfuro de hidrógeno y azufre, pueden causar la formación de ácidos en el cárter. Obtenga un análisis del combustible.
		Lubricación	El motor no tiene	Compruebe la lubricación en el compartimiento de válvulas. Asegúrese de que haya flujo

Continuación.....

Continuación.....

	Juego de válvulas excesivos		lubricación apropiada.	adecuado de aceite del motor en el compartimiento de las válvulas.
		Juegos de Válvulas	Excesivo juego del levanta válvula en su alojamiento.	Fije el juego de válvulas del motor al ajuste correcto.
		Componentes de Tren de Válvulas	Daños en los componentes del tren de válvulas	Compruebe los siguientes componentes para ver si hay daños: Árbol de levas, Levantaválvulas, Balancines, Varillas de empuje, Vástagos de válvula, Ejes del balancín.
Ruido mecánico golpes		Accesorio defectuoso	Motor no están funcionando correctamente	Aísle la fuente del ruido del motor.
		Culata de cilindro y componentes relacionados	Desgaste de los elementos	A. Inspeccione los componentes del tren de válvulas para ver si hay daños. B. Revise para ver si hay señales de daños o desgaste en las siguientes piezas: -Válvulas - Empaquetadura de culata de cilindro -Resortes -Levantaválvulas -Varillas de empuje Inspeccione el estado del árbol de levas. Si se reemplaza un árbol de levas, deben instalarse levantaválvulas nuevos.
		Tren de engranajes	El tren de engranajes o los componentes del extremo inferior están dañados.	Inspeccione el tren de engranajes y los componentes del extremo inferior.
		Cigüeñal y componentes relacionados	El cigüeñal o los componentes relacionados están dañados o desgastados.	A. Inspeccione el cigüeñal y los componentes relacionados. Vea si hay planchas de tope desgastadas o si el cigüeñal está desgastado. B. Inspeccione los cojinetes de biela y las superficies de los cojinetes en el cigüeñal. Asegúrese de que los cojinetes estén en la posición correcta.
		Pistón	Paso de combustible a la cámara de combustión	Inspeccione para ver si el pistón está dañado o desgastado.

Figura 90. Elaboración propia Desarrollo de fallas del sistema de motor básico
Fuente: Elaboración propia

- Sistema de admisión y escape

FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	ACCIONES RECOMENDADAS
<p>Los motores diésel necesitan grandes cantidades de aire para quemar el combustible . El sistema de admisión de aire debe suministrar el aire necesario para la combustión. El sistema de escape debe sacar los gases calientes de la combustión.</p>	Humor negro excesivo	Sistema de admisión de aire o de escape	Fuga	<p>A. Revise el sistema de admisión de aire, el filtro de aire, la tubería de admisión de aire y el sistema de escape para ver si hay restricciones o fugas.</p> <p>B. Asegúrese de que el turbocompresor esté en buen estado de funcionamiento.</p>
		Sensor de velocidad y sincronización del motor	Los engranajes de mando del árbol de levas y del cigüeñal no están alineados.	<p>A. Revise la calibración del sensor de velocidad y sincronización del motor. Consulte Solución de Problemas, "Sensor de velocidad y sincronización del motor - Calibrar".</p> <p>B. Verifique que el cigüeñal y los engranajes de mando del árbol de levas tengan la orientación apropiada. Consulte el manual de Desarmado y Armado.</p>
		"Posición del combustible " o "límite FRC de combustible "	Solo causa humo negro durante la aceleración.	<p>A. Vigile el estado de la "posición del combustible" y del "límite de combustible nominal" mientras el motor está en funcionamiento con carga plena. Si la "posición del combustible" es igual al "límite de combustible nominal" y la "posición del combustible" es menor que el "límite FRC de combustible", el Módulo de Control Electrónico (ECM) está proporcionando el control correcto.</p> <p>B. Vigile el estado de la "presión de refuerzo" y la "presión atmosférica" en el Cat ET y verifique que no haya ningún código activo para el sensor de presión de refuerzo. Cuando el motor no está funcionando, la "presión de refuerzo" debe ser 0 kPa (0 lb/pulg²).</p>
		Calidad de combustible	Desgaste de los elementos	Verifique que la calidad del combustible sea correcta.
	Humo blanco excesivo	Sensor de temperatura del refrigerante	Datos erróneos	Compare la temperatura del refrigerante del Cat ET con la temperatura del refrigerante que se obtiene del 6V-9130 Adaptador de Temperatura (MULTÍMETRO). Asegúrese de que las lecturas de temperatura sean razonables para las condiciones actuales.

Continuación.....

Continuación.....

		Inyectores unitarios	Mala combustión	Lleve a cabo la "prueba de desactivación del cilindro" en el Cat ET para intentar aislar cualquier cilindro que pueda tener rateo. Un cilindro que ratea puede estar relacionado con un inyector que está desgastado o en mal estado. Consulte Localización y solución de problemas, "Circuito de solenoide de inyector - Probar".
		Suministro de combustible	El combustible con un bajo índice puede crear humo blanco	Revise la presión de combustible durante el arranque. Revise la presión del combustible filtrado. Consulte en Operación de Sistemas/Pruebas y Ajustes los valores correctos de las presiones. Si la presión del combustible es baja, reemplace los filtros de combustible. Si la presión de combustible es aún baja, revise los siguientes elementos: bomba de transferencia de combustible, acoplamiento de la bomba de transferencia de combustible y válvula reguladora de presión de combustible.
		Desgaste del componente	Humo blanco	Revise el motor para ver si existen los siguientes problemas: desgaste excesivo de válvulas, desgaste de pistones, desgaste de anillos, desgaste de la camisa y presión de compresión reducida.
		Sistema de enfriamiento	Humo blanco	Revise para ver si hay una fuga interna de refrigerante en el cilindro o en el escape. Consulte Operación de Sistemas/Pruebas y Ajustes para obtener información sobre la inspección del sistema de enfriamiento.

Figura 91. Desarrollo de fallas del sistema de admisión y escape
Fuente: Elaboración propia

- Sistema de enfriamiento

FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	ACCIONES RECOMENDADAS
Reducir la temperatura de un espacio determinado y se mantiene esta temperatura a condiciones normales	Refrigerante en el aceite de motor	Bomba de agua	Calentamiento de motor	Revise el orificio de escape de la bomba de agua para ver si hay un bloqueo.
		Núcleo del enfriador de aceite del motor	Contaminación de sistema de lubricación	Revise si hay fugas en el núcleo del enfriador de aceite
		Turbocompresor enfriado por agua	Contaminación de sistema de lubricación	Si el motor está equipado con un turbocompresor enfriado por agua, inspeccione el turbocompresor para ver si hay fisuras.
		Empaquetadura de culata de cilindro	Contaminación de sistema de lubricación	Compruebe la proyección de la camisa del cilindro.
		Culata de cilindro	Hay fisuras en la culata de cilindro.	Revise para ver si hay fisuras en la culata de cilindros.
		Camisa del cilindro	Hay fisuras en las camisas de cilindro.	Revise si hay camisas de cilindro fisuradas.
		Bloque de motor	Hay fisuras en las camisas de Bloque de motor	Inspeccione para ver si hay fisuras en el bloque de motor.
	La temperatura de refrigerante demasiado alta	Bajo nivel bajo refrigerante	Esto indicaría una fuga interna de refrigerante.	A. Haga funcionar el motor hasta que alcance la temperatura de operación. B. Inspeccione el sistema de enfriamiento en busca de fugas.
		Aire en el refrigerante	Produce cavitación	Si la tapa de presión no funciona correctamente, puede ingresar aire al sistema de enfriamiento. Revise el funcionamiento de la tapa de presión.
		Bomba de agua	La bomba de agua no opera correctamente.	Si la bomba de agua no funciona correctamente, el motor se recalentará. Mida la presión del refrigerante en la salida de la bomba de agua.
		Radiador o intercambiador de calor	Aumento de temperatura	Si el motor tiene un radiador, revise las aletas del radiador para ver si presentan obstrucciones.
		Regulador del termostato del agua	No hay regulación correcta de termostato	Revise el termostato del agua para ver si opera correctamente.

Continuación.....

Continuación.....

		Sensor de temperatura del refrigerante	Datos erróneos	Compare la lectura de la temperatura del refrigerante del Técnico Electrónico (ET) de Caterpillar con la lectura de la temperatura del refrigerante de un medidor mecánico. La temperatura debe aumentar continuamente a medida que se calienta el motor. Asegúrese de que la temperatura sea razonable. Consulte Operación de Sistemas/Pruebas y Ajustes.
	Combustible en el sistema de enfriamiento	Manguito del inyector o sello del manguito del inyector	La contaminación de refrigerante en el sistema de combustible puede causar daños a los inyectores y otros componentes del sistema de combustible	1. Revisión de los manguitos del inyector y de los sellos del manguito del inyector A. Quite las tapas del mecanismo de válvulas. B. Quite los inyectores de combustible de la cabeza del cilindro. Consulte el manual de Desarmado y Armado para obtener detalles. C. Presurice el sistema de enfriamiento para identificar el manguito del inyector que tiene una fuga. Inspeccione minuciosamente la unión de sellado alrededor de la parte superior del manguito del inyector. Gotearán pequeñas cantidades de

Figura 92. Desarrollo del sistema de fallas del sistema de enfriamiento
Fuente: Elaboración propia

• Sistema de combustible

FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	ACCIONES RECOMENDADAS
<p>La cantidad de combustible que consume el motor se relaciona directamente con el par y la potencia requerida. En general, mientras más combustible reciba el motor, habrá mayor par disponible en el volante. El sistema de combustible envía el combustible filtrado, en el momento preciso y en cantidades adecuadas para cumplir con la demanda de potencia.</p>	<p>No se puede alcanzar a las RPM Máxima del Motor</p>	<p>Modalidad activa de reducción de potencia del motor</p>	<p>Velocidad de motor podría estar limitada debido</p>	<p>Si esta aplicación permite una reducción de potencia del motor, use el Técnico Electrónico (ET) Caterpillar para ver si se ha registrado una reducción de potencia. Vea los sucesos específicos aplicables para esta aplicación en Localización y solución de problemas, "Localización y solución de problemas con un código de suceso". Si existe una reducción de potencia activa, aparecerá una bandera de estado en CatET.</p>
		<p>Modalidad de frío</p>	<p>Esto puede limitar la velocidad del motor.</p>	<p>Use el ET Caterpillar para verificar que el motor ha salido de la modalidad en frío. Si el motor está funcionando en la modalidad en frío aparecerá una bandera de estado.</p>
		<p>Señal del acelerador</p>	<p>Se puede desacelerar</p>	<p>Observe el ET Cat para verificar que se puede lograr la aceleración plena. Vea en Localización y solución de problemas, "Circuito del interruptor del acelerador - Probar".</p>
		<p>Sensor de presión de refuerzo</p>	<p>Datos erróneos</p>	<p>Observe el estado de los parámetros "Posición de combustible", "Límite de combustible nominal" y "Límite FRC de combustible" en Cat ET mientras el motor esté funcionando a plena carga.</p>
		<p>Suministro de combustible</p>	<p>Esto puede limitar la velocidad del motor.</p>	<p>Compruebe el tanque de combustible para determinar si hay objetos externos que puedan obstruir el suministro de combustible. Cebe el sistema de combustible si se ha realizado alguno de los procedimientos siguientes: -Cambio de los filtros de combustible -Servicio en el circuito de suministro de combustible de baja presión -Cambio de inyectores unitarios.</p>

Continuación.....

Continuación.....

		Sistema de admisión de aire y de escape	Restricciones	Observe la luz de comprobación del motor. Vea si hay un indicador de restricción del filtro del aire. Limpie o reemplace los filtros de aire obstruidos.
Motor gira pero no arranca		Códigos de diagnóstico	Códigos de suceso pueden evitar que el motor arranque	Conecte el Técnico Electrónico (ET) de Caterpillar y verifique si hay códigos activos o registrados. Investigue y repare cualquier código que esté presente antes de continuar este procedimiento. Nota: Si Cat ET no se comunica con el ECM, el problema se debe probablemente a la fuente de alimentación eléctrica al ECM. Vea en la Localización y solución de problemas, "Circuito de suministro eléctrico - Comprobar".
		Auxiliares de arranque (si tiene)	Desgaste de los elementos	Asegure la operación apropiada del calentador del agua de las camisas. Repare o reemplace el calentador del agua de las camisas, si es necesario.
		Combustión	Pérdida de potencia	Verifique si existen signos de deterioro en el sellado alrededor de la culata del cilindro o fugas alrededor del inyector.
Consumo excesivo de combustible		Operación del motor	elevación de gasto por mala operación	Use el Técnico Electrónico de Caterpillar (ET) para ver los "Totales actuales" y comprobar si hay un tiempo excesivo en vacío o un factor de carga alto, lo cual sería indicativo de hábitos de operación deficientes.
		Fugas de combustible	Presión del combustible es baja	A. Revise la presión de combustible durante el arranque. B. Revise la presión de combustible después del filtro de combustible
		Señal de sincronización	Velocidad no funciona correctamente.	A. Realice una calibración del sensor de sincronización/velocidad.
		Inyectores de combustible	Pérdida de potencia	A. Revise para ver si los conectores J1/P1 y J2/P2 del Módulo de Control Electrónico (ECM, Electronic Control Module) y los conectores del inyector unitario están instalados correctamente. B. Realice la "Prueba de solenoide del inyector" en el Cat ET para determinar si el ECM está energizando todos los solenoides del inyector. C. Realice la "Prueba de desactivación

Continuación.....

Continuación.....

				del cilindro" para identificar los inyectores que puedan estar rateando.
		Sistema de admisión y escape de aire	Hay restricciones en la admisión de aire o sistema de escape.	Revise el sistema de admisión de aire y escape para ver si hay restricciones o fugas.

Figura 93. Desarrollos de fallas de sistema de combustible
Fuente: Elaboración propia

- **Sistema de lubricación**

FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	ACCIONES RECOMENDADAS
<p>La función del sistema de lubricación es hacer circular el aceite por el motor.</p> <p>El aceite también: limpia, refrigera y protege del desgaste las piezas en movimiento del motor</p>	Excesivo consumo de aceite	Fugas de aceite	Contaminación de sistema de lubricación	Revise el compartimiento del motor para ver si hay fugas de aceite.
		Nivel de aceite	Demasiado aceite en el cárter del motor puede causar que el motor consuma aceite.	Asegúrese de que la varilla de medición esté calibrada correctamente para la instalación.
		Sello del turbo compresor	Signos de fuga de aceite.	A. Revise los sellos del eje del turbocompresor para ver si hay fugas. B. Quite la tubería de admisión de aire y la tubería de salida de escape del turbocompresor. C. Revise si hay evidencia de fuga de aceite en la rueda del compresor o en la turbina.
		Desgaste Interno	Fuga excesiva de aceite en el área de combustión de los cilindros	Revise para ver si hay fuga de gases al cárter excesiva en el respiradero del cárter del motor. El desgaste excesivo de los siguientes componentes puede causar consumo de aceite: - anillos de pistón - guías de válvula
	Baja presión de aceite motor	Nivel de aceite del motor		Inspeccione el nivel del aceite del motor.

		Filtros de aceite del motor y válvula de derivación del filtro del aceite	Válvula de derivación del filtro del aceite no opera correctamente.	Revise la operación de la válvula de derivación del filtro del aceite.
		Bomba de aceite del motor	No hay presión suficiente	Revise los componentes de la bomba de aceite del motor para ver si están desgastados excesivamente.
		Enfriador de aceite del motor	Restricciones en el enfriador de aceite.	Revise el lado de admisión del enfriador de aceite para ver si hay suciedad u obstrucciones.
		Desgaste del motor	El desgaste excesivo se debe a presión baja del sistema o a conductos que están obstruidos.	A. Inspeccione el árbol de levas y los cojinetes de árbol de levas para ver si están desgastados excesivamente. B. Inspeccione el cigüeñal o los cojinetes del cigüeñal
La temperatura de aceite motor muy alta	Válvula de derivación del enfriador de aceite del motor	Que la válvula de derivación no se atasque en la posición abierta.	Inspeccione los componentes de la válvula de derivación del enfriador de aceite del motor para ver si están dañados.	
	Núcleo del enfriador de aceite del motor	Fuga	Controle el núcleo del enfriador de aceite del motor para ver si está dañado o atascado.	
	Temperatura del refrigerante del motor	La temperatura del refrigerante del motor no es normal.	Compruebe la temperatura del refrigerante del motor.	

Figura 94. Desarrollo de fallas del sistema de lubricación
Fuente: Elaboración propia

- Sistema de eléctrico

FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)	ACCIONES RECOMENDADAS
<p>La función del sistema de lubricación es hacer circular el aceite por el motor.</p> <p>El aceite también: limpia, refrigera y protege del desgaste las piezas en movimiento del motor</p>	<p>El motor no girara para el arranque</p>	<p>Interruptores de parada del motor (si corresponde)</p>	<p>Equipo fuera de servicio</p>	<p>A. Los interruptores de parada del motor deben estar en la posición DESCONECTADA. Utilice el Técnico Electrónico de Caterpillar (ET) para asegurarse de que los interruptores de parada estén en la posición correcta. B. Cuando ocurre una parada, el Módulo de Control Electrónico (ECM) tiene que apagarse durante un mínimo de 15 segundos antes de intentar arrancar el motor. Si el Cat ET no se comunica con el Módulo de Control Electrónico (ECM, Electronic Control Module), el problema se debe probablemente al suministro de corriente eléctrica al ECM. Consulte la prueba de funcionamiento de diagnóstico en Localización y Solución de Problemas, "Circuito de suministro de corriente eléctrica - Probar".</p>
		<p>Disyuntores</p>	<p>No funciona correctamente</p>	<p>Revise el estado de cada uno de los disyuntores.</p>
		<p>Baterías</p>	<p>No funcionan correctamente</p>	<p>A. Inspeccione para ver si hay conexiones flojas o corrosión en el Interruptor de desconexión de la batería, las barras colectoras, los postes de la batería y los cables de la batería. B. Inspeccione las baterías. C. Cargue las baterías, si es necesario. Consulte la Instrucción Especial, RSHS7633, "Procedimiento de prueba de baterías". D. Pruebe la carga de las baterías. Consulte la Instrucción Especial, SSHS9249, "Uso del Probador de Carga de Batería 4C-4911 con baterías de ácido de plomo de 6, 8 y 12 V".</p>

		Circuito de arranque	Motor de arranque y los componentes del circuito relacionados no funcionan correctamente.	Pruebe la operación del motor de arranque y de los componentes del circuito relacionados.
	El ECM no acepta las contraseñas de fábrica	contraseña		A. Verifique que se hayan utilizado las contraseñas correctas. B. Verifique que el Técnico Electrónico (TE) Cat® muestre el cuadro de diálogo "Enter Factory Passwords" (Ingresar contraseñas de fábrica).
	EL ECM no se comunica con otros sistemas	Módulo de Control Electrónico (ECM)	Equipo parado	Conecte el Técnico Electrónico (ET) Caterpillar al conector de la herramienta de servicio. Si el ECM no se comunica con el ET Cat, vea en Localización y solución de problemas, "La herramienta electrónica de servicio no se comunica con el ECM".
Conectores eléctricos		Asegúrese de que los siguientes artículos estén correctamente instalados y en buen estado. Vea la prueba de diagnóstico funcional en Localización y solución de problemas, "Conectores eléctricos - Inspeccionar". Conector J1/P1 del ECM Conector de la máquina Cables a los módulos de visualización Cables a otros módulos de control		
Enlace de datos Cat		Localice posibles problemas del Enlace de datos Cat. Vea la prueba de diagnóstico funcional en Localización y solución de problemas, "Circuito del Enlace de Datos Cat - Probar".		
Voltaje alto en el sistema	Sistema de voltaje	Un voltaje excesivo al ECM puede dañar el ECM.	Lleve a cabo el siguiente procedimiento de diagnóstico: "Circuito de suministro de corriente eléctrica - Probar" Resultados:	
Voltaje bajo en el sistema	Batería en mal estado	El motor se parará.	Detecta que el voltaje de la batería está por debajo de 18 VCC en sistemas de 24 voltios.	

Figura 95. Elaboración propia Desarrollo de fallas del sistema de Eléctrico
Fuente: Elaboración propia

- Sistema hidráulico

FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	ACCIONES RECOMENDADAS
Trasmitir movimientos	Bajo flujo de salida de la bomba principal	Ajuste del flujo máximo de salida de la bomba	Implementos lentos	Ajuste el flujo máximo de salida de la bomba de mando. Afloje la contratuerca (5). Para ajustar el flujo máximo de salida, gire el tornillo de ajuste (6). Si se gira el tornillo de ajuste (6) hacia la derecha, se disminuye el flujo máximo de salida de la bomba. Si se gira el tornillo de ajuste (6) hacia la izquierda, se aumenta el flujo máximo de salida de la bomba. Apriete la contratuerca (5) a un par de 240 ± 36 N·m (177 ± 27 lb-pie).
	No levanta los Implementos/Implementos Lentos	Varillaje suelto de palanca de levante	Operador no puede operar correctamente	Regulación con lanas para disminuir el juego
		Baja Presión de Bomba por incorrecta calibración de válvula de alivio		1. Afloje la contratuerca (1). 2. Si se gira el tornillo de ajuste (2) hacia la derecha, se aumenta el flujo de salida de la bomba. Si se gira el tornillo de ajuste (2) hacia la izquierda, se disminuye el flujo de salida de la bomba. Los ajustes finos se logran al aflojar la contratuerca (3). Gire el tornillo (4) hacia la izquierda para reducir el flujo de salida. 3. Apriete la contratuerca (1) a un par de 160 ± 24 N·m (118 ± 18 lb-pie). Apriete la contratuerca (3) a un par de $16 \pm 2,4$ N·m (12 ± 2 lb-pie). 4. Para ajustar la bomba de rueda loca, repita los Pasos 1 a 3.
		por rotura del eje de la bomba / daño del drive del motor		Realizar el reemplazo
		por fuga interna de sellos de cilindro hidráulicos		Realizar el reemplazo cada 4 000 horas el kit de sellos
Alta temperatura	Bajo Nivel de Aceite Tanque Hidráulico	Aparece alarma de alta temperatura y	Rellenar aceite motor y inspeccionar posibles fugas	

a de Aceite Hidráulico	enfriador de aceite obstruido	en el indicador de temperatura en el tablero, el operador para el equipo	Reemplazo de enfriador de aceite hidráulico cada 6000 horas de trabajo
	Válvula de Alivio calibrada a presión muy baja o alta		El ajuste de presión de la válvula de alivio principal debe ser de $38,000 \pm 500$ kPa ($5,510 \pm 72$ lb/pulg ²) cuando la modalidad de levantamiento pesado está conectada. Si la válvula de alivio principal no está dentro de la especificación, corrija el ajuste de presión de la válvula de alivio principal a la especificación de presión adecuada antes de realizar el Paso 3. Consulte el manual Pruebas y Ajustes, "Válvula de alivio (principal) - Probar y ajustar (levantamiento pesado)".
	Ventilador no gira o con baja velocidad ,eje de la bomba roto/ daño del drive del motor	El ventilador no gira	Reemplazo de Eje de bomba fan cada 6 000 horas

Figura 96. Análisis de modos de falla de cilindro de bucket
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

Después de haber ejecutado el plan de mantenimiento, se obtiene los siguientes resultados.

Tabla 28

Disponibilidad con la aplicación de RCM

AÑO	MES	DIS % (RCM)
2014	Mayo	88,7 %
2014	Junio	95,3 %
2014	Julio	95,0 %
2014	Agosto	99,9 %
2014	Septiembre	85,0 %
2014	Octubre	97,7 %
2014	Noviembre	95,4 %
2014	Diciembre	94,6 %
2015	Enero	100,0 %
2015	Febrero	96,5 %
2015	Marzo	97,9 %
2015	Abril	92,5 %
2015	Mayo	89,2 %
2015	Junio	85,4 %
2015	Julio	89,5 %
2015	Agosto	96,6 %
2015	Septiembre	94,0 %
2015	Octubre	86,0 %
2015	Noviembre	92,9 %
2015	Diciembre	91,5 %

Fuente: Elaboración propia

4.1.1. Análisis estadísticos de los resultados

Para el análisis de los resultados se usa el software estadístico SPSS (Statistical Package For Social Sciences) Tabla 47, para las diferentes pruebas. Los análisis se harán de acuerdo al siguiente cuadro:

Tabla 29
Comparación de disponibilidades

N°	AÑO	MES	ANTES	DESPUÉS
1	2014	Mayo	0,89	0,89
2	2014	Junio	0,95	0,95
3	2014	Julio	0,73	0,95
4	2014	Agosto	1,00	1,00
5	2014	Septiembre	0,12	0,85
6	2014	Octubre	0,98	0,98
7	2014	Noviembre	0,95	0,95
8	2014	Diciembre	0,95	0,95
9	2015	Enero	1,00	1,00
10	2015	Febrero	0,97	0,97
11	2015	Marzo	0,98	0,98
12	2015	Abril	0,88	0,93
13	2015	Mayo	0,76	0,89
14	2015	Junio	0,16	0,85
15	2015	Julio	0,78	0,90
16	2015	Agosto	0,97	0,97
17	2015	Septiembre	0,94	0,94
18	2015	Octubre	0,79	0,86
19	2015	Noviembre	0,93	0,93
20	2015	Diciembre	0,85	0,92
Promedio			0,829	0,933

Fuente: Elaboración propia

Análisis estadísticos antes de la aplicación del RCM

Descripción		Estadístico	Error estándar
ANTES	Media	82,900	5,586
	95% de intervalo de confianza para la media	71,208	
	Límite inferior		
	Límite superior	94,592	
	Media recortada al 5%	85,889	
	Mediana	93,500	
	Varianza	624,095	
	Desviación estándar	24,982	
	Mínimo	12,00	
	Máximo	100,00	
	Rango	88,00	
	Rango intercuartil	18,75	
	Asimetría	-2,351	0,512
	Curtosis	4,948	0,992

Figura 97 Prueba estadística antes del RCM
Fuente: IBM spss statistics 19

Análisis estadísticos después de la aplicación del RCM

Descripción	Estadístico	Error estándar
DESPUÉS Media	93,300	1,044
95 % de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 91,115 Límite superior 95,485	
Media recortada al 5%	93,389	
Mediana	94,500	
Varianza	21,800	
Desviación estándar	4,669	
Mínimo	85,00	
Máximo	100,00	
Rango	15,00	
Rango intercuartil	7,75	
Asimetría	-,459	0,512
Curtosis	-,719	0,992

Figura 98. Prueba estadística después de la aplicación del RCM
Fuente: IBM spss statistics 19

4.1.2. Prueba de hipótesis

Si se aplica el mantenimiento a la Excavadora Caterpillar 345CL mediante el RCM entonces se logrará mejorar la disponibilidad mecánica en la Unidad Minera Apumayo.

Uno de los objetivos para la presente investigación consiste en comparar estadísticamente las muestras de disponibilidad mecánica del antes y después de la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Formulación de la hipótesis

La Hipótesis estadística del trabajo realizado en este caso será:

H₁: El promedio de la Disponibilidad mecánica mejora con el RCM (después).

H₀: El promedio de la Disponibilidad no mejora con el RCM (antes)

Notación simbólica:

H₁: $\mu_1 < \mu_2$ (Hipótesis alterna)

H₀ : $\mu_1 \geq \mu_2$ (Hipótesis nula a contrastar)

El nivel de significancia

(α) Es el grado complementario a la confianza (1- α) de la evaluación estadística. Para tener validez se asume una confianza del 95 % por lo cual:

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par 1 ANTES - DESPUÉS	10,40	21,57825	4,82504	-20,49893	-,30107	-2,155	19	0,044

Figura 99. Pruebas de muestras emparejadas
Fuente: IBM spss statistics 19

- La diferencia de media de las disponibilidades es 10,4
- Diferencia de la desviación estándar es 21,578
- Lo importante en esta fase es identificar el valor $t=2,155$
- Así mismo el p-valor =0,044 que es menor 5 % (0,05)
- Nivel de confianza al 95 %

4.2. DISCUSIÓN

El valor p-valor resultó **0,044** el mismo que es mucho menor que $\alpha = 0,05$, entonces: que siendo la probabilidad de errores tan baja se acepta la hipótesis del investigador o hipótesis alterna que dice que el RCM mejora la disponibilidad mecánica de los equipos se acepta, la hipótesis alterna (H_1), lo cual verifica que la disponibilidad mecánica mejora luego de aplicar el RCM.

$$P_{valor} \leq \alpha$$

$$0,044 \leq 0,05$$

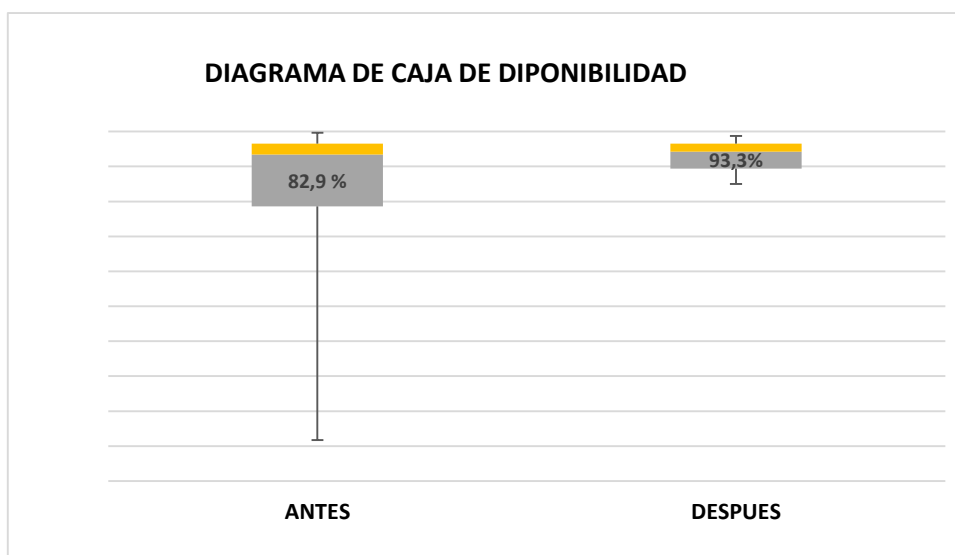


Figura 100. Diagrama de caja de disponibilidad

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

La disponibilidad mecánica antes de la aplicación de RCM fue 82,9 %.

Durante el desarrollo de este trabajo, se pudo comprobar que la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad y sus principales herramientas tales como el Hoja de información, Análisis de Causa Raíz, Hoja de decisión y datos estadísticos mejoró a 93,3 %.

Durante el análisis de costo y beneficio se logró un ahorro de 33 4149,55 \$.

El Amef constituye la parte más importante del proceso de implementación y mantenimiento centrado en la confiabilidad, tomando los registros de las órdenes de trabajo.

La gente trabaja mejor cuando sabe cuál es la meta y por qué. Es importante que la gente sepa a dónde viene a trabajar cada mañana y que disfrute el trabajo.

Se demostró que mediante el análisis de fallas se logra entender el origen de las fallas.

El éxito de la metodología de RCM radica en la participación de todo el personal de mantenimiento desde el mando de gerencia al mando técnico.

RECOMENDACIONES

Para realizar se debe un proceso de mejoramiento del mantenimiento, evitar sobrecargarse y aplicar muchas iniciativas (herramientas) de forma simultánea, para esto es necesario conocer el objetivo de cada metodología y justificar su aplicación.

Capacitación al grupo de personal que participará en el proceso de implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

Es necesario el apoyo desde la superintendencia de operaciones, debe considerarse dentro de la estrategia de la empresa y no como una iniciativa aislada del área de mantenimiento.

Para el análisis RCM se generó información detallada de todas las fallas que han sucedido y que posiblemente sucedan al equipo, pero es necesario continuar registrando e incluir las fallas que vayan sucediendo y que no hayan sido consideradas.

Recolección de datos eficaz y eficiente. Es fundamental, para asegurar la calidad de los datos, contar con una buena base de datos

tanto de los equipos como de las actividades preventivas y correctivas asociadas a ellos.

El éxito de la implementación del MCC, dependerá fundamentalmente del recurso humano involucrado, motivo por el cual, hay que tener un especial cuidado en el proceso de selección y en la formación del personal que participará en la implementación del MCC.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


- Barsalov, M. (2015). *Root Cause Analysis* (1 ed.). Londres: CRC Prees.
- Bastidas Quispe, E. H. (2013). *Mantenimiento basado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad mecánica de los grupos electrógenos Olympian GEP110-4, en el proyecto Flowline lote 56 de la Empresa Serbetbol Peru Sac*. Huancayo: UNCP.
- Burga, M. (2010). *Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción*. Lima: PUCP.
- Campbell, J., & Reyes Picknell, J. (2016). *Strategies for Excellence in Maintenance Management* (3 ed.). New York: CRC Press.
- Dhillon, B. (2003). *Ingeniería de mantenimiento con enfoque moderno* (1 ed.). Florida: CRC PRESS.
- Gulati, R. (2013). *Maintenance and Reliability Best Practices* (2 ed.). New York: Industrial Press, Inc.
- Levitt, J. (2009). *Maintenance Management* (2 ed.). New York: Industrial Press, INC.
- McDermott, R., Mikulak, R., & Beauregar, M. (2009). *The Basic of FMEA* (2 ed.). New York: CRC. Press.

- Mobley, K., Higging, L., & Wikoff, D. (2008). *Maintenance Engineering Handbook* (7 ed.). San Francisco: MC GRAW-HILL.
- Mora Gutierrez, A. (2005). *Mantenimiento estrategico para empresas industriales o de servicios* (1 ed.). Medellin: AMG.
- Moubray, J. (1997). *Mantenimiento centrando en confiabilidad* (2 ed.). Madrid: Aldo LLC.
- Palmer, R. (2006). *Maintenance Planning and Scheduling Handbook* (2 ed.). New York: McGRAW-HILL.
- Pascual, R. (2002). *Gestión Moderna del Mantenimiento* (2 ed.). Santiago: U.Chile.
- Ramesh, G. (2013). *Maintenance and Reliability Best Practices* (2 ed.). New York: Industrial Press, Inc.
- Smith, A., & Hinchcliffe, G. (2004). *RCM Gateway to World Class Maintenance* (1 ed.). Oxford: Elsevier.
- Tobias, P., & Trindate, D. (2012). *Applied Reliability* (Vol. 3ra Edicion). New York: CRC Press.
- Yang, G. (2007). *Life Cycle Reliability Engenering*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

- Terry Wireman (2004). *Benchmarking Best practice in Maintenance Management*. (1ed.).New York. Industrial Press Inc.
- Ricky Smith and R. Keith Mobley (2013). *Rules of for Thumb Maintenance and reliability Engineers* (1 ed).
- Anthony Kelly (2006). *Maintenance Systems and Documentation*. (1ed). Oxford., Elsevier Ltd.
- Terry Wireman (2005). *Developing Performance Indicators for Managing Maintenance* (Second Edition) New York Industrial Press Inc
- John Osarenren (2015). *Integrated Reliability Condition Monitoring and Maintenance of Equipment (primer edition)*, New York CRC Press
- Richard D. Palmer (2006). *Maintenance Planning and Scheduling Handbook* (Second Edition) TORONTO McGrall-Hill Handbooks
- Ron More (2002). *Making common sense common practice models for manufacturing excellence* Butterworth Heinemann 2da edition
- Nive, P. R. (2002). *Balanced Scorecard Step-by-Step Maximizing Performance and Maintenance Results*. New York, USA: John Wiley Inc.

Norton, R. S. (2008). *Cómo utilizar el Cuadro de Mando Integral para implantar y gestionar su estrategia*. Cuadro de Mando Integral - Kaplan y Norton.

ANEXOS 01
FORMATO DE CHEK LIST DE INSPECCIÓN DE LA EXCAVADORA
345CL



MUR
MAQUINARIA Y EQUIPOS
PARA MINERIA

CHECK LIST DE INSPECCIÓN EXCAVADORA 345CL-

CÓDIGO DE EQ: _____

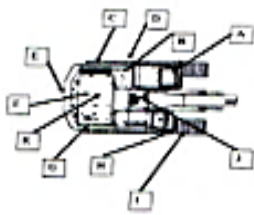
HORIMETRO: _____

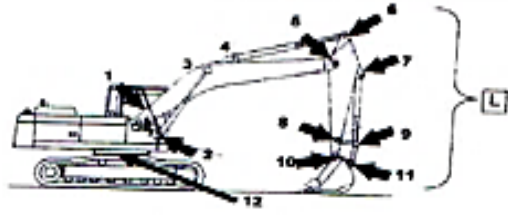
DURACIÓN: _____

FECHA: _____

INSPECTOR: _____


FIRMA: _____





PROCEDIMIENTO	OK	OBSERVACIONES
Zona de inspección A (Cabina)		
Revisa cabina (perno de sujeción)	<input type="checkbox"/>	
Parabrisas	<input type="checkbox"/>	
Asiento del operador	<input type="checkbox"/>	
Tablero de instrumentos	<input type="checkbox"/>	
Fuga de aceite hidráulico por josticks, pedales, mangueras	<input type="checkbox"/>	
Espesos retrovisores	<input type="checkbox"/>	
Claxon, alarma de retroceso	<input type="checkbox"/>	
Luzes de cabina	<input type="checkbox"/>	
Limpia parabrisas	<input type="checkbox"/>	
Cinturón de seguridad	<input type="checkbox"/>	
Chapas, Circunferencia	<input type="checkbox"/>	
Aire forzado acondicionado	<input type="checkbox"/>	
Zona de inspección B (lado izquierdo de la máquina)		
Compuerta de batería	<input type="checkbox"/>	
Estado de baterías (bomas, cables, etc.)	<input type="checkbox"/>	
Cables de batería	<input type="checkbox"/>	
Tablero de térmicos, relays, etc.	<input type="checkbox"/>	
Zona de inspección C (lado izquierdo posterior de la máquina)		
Compuerta de enfriador	<input type="checkbox"/>	
Estado de ventiladores y radiador	<input type="checkbox"/>	
Zona de inspección D (Carrilería lado izquierdo)		
Estado de zapatas (pernos/llojos)	<input type="checkbox"/>	
Estado de cadena (estado de botinas)	<input type="checkbox"/>	

ANEXO 02: FORMATO DE ORDEN DE TRABAJO

	FECHA			OT	#	
			2014			
	TURNO	DIA	NOCHE	TIPO DE CARGO		
ORDEN DE TRABAJO						
DATOS DEL EQUIPO :			ONI TÉCNICO:	HR INICIO	HR FIN	
Código de Equipo:		Tipo Equipo:				
Hora de Parada:		Hora de Entrega:				
Horómetro Parada:		Horómetro Entrega:				
Área de Trabajo de Equipo:						
TIPO DE INTERVENCIÓN:		SUBTIPO DE INTERVENCIÓN			TIPO DE PARADA:	
Manto Correctivo	<input type="checkbox"/>	Mecánica	<input type="checkbox"/>	Evaluación	<input type="checkbox"/>	PROGRAMADA <input type="checkbox"/>
Manto Preventivo	<input type="checkbox"/>	Eléctrica	<input type="checkbox"/>	Soldadura	<input type="checkbox"/>	
Accidente	<input type="checkbox"/>	Lubricación	<input type="checkbox"/>	Neumáticos	<input type="checkbox"/>	NO PROGRAMADA <input type="checkbox"/>
Servicio a terceros	<input type="checkbox"/>	Inspección	<input type="checkbox"/>	Accidente	<input type="checkbox"/>	
OTROS: <input type="checkbox"/>						
SISTEMA						
S-0500 Bastidor_Caja	<input type="checkbox"/>	S-4000 Motor_Basico	<input type="checkbox"/>	S-7500 Vibratorio	<input type="checkbox"/>	
S-1000 Cabina_Operador	<input type="checkbox"/>	S-4500 Admision_Escape	<input type="checkbox"/>	S-8000 Neumatico	<input type="checkbox"/>	
S-1500 Direccion_Frenado	<input type="checkbox"/>	S-5000 Combustible	<input type="checkbox"/>	S-8500 Avance_Rotacion	<input type="checkbox"/>	
S-2000 Electrico_Arranque	<input type="checkbox"/>	S-5500 Enfriamiento_motor	<input type="checkbox"/>	S-9000 Maquina_Basica	<input type="checkbox"/>	
S-2500 Herramientas	<input type="checkbox"/>	S-6000 Lubricacion	<input type="checkbox"/>	S-9500 Ejes ruedas	<input type="checkbox"/>	
S-3000 Hidraulico	<input type="checkbox"/>	S-6500 Tren_Fuerza	<input type="checkbox"/>	Otros:		
S-3500 Implementos	<input type="checkbox"/>	S-7000 Rodaje_Ruedas_Suspension	<input type="checkbox"/>			
SUBSISTEMA / GRUPO:			ESTADO INICIAL DEL EQUIPO		ESTADO FINAL DEL EQUIPO	
COMPONENTE / PIEZA:			INDP	STOY	OP	INDP STOY OP
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA - FALLA						
DESCRIPCIÓN DEL MODO DE FALLA: QUÉ OCASIONÓ LA FALLA?						
DESCRIPCIÓN DE TRABAJO REALIZADO						
TRABAJO CONCLUIDO		TRABAJO PENDIENTE				
NOMBRES Y APELLIDOS TÉCNICO DE MANTENIMIENTO		NOMBRES Y APELLIDOS SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO		NOMBRES Y APELLIDOS PLANEAMIENTO DE MANTENIMIENTO		

ANEXO 03: ANÁLISIS DE FALLAS CATERPILLAR

Es seguro | <https://cvt.cat.com/prod/prod/1/delivery/datasets/EXCA74/index.html>

CAT Component Based Troubleshooting

[Model Selection](#) | [345C Excavator](#) | [Feedback](#) | [Help](#) | [Data Privacy](#)

345C Excavator

ODES

- [AccuGrade® - CD700 Grade Control System \(GPS/ATS/Sonic/Cross Slope\)](#)
- [AccuGrade® Site and Laser Reference System](#)
- [Auxiliary Hydraulic ECM \(MD1106\)](#)
- [Control Panel \(Air Conditioner and Heater\)](#)
- [Engine And Pump Controller \(MD1105\)](#)
- [Engine ECM #1 \(Primary\) \(MD136\)](#)
- [Product Link \(MD122\)](#)
- [Transmission ECM \(MD181\)](#)
- [x Symptoms - ELECTRICAL & STARTING / General](#)
- [x Symptoms - ENGINE / Air Intake and Exhaust](#)
- [x Symptoms - ENGINE / Basic Engine](#)
- [x Symptoms - ENGINE / Cooling](#)
- [x Symptoms - ENGINE / ECM](#)
- [x Symptoms - ENGINE / Electrical & Starting](#)
- [x Symptoms - ENGINE / Fuel](#)
- [x Symptoms - ENGINE / Lubrication](#)
- [x Symptoms - ENGINE / Performance](#)
- [x Symptoms - PRODUCT LINK / General](#)

(DHP) 1-99999



This picture may not represent your specific product.

To Troubleshoot a Code or a Symptom

Using the Navigation section on the left side of the screen:

- Click on Codes and select a Control Module if you are troubleshooting a code. A list of available codes for the selected control module is displayed on the right side of the screen.
- Click on a System and a Symptom if you are troubleshooting a symptom. A list of Visual Checks and a list of potential Causes (components) for the selected model and symptom are displayed on the right side of the screen.

Component Based Troubleshooting is for technical reference only. It is not intended to replace the knowledge and skills of the servicing technician, and does NOT imply warranty coverage.

Content Owner: Vikranth Narayana Moorthy
Caterpillar Confidential. Green
Copyright 2017 Caterpillar Inc.
All Rights Reserved.

ANEXO 04: REPORTE DIARIO DE TRABAJO

OT	AÑO	MES	FECHA	TURNO	COD. MINA	PARADA		SISTEMA	COMPONENTE	PIEZA	ESTADO FINAL	DESCRIPCION DEL PROBLEMA (FALLA O FALLA POTENCIAL)	DESCRIPCION DEL MODO DE FALLA (QUÉ ORIGINÓ LA FALLA?)	DESCRIPCION DE LA LABOR (QUÉ TRABAJO SE REALIZÓ?)
						NO PROGRAMADA	PARADAS TOTALES							
6211	2015	05 MAYO	03-may	D	345-06	0	0	Herramientas	Cucharon	CUCHARON		FISURAS EN LABIOS DE CUCHARON	FATIGA	BICELADO, ESMERILADO Y SOLDEO DE FISURAS
6245	2015	05 MAYO	04-may	D	345-06	0	1	Maquina_Basica	Maquina General	MAQUINA	STAND BY	ENGRASE Y LUBRICACION DE EQUIPOS POR CAM HORAS DE SERVICIO		ENGRASE Y LUBRICACION DE EQUIPO
6278	2015	05 MAYO	05-may	D	345-06	0	0	Maquina_Basica	Maquina General	MAQUINA	STAND BY	ENGRASE Y LUBRICACION DE EQUIPOS POR CAM HORAS DE SERVICIO		ENGRASE Y LUBRICACION DE EQUIPO
6533	2015	05 MAYO	05-may	D	345-06	0	1	Maquina_Basica	Maquina General	MAQUINA	OPERATIVO	INSPECCION DE CAMBIO DE GUARDIA		INSPECCION DE EQUIPO EN CAMPO
6302	2015	05 MAYO	05-may	N	345-06	1	1	Enfriamiento_mot	Bomba de agua	BOMBA DE AGI	INOPERATIVO	RECALENTAMIENTO DE MOTOR	BOMBA CON FUGA	S E REALIZO EVALUACION DE MOTOR POR BOMBA DE AGUA
6302	2015	05 MAYO	05-may	N	345-06	0	0	Enfriamiento_mot	Bomba de agua	BOMBA DE AGI	INOPERATIVO	RECALENTAMIENTO DE MOTOR	BOMBA CON FUGA	S E REALIZO EVALUACION DE MOTOR POR BOMBA DE AGUA
6407	2015	05 MAYO	05-may	N	345-06	0	0	Enfriamiento_mot	Bomba de agua	BOMBA DE AGI	INOPERATIVO	EQUIPO INOPERATIVO POR BOMBA DE AGUA		INOPERATIVO BOMBA DE AGUA
6410	2015	05 MAYO	06-may	D	345-06	0	0	Enfriamiento_mot	Bomba de agua	BOMBA DE AGI	INOPERATIVO	FUGA DE REFRIGERANTE	BOMBA CON FUGA	EVALUACION DE FUGA DE REFRIGERANTE, DESMONTAJE DE BOMBA
6410	2015	05 MAYO	06-may	D	345-06	0	0	Motor_Basico	Bomba de agua	BOMBA DE AGI	INOPERATIVO	FUGA DE REFRIGERANTE	BOMBA CON FUGA	EVALUACION DE FUGA DE REFRIGERANTE, DESMONTAJE DE BOMBA
6474	2015	05 MAYO	07-may	N	345-06	0	0	Enfriamiento_mot	Bomba de agua	BOMBA DE AGI	INOPERATIVO	FUGA DE REFRIGERANTE	BOMBA DE AGUA CON DESGASTE	SE REALIZO MONTAJE DE BOMBA DE AGUA Y ACCESORIOS DE BOMBA DE AGUA
6474	2015	05 MAYO	07-may	N	345-06	0	0	Enfriamiento_mot	Bomba de agua	BOMBA DE AGI	INOPERATIVO	FUGA DE REFRIGERANTE	BOMBA DE AGUA CON DESGASTE	SE REALIZO MONTAJE DE BOMBA DE AGUA Y ACCESORIOS DE BOMBA DE AGUA
6474	2015	05 MAYO	07-may	N	345-06	0	0	Enfriamiento_mot	Bomba de agua	BOMBA DE AGI	INOPERATIVO	FUGA DE REFRIGERANTE	BOMBA DE AGUA CON DESGASTE	SE REALIZO MONTAJE DE BOMBA DE AGUA Y ACCESORIOS DE BOMBA DE AGUA
6492	2015	05 MAYO	08-may	D	345-06	0	0	Enfriamiento_mot	Radiador	RADIADOR	INOPERATIVO	FRACURA DE TUBERIA DE RADIADOR		DESINSTALACION DEL RADIADOR Y LINEAS HYD, DESMONTAJE DE RADIADOR
6492	2015	05 MAYO	08-may	D	345-06	0	0	Enfriamiento_mot	Radiador	RADIADOR	INOPERATIVO	FRACURA DE TUBERIA DE RADIADOR		DESINSTALACION DEL RADIADOR Y LINEAS HYD, DESMONTAJE DE RADIADOR
0	2015	05 MAYO	09-may	D	345-06	0	0							
6566	2015	05 MAYO	10-may	D	345-06	0	0	Herramientas	Cucharon	ADAPTERS	INOPERATIVO	ADAPTER LATERALES DAÑADOS	DESGASTE POR HORAS DE SERVICIO	SE SOLDÓ FISURAS, SE COLOCÓ REFUERZO DE LATERALES
6586	2015	05 MAYO	10-may	D	345-06	0	0	Enfriamiento_mot	Radiador	RADIADOR	INOPERATIVO	RADIADOR RAJADO DEL MOTOR		CAMBIO DE PANEL, INST. DE GUARDAS Y SOPORTES, MONT. DEL GRUPO DE RADIADORES, INS
6586	2015	05 MAYO	10-may	D	345-06	0	0	Enfriamiento_mot	Radiador	RADIADOR	INOPERATIVO	RADIADOR RAJADO DEL MOTOR		CAMBIO DE PANEL, INST. DE GUARDAS Y SOPORTES, MONT. DEL GRUPO DE RADIADORES, INS
6572	2015	05 MAYO	10-may	N	345-06	0	0	Enfriamiento_mot	Radiador	RADIADOR	OPERATIVO	RUPTURA DE RADIADOR	MATERIAL DEBILITADO	CULMINACION DE MONTAJE DE ENFRIAMIENTO, ACCESORIOS Y LINEAS DE AIRE, REEMPLAZO
6572	2015	05 MAYO	10-may	N	345-06	0	0	Enfriamiento_mot	Radiador	RADIADOR	OPERATIVO	RUPTURA DE RADIADOR	MATERIAL DEBILITADO	CULMINACION DE MONTAJE DE ENFRIAMIENTO, ACCESORIOS Y LINEAS DE AIRE, REEMPLAZO
6572	2015	05 MAYO	10-may	N	345-06	0	0	Enfriamiento_mot	Radiador	RADIADOR	OPERATIVO	RUPTURA DE RADIADOR	MATERIAL DEBILITADO	CULMINACION DE MONTAJE DE ENFRIAMIENTO, ACCESORIOS Y LINEAS DE AIRE, REEMPLAZO
6572	2015	05 MAYO	10-may	N	345-06	0	0	Enfriamiento_mot	Radiador	RADIADOR	OPERATIVO	RUPTURA DE RADIADOR	MATERIAL DEBILITADO	CULMINACION DE MONTAJE DE ENFRIAMIENTO, ACCESORIOS Y LINEAS DE AIRE, REEMPLAZO
6784	2015	05 MAYO	11-may	D	345-06	0	1	Maquina_Basica	Maquina General	MAQUINA	OPERATIVO	FUGA DE ACEITE POR LA VALVULA DE FLUJO NE SELLOS GASTADO, RETEN EN MAL ESTADO		CAMBIO DE FOCOS, CAMBIO DE SWICHT DE GIRO
6785	2015	05 MAYO	11-may	N	345-06	0	1	Maquina_Basica	Maquina General	MAQUINA	OPERATIVO			INSPECCION PUNTAS, MANGUERAS, NIVELES DE ACEITE
6785	2015	05 MAYO	11-may	N	345-06	0	0	Maquina_Basica	Maquina General	MAQUINA	OPERATIVO			INSPECCION PUNTAS, MANGUERAS, NIVELES DE ACEITE
6785	2015	05 MAYO	11-may	N	345-06	0	0	Maquina_Basica	Maquina General	MAQUINA	OPERATIVO			INSPECCION PUNTAS, MANGUERAS, NIVELES DE ACEITE
6621	2015	05 MAYO	12-may	N	345-06	0	1	Herramientas	Cucharon	GETS	OPERATIVO	DESGASTE DE ELEMENTOS DE CORTE	HORAS DE TRABAJO	SE REALIZO INSPECCION DE EQUIPOS EN TAJO APUMAYO, DE ELEMENTOS DE CORTE DE CUCH
6621	2015	05 MAYO	12-may	N	345-06	0	0	Herramientas	Cucharon	GETS	OPERATIVO	DESGASTE DE ELEMENTOS DE CORTE	HORAS DE TRABAJO	SE REALIZO INSPECCION DE EQUIPOS EN TAJO APUMAYO, DE ELEMENTOS DE CORTE DE CUCH
6675	2015	05 MAYO	13-may	D	345-06	0	1	Maquina_Basica	Maquina General	MAQUINA	OPERATIVO	INSPECCION DE INCIO DE GUARDIA		INSPECCION DE LUCES DE CLAXON
6675	2015	05 MAYO	13-may	D	345-06	0	0	Maquina_Basica	Maquina General	MAQUINA	OPERATIVO	INSPECCION DE INCIO DE GUARDIA		INSPECCION DE LUCES DE CLAXON
6675	2015	05 MAYO	13-may	D	345-06	0	0	Maquina_Basica	Maquina General	MAQUINA	OPERATIVO	INSPECCION DE INCIO DE GUARDIA		INSPECCION DE LUCES DE CLAXON
6708	2015	05 MAYO	14-may	D	345-06	0	0	Herramientas	Cucharon	Cucharon	STAND BY	FISURAS Y PLANCHAS DE REFUERZO CON DESG/FATIGA DE MATERIAL		HABILITADO DE MATERIAL DE REFUERZO DE CORTE PLANCHAS
6804	2015	05 MAYO	15-may	D	345-06	0	1	Maquina_Basica	Maquina General	MAQUINA	OPERATIVO			INSPECCION PUNTAS, MANGUERAS, NIVELES DE ACEITE
6804	2015	05 MAYO	15-may	D	345-06	0	0	Maquina_Basica	Maquina General	MAQUINA	OPERATIVO			INSPECCION PUNTAS, MANGUERAS, NIVELES DE ACEITE
6893	2015	05 MAYO	15-may	D	345-06	0	0	Maquina_Basica	Maquina General	MAQUINA	STAND BY			LUBRICACION Y ENGRASE GENERAL
6895	2015	05 MAYO	16-may	D	345-06	0	1	Maquina_Basica	Maquina General	MAQUINA	OPERATIVO			LUBRICACION Y ENGRASE GENERAL
6820	2015	05 MAYO	16-may	N	345-06	0	0					PLANCHA DE REFUERZO GASTADO, FISURA DE L	FATIGA	CORTE PLANCHA GASTADO TELONEROS
6847	2015	05 MAYO	17-may	D	345-06	0	0	Herramientas	Cucharon	CUCHARON	STAND BY	FISURAS EN LABIO	FATIGA	SOLDEO DE FISURA
6684	2015	05 MAYO	17-may	N	345-06	0	1	Maquina_Basica	Maquina General	MAQUINA	OPERATIVO			INSPECCION EN CAMPO, REVISION DE NIVELES DE FLUIDOS
6684	2015	05 MAYO	17-may	N	345-06	0	0	Maquina_Basica	Maquina General	MAQUINA	OPERATIVO			INSPECCION EN CAMPO, REVISION DE NIVELES DE FLUIDOS
6684	2015	05 MAYO	17-may	N	345-06	0	0	Maquina_Basica	Maquina General	MAQUINA	OPERATIVO			INSPECCION EN CAMPO, REVISION DE NIVELES DE FLUIDOS
6896	2015	05 MAYO	18-may	D	345-06	0	1	Maquina_Basica	Maquina General	MAQUINA	OPERATIVO		HORAS DE TRABAJO	LUBRICACION Y ENGRASE GENERAL
6896	2015	05 MAYO	18-may	D	345-06	0	0	Maquina_Basica	Maquina General	MAQUINA	OPERATIVO		HORAS DE TRABAJO	LUBRICACION Y ENGRASE GENERAL

ANEXO 05: CONTROL DE COMPONENTES

CONTROL DE COMPONENTES MAYORES Y MENORES							ULTIMO HOROMETRO DE EQUIPO ACTUALIZADO			ULTIMO CAMBIO		HORAS DE COMPONENTE EN EQUIPO			PROXIMO CAMBIO APROXIMADO		CAMBIO 01			
MOD.	COD	SISTEMA	COMPONENTE	Cant.	VIDA UTIL	ESTADO	HORAS MAQUINA	H/DIA PROM.	FECHA ULT. HOROMETRO	HOROMETRO INSTALADO	FECHA INSTALACION	HORAS DE TRABAJO	ACUMULADO	HORAS FALTANTES	FECHA PROXIMO CAMBIO	HOROMETRO PROXIMO CAMBIO	HOROMETRO	FECHA	HORAS COMP. INSTALADO	N/R
345CL	345-06	MOTOR	MOTOR	1	14000	R	4393	15	04/09/2014	4393	02/09/2014	-0.4		14001	03/01/2053	18393	4393.4	02-09-14	0	R
345CL	345-06	MOTOR	TURBO	1	7000	R	4393	15	04/09/2014	4393	02/09/2014	-0.4		7001	04/11/2033	11393	2337	11-04-14		R
345CL	345-06	MOTOR	INYECTORES	6	7000	R	4393	15	04/09/2014	4393	02/09/2014	-0.4		7001	04/11/2033	11393				
345CL	345-06	MOTOR	ENFRIADOR DE ACEITE	1	10000	R	4393	15	04/09/2014	4393	02/09/2014	-0.4		10001	21/01/2042	14393	3540	04-07-14	0	N DE
345CL	345-06	MOTOR	AFTERCOOLER	1	14000	R	4393	15	04/09/2014	4393	02/09/2014	-0.4		14001	03/01/2053	18393	4393.4	02-09-14	0	R
345CL	345-06	MOTOR	COMPRESOR A/C	1	14000	N	4393	15	04/09/2014	2337	11/04/2014	2056		11944	18/05/2047	16337	2337	11-04-14		N
345CL	345-06	MOTOR	BOMBA DE REFRIGERANTE	1	7000	R	4393	15	04/09/2014	4393	02/09/2014	-0.4		7001	04/11/2033	11393	4393.4	02-09-14	0	R
345CL	345-06	MOTOR	FAJA ALTERNADOR / COMPRESOR	1	4000	R	4393	15	04/09/2014	4393	02/09/2014	-0.4		4001	18/08/2025	8393	4393.4	02-09-14	0	R
345CL	345-06	ELÉCTRICO	ALTERNADOR	1	4000	U	4393	15	04/09/2014	2042	18/03/2014	2350.7		1650	12/03/2019	6042	2042.3	18-03-14	7912	U
345CL	345-06	ELÉCTRICO	ARRANCADOR	1	4000	0	4393	15	04/09/2014	0	00/01/1900	4393		-393	07/08/2013	4000				
345CL	345-06	ELÉCTRICO	ECM	1	14000	R	4393	15	04/09/2014	2690	27/05/2014	1703		12297	05/05/2048	16690	2690	27-05-14	0	R
345CL	345-06	ELÉCTRICO	BATERÍAS	2	6000	0	4393	15	04/09/2014	0	00/01/1900	4393		1607	28/01/2019	6000				
345CL	345-06	HIDRAULICO	BOMBA PRINCIPAL	1	14000	0	4393	15	04/09/2014	0	00/01/1900	4393		9607	23/12/2040	14000				
345CL	345-06	HIDRAULICO	BOMBA PILOTO	1	14000	0	4393	15	04/09/2014	0	00/01/1900	4393		9607	23/12/2040	14000				
345CL	345-06	HIDRAULICO	BOMBA DE FAN	1	7000	0	4393	15	04/09/2014	0	00/01/1900	4393		2607	24/10/2021	7000				
345CL	345-06	HIDRAULICO	ENFRIADOR DE ACEITE	1	14000	0	4393	15	04/09/2014	0	00/01/1900	4393		9607	23/12/2040	14000				
345CL	345-06	HIDRAULICO	MOTOR DE FAN	1	14000	0	4393	15	04/09/2014	0	00/01/1900	4393		9607	23/12/2040	14000				
345CL	345-06	HIDRAULICO	CILINDRO BOOM RH	1	10000	0	4393	15	04/09/2014	0	00/01/1900	4393		5607	10/01/2030	10000				
345CL	345-06	HIDRAULICO	CILINDRO BOOM LH	1	10000	0	4393	15	04/09/2014	0	00/01/1900	4393		5607	10/01/2030	10000				
345CL	345-06	HIDRAULICO	CILINDRO STICK	1	10000	0	4393	15	04/09/2014	0	00/01/1900	4393		5607	10/01/2030	10000				
345CL	345-06	HIDRAULICO	CILINDRO BUCKET	1	10000	0	4393	15	04/09/2014	0	00/01/1900	4393		5607	10/01/2030	10000				
345CL	345-06	HIDRAULICO	MOTOR DE GIRO RH	1	14000	0	4393	15	04/09/2014	0	00/01/1900	4393		9607	23/12/2040	14000				

ANEXO 06: ANÁLISIS DE ACEITE

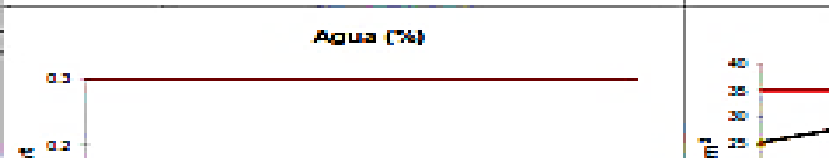
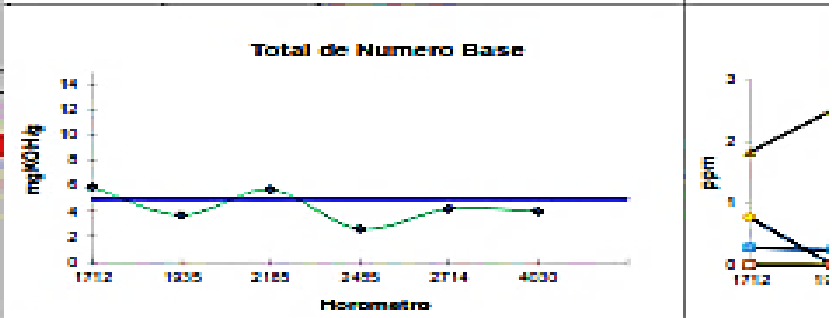
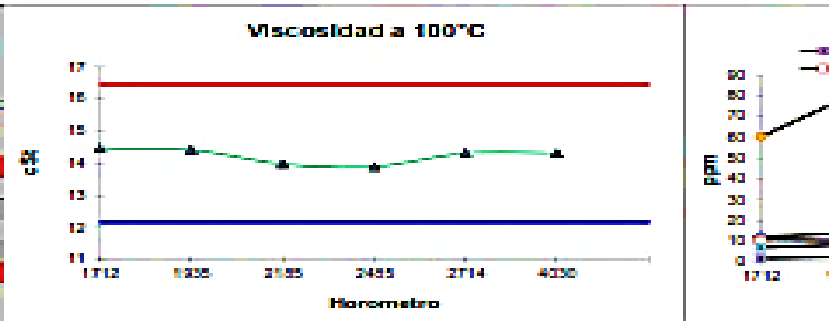
OBSERVACIONES:

Cobre se encuentra demasiado elevado. Hierro se encuentra ligeramente elevado. Total Numero Base a establecido para un aceite Mobil Delvac MX 15W40. El consumo de Aceite se encuentra en el límite superior. Revisar Parámetros/Temperaturas de operación, Revisar presiones de Lubricación, Revisar Ajustes/Limpie por Agua/Combustible, Revisar fugas de Aceite/Peñones, Fugas en Sellos/Embrague/arriba, Revisar piezas


RECOMENDACIONES:

INFORME DE RESULTADOS

	APU-1359 28-02-14 05-03-14 08-03-14	APU-1402 18-03-14 21-03-14 24-03-14	APU-1475 25-03-14 15-04-14 15-04-14	APU-1575 22-04-14 05-05-14 08-05-14	APU-1529 06-05-14 10-05-14 13-05-14	APU-1916 06-08-14 15-08-14 19-08-14
	MOBELVA 15W40 308	MOBELVA 15W40 222	MOBELVA 15W40 251	MOBELVA 15W40 270	MOBELVA 15W40 229	MOBELVA 15W40 245
	1712	1935	2155	2455	2714	4030
	0	0	0	9	9	19
	14.5	14.4	14.0	13.9	14.3	14.3
	5.9	3.7	5.7	2.5	4.2	4.0
	17.5	20.0	19.2	23.0	21.6	24.5
	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.01
	9.3	8.9	9.0	9.3	9.3	9.5
	25.3	25.0	26.1	31.0	28.2	29.5
	1.3	1.5	1.1	1.5	1.1	0.9
	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
	60	79	42	59	49	42
	2	3	2	3	2	2
	12	14	7	14	8	74
	2	3	2	3	2	2
	0	0	0	0	0	0
	11	10	6	6	6	9
	2	2	2	2	2	2
	1	0	0	1	1	1
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	1	1	1	1	1	1
	0	0	0	0	0	0
	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
	7	9	10	10	8	8
	3	5	4	5	5	9
	3	1	1	1	1	1
	0	1	0	1	1	1
	1	1	1	1	2	1



ANEXO 07: REGISTRO DE CONTROL DE LUBRICANTES.

 OT - REGISTRO DE CONTROL DE LUBRICANTES																			
N°	DNI TECNICO	CÓDIGO DEL EQUIPO	C. COSTO	HR / KM	HORA INICIO HORA DE FIN	TIPO DE APLICACIÓN	SUBTIPO	DESCRIPCIÓN DE LUBRICANTE											
								LUB05501065	LUB05501008	LUB05501028	LUB05501029	LUB05501138	LUB05501037	LUB05502013	LUB05501123	LUB05501124	LUB05503025	ESPECIFICAR	
								15W40	TC10W	TC30	TC50	80W90	85W140	GRASA	RARUS SHC	COOLANT	DESENGRASANTE	OTRO LUB	
1						RELLENO	FUGA												
							CONSUMO												
							PM												
2						RELLENO	FUGA												
							CONSUMO												
							PM												
3						RELLENO	FUGA												
							CONSUMO												
							PM												
4						RELLENO	FUGA												
							CONSUMO												
							PM												
10						RELLENO	FUGA												
							CONSUMO												
							PM												
OBSERVACIONES:						TOTAL CONSUMO													
						SALDO INICIAL													
						SALDO ACTUAL													
						INGRESO NUEVO													

FECHA	
TURNO	
RESPONSABLE	

VB SUPERVISOR	VB MANFAMIENTO
---------------	----------------

ANEXO 08: PRUEBA DE T STUDENTS PARA LAS MUESTRAS RELACIONADAS CON SPSS

T-TEST PAIRS=ANTES WITH DESPUES (PAIRED)
 /CRITERIA=CI (.9500)
 /MISSING=ANALYSIS.

[Conjunto_de_datos1]

Prueba T

Estadísticas de muestras emparejadas

	Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1 ANTES	82,9000	20	24,98189	5,58612
DESPUES	93,3000	20	4,66905	1,04403

Correlaciones de muestras emparejadas

	N	Correlación	Sig.
Par 1 ANTES & DESPUES	20	,773	,000

Prueba de muestras emparejadas

	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par 1 ANTES - DESPUES	-10,40000	21,57825	4,82504	-20,49893	-,30107	-2,155	19	,044

ANEXO 09: DATOS PARA LA PRUEBA DE LA HIPOTESIS CON SPSS

*Sin título1 [Conjunto_de_datos0] - IBM SPSS Statistics Editor de datos

Archivo Editar Ver Datos Transformar Analizar Marketing directo Gráficos Utilidades Ventana Ayuda

Visible: 2 de 2 variables

	Antes	Despues	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var
1	89,00	89,00																	
2	95,00	95,00																	
3	73,00	95,00																	
4	100,00	100,00																	
5	12,00	85,00																	
6	98,00	98,00																	
7	95,00	95,00																	
8	95,00	95,00																	
9	100,00	100,00																	
10	97,00	97,00																	
11	98,00	98,00																	
12	88,00	93,00																	
13	76,00	89,00																	
14	16,00	85,00																	
15	78,00	90,00																	
16	97,00	97,00																	
17	94,00	94,00																	
18	79,00	86,00																	
19	93,00	93,00																	
20	85,00	92,00																	
21																			
22																			
23																			
24																			
25																			
26																			
27																			
28																			

Vista de datos Vista de variables