



Facultad de Ingeniería

Ingeniería Mecánica

Tesis:

“Elaboración de un plan de mantenimiento para incrementar la disponibilidad inherente en el sistema hidráulico de las excavadoras CATERPILLAR 330BL aplicando la metodología RCM”

Jose Guillermo Martínez Guillen

David Juan Rojas Huayanay

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico

Asesor: Johan Carlos Fernández Muñoz

Lima – Perú

2022

Elaboración de un plan de mantenimiento para incrementar la disponibilidad inherente en el sistema hidráulico de las excavadoras CATERPILLAR 330BL aplicando la metodología RCM

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	2%
2	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	docplayer.es Fuente de Internet	1%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Tecsup Trabajo del estudiante	1%
6	www.dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.usil.edu.pe Fuente de Internet	<1%

repositorio.ug.edu.ec

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedicamos a nuestros padres y hermanos que nos apoyaron de manera incondicional.

Gracias por el sacrificio que hicieron por nosotros y ahora nosotros lo retribuimos con el esfuerzo que realizamos en este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Primero agradecer a Dios por la vida y salud y a nuestra hermosa familia que nos apoyaron en este proceso, asimismo a nuestro asesor compartirnos sus enseñanzas y experiencias durante el desarrollo la tesis.

RESUMEN

La presente tesis consistió en la aplicación de la metodología RCM (Reliability Cented Maintenance – Mantenimiento centrado en la confiabilidad) la cual nos permitió aumentar la disponibilidad inherente en el sistema más crítico de las excavadoras CATERPILLAR 330BL.

Se identificó el equipo que presenta menor disponibilidad inherente y que sistema presentó la mayor cantidad de fallos con la ayuda de la herramienta de Jack-Knife, se elaboró una matriz de historial de fallas del sistema hidráulico, obteniendo una disponibilidad inherente del 76.15%. Se realizó un cuadro de costos, identificando el impacto económico por pérdidas por ineficiencia, el cual el monto supera a los \$40.000 desde julio del 2021.

Se llevó a cabo la ejecución del análisis de modo y efecto de falla, identificando los fallos funcionales, modo de falla, efecto de falla, consecuencias operativas, costo total por inoperatividad, consecuencias humanas y medio ambiente. Se procedió con la elaboración de la hoja de decisión para identificar las tareas de mantenimiento y proponer tareas, el cual nos ayudó a clasificar las actividades como tarea a condición, tarea de reacondicionamiento cíclico y tarea de sustitución cíclica.

En conclusión, se elaboró un programa de mantenimiento considerando el protocolo de fábrica y basado en la metodología RCM. Se logró incrementar la disponibilidad inherente en un 10.6%.

INDICE

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS	II
RESUMEN	III
ABREVIATURAS	VIII
LISTA DE GRÁFICOS	IX
LISTA DE TABLAS	XI
INTRODUCCIÓN	XII
OBJETIVO GENERAL	XII
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	XIII
CAPÍTULO 1.....	15
REVISIÓN DE LA LITERATURA ACTUAL.....	15
CAPÍTULO 2.....	21
MARCO TEÓRICO	21
2.1. DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO	21
2.1.1. Tipos de Mantenimiento	21
2.1.1.1. El Mantenimiento Rutinario	22
2.1.1.2. El Mantenimiento Programado	22
2.1.1.3. El Mantenimiento por avería o reparación	22
2.1.1.4. El Mantenimiento correctivo	23
2.1.1.5. El Mantenimiento Predictivo.....	23
2.1.1.6. El Mantenimiento preventivo	23
2.2. PARÁMETROS DE MANTENIMIENTO.....	24

2.3.	GESTIÓN DE ACTIVOS.....	24
2.4.	GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	25
2.4.1.	Las Etapas de Gestión de Mantenimiento.	25
2.4.1.1.	Planificación	25
2.4.1.2.	Programación.....	26
2.4.1.3.	Ejecución, control y evaluación.....	26
2.5.	MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM).....	27
2.5.1.	Los objetivos del mantenimiento Productivo Total	27
2.6.	MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD	28
2.7.	DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA.....	31
2.8.	RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN DEL ACTIVO	31
2.9.	METODOLOGÍA AMEF	32
2.10.	PROCESOS PARA REALIZAR EL AMEF.....	33
2.11.	DURANTE EL ANÁLISIS	35
2.12.	ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS	35
2.13.	AMEF DE PROCESOS Y MEDIOS.....	36
2.13.1.	Tipos de AMEF.....	36
2.14.	FALLAS FUNCIONALES	37
2.14.1.	Modos de falla.....	37
2.15.	FUNCIÓN DEL MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD.....	37
2.16.	MTBF (TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS)	39
2.17.	MTTR (TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN)	39
2.18.	DISPONIBILIDAD.....	40
2.18.1.	Disponibilidad Inherente	40
2.19.	CRITERIOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE PLAN DE TRABAJO	40
2.20.	INDICADORES FINANCIEROS	40
2.20.1.	Tasa interna de retorno (TIR)	40
2.20.2.	Valor actual neto (VAN).....	41

CAPITULO 3:	42
METODOLOGIA DE LA SOLUCIÓN	42
3.1. UBICACIÓN.....	42
3.2. RECOPIACIÓN DE DATOS.....	43
3.3. ANÁLISIS AMEF.....	43
3.4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	1
3.5. MANTENIMIENTO PREVENTIVO PERIÓDICOS:.....	3
3.6. SISTEMAS DE LA EXCAVADORA 330 BL (SISCAT 2.0).....	4
3.6.1. Subsistemas de la excavadora 330BL.....	5
3.6.1.1. Sistema de bastidor y caja.....	5
3.6.1.2. Sistema de cabina del operador.....	5
3.6.1.3. Sistema de Herramientas.....	6
3.6.1.4. Sistema de Implemento.....	7
3.6.1.5. Sistema de motor.....	7
3.6.1.6. Sistema eléctrico y de arranque.....	8
3.6.1.7. Sistema hidráulico.....	8
3.6.1.8. Suministro y equipos de servicio.....	9
3.6.1.9. Sistema de tren de fuerza.....	10
3.6.1.10. Sistema de tren de rodaje.....	10
3.6.2. Fallas en el Sistema Hidráulico.....	11
3.6.2.1. Falla en el control de válvulas y spool.....	11
3.6.2.2. Falla en el resorte de spool.....	11
3.6.2.3. Falla de tapa de spool.....	12
3.6.2.4. Falla en los sellos del control de válvulas.....	13
3.6.2.5. Fallas en la bomba hidráulica LH y RH.....	13
3.6.2.6. Falla en los pistones de bomba hidráulica.....	14
3.6.2.7. Falla en el tanque hidráulico.....	15
3.6.2.8. Falla en el cilindro del boom.....	15
3.6.2.9. Falla en la bomba de engranaje.....	16
3.6.2.10. Falla en el cilindro del stick.....	17

3.6.2.11. Falla en el motor de giro	17
3.6.2.12. Falla en el motor de traslación	18
3.7. DESARROLLO DE LA AMEF	19
3.8. HOJA DE DECISIÓN.....	27
3.9. PLAN DE MANTENIMIENTO.....	31
CAPITULO 4.....	34
RESULTADOS Y DISCUSION	34
CONCLUSIONES.....	38
RECOMENDACIONES.....	39
BIBLIOGRAFÍA	40

Anexo

Reporte Técnico

ABREVIATURAS

Notación Definición

MTTR Tiempo medio de reparación

MTBF Tiempo medio entre fallas

DI Disponibilidad Inherente

B/C Relación beneficio – costo

RCM Mantenimiento centrado en la confiabilidad

TPM Mantenimiento total productivo

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico	Titulo	Página
Gráfico 1:	Proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad.....	29
Gráfico 2:	Pasos adicionales propuestos para la metodología de RCM	31
Gráfico 3:	Ubicación de la unidad Alpacay.....	43
Gráfico 3:	Cantidad de fallas por equipo	43
Gráfico 5:	Diagrama de Jack-knife -Equipos	4
Gráfico 6:	Diagrama de Jack-knife- Subsistema	5
Gráfico 7:	Excavadora CAT 330 BL	5
Gráfico 8:	Sistema SIS 2.0	6
Gráfico 9:	Sistema de bastidor y caja.....	7
Gráfico 10:	Sistema de cabina del operador	7
Gráfico 11:	Sistema de herramientas.....	8
Gráfico 12:	Sistema de implementos	8
Gráfico 13:	Sistema de motor	9
Gráfico 14:	Sistema eléctrico y de arranque	10
Gráfico 15:	Sistema hidráulico	10
Gráfico 16:	Suministro y equipos de servicio	11
Gráfico 17:	Sistema de tren de fuerza.....	11
Gráfico 18:	Sistema de tren de rodaje.....	12
Gráfico 19:	Control de válvulas	13
Gráfico 20:	Resorte de spool	13
Gráfico 21:	Tapa de spool.....	14
Gráfico 22:	Sellos de control de válvulas	16
Gráfico 23:	Bomba RH y LH.....	15

Gráfico 24: Pistones de bomba hidráulica.....	16
Gráfico 25: Tanque hidráulico	16
Gráfico 26: Cilindro del Boom	18
Gráfico 27: Bomba de engranaje	18
Gráfico 28: Cilindro del Stick.....	26
Gráfico 29: Motor de giro	26
Gráfico 30: Motor de traslación	26
Gráfico 31: Diagrama de decisión.....	26

LISTA DE TABLAS

Tabla	Título	Página
Tabla 1:	Base de datos para la elaboración de Jack-Knife.....	3
Tabla 2:	Base de datos con la cantidad de fallas por sistema.....	3
Tabla 3:	Historial de fallas por sistema hidráulico	3
Tabla 4:	Especificaciones técnicas	
Tabla 5:	Mantenimiento Preventivo Periódicos	21
Tabla 6:	AMEF.....	28
Tabla 7:	Hojas de decisión.....	28
Tabla 8:	Programa de mantenimiento	28
Tabla 9:	Disponibilidad Inherente inicial.....	28
Tabla 10:	Disponibilidad Inherente final	28
Tabla 11:	Entrenamiento técnico	28

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el sector de mantenimiento de maquinaria pesada está en una búsqueda permanente de mejora de servicios para garantizar la vida útil de los equipos, por lo que es imprescindible la implementación de un plan de mantenimiento con el fin de incrementar la disponibilidad y confiabilidad de equipos.

Se busca aumentar la disponibilidad inherente de la excavadora Caterpillar 330BL, la cual presenta mayores pérdidas por paradas imprevistas generando un impacto económico negativo en los últimos meses.

Para hacer frente a este problema se elaboró un plan de mantenimiento que permite incrementar la disponibilidad inherente utilizando la metodología RCM, teniendo como dato inicial una disponibilidad inherente del sistema hidráulico de 76.15%. Se realizó un esquema de mantenimiento con el propósito de minimizar los correctivos no programados.

Objetivo General

- Determinar de qué manera la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) contribuirá en el desarrollo de un plan de mantenimiento que permita incrementar la disponibilidad inherente en el sistema hidráulico de las excavadoras CATERPILLAR 330BL.

Objetivos Específicos

- Determinar de qué manera el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) incrementará el tiempo promedio entre fallas (MTBF) en el sistema hidráulico de las excavadoras CATERPILLAR 330BL.
- Determinar de qué manera el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) reducirá el tiempo promedio de reparación (MTTR) en el sistema hidráulico de las excavadoras CATERPILLAR 330BL.
- Determinar de qué manera el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) incrementará la disponibilidad inherente en el sistema hidráulico de las excavadoras CATERPILLAR 330BL.

CAPÍTULO 1

REVISIÓN DE LA LITERATURA ACTUAL

El estudio realizado por J. Medina [1] ayudó a disminuir los imprevistos en equipos pesados utilizando la metodología RCM, al inicio se priorizó la jerarquización de los equipos valiosos con altos costes de mantenimiento y niveles de fabricación que afecten de manera directa e indirecta a la empresa en caso de contratiempos o paradas no programadas. Asimismo, con la aplicación del cuadro de AMEF el autor pudo identificar los principales fallos críticos de la flota de maquinaria pesada y realizó un programa de mantenimiento con la ayuda del análisis de aceite. Seguidamente planificó las principales tareas a realizar por cada mantenimiento basado en horas. Con esto logró reducir el parámetro MTTR e incrementando el MTBF de los equipos a 97.38%.

Por su parte Y. Villajulca [2] implementó un plan de mantenimiento basado en RCM que permite identificar las fallas críticas en sistemas y subsistemas de la flota de vehicular de la empresa TRC SAC. Para ello realizó un estudio de criticidad de componentes con mayor periodicidad de fallas, verificando de esta forma que los sistemas integrales tiendan a fallar por una mala planificación de las unidades. Por lo tanto, ejecutó tareas correctivas para cada efecto y modo de falla acorde al plan de mantenimiento. Al final logró reducir el número de fallos en la flota permitiendo así un aumento en la disponibilidad de estas.

Del mismo modo H. Salvatierra [3] efectuó un estudio de criticidad para los sistemas y subsistemas en equipos Cat 336 D2L aplicando AMEF en la empresa Baeira SAC con el objetivo de incrementar la confiabilidad de dicha máquina. Inicialmente analizó el total del sistema para después dividirlos en subsistemas y finalizar dicho análisis para cada componente; así pudo detectar las fallas críticas. Esto lo ayudó a tomar decisiones asertivas durante la programación y desarrollo de los mantenimientos. Como resultado a este estudio pudo inferir que el atraso de los mantenimientos se debía a la poca disponibilidad de repuestos, lo que influyó sobre la operatividad del equipo y producción programada.

Asimismo, E. Labra [4] para aumentar la disponibilidad en las maquinarias diseñó un plan de mantenimiento aplicando RCM a través de la matriz de criticidad, bajo los criterios que inicia por la identificación de los componentes, la frecuencia de fallas y elevados costes de mantenimiento. De esta forma, logró identificar que los componentes más críticos se hallan en el subsistema de combustible, subsistema de lubricación y la bomba hidráulica en las distintas maquinarias de la flota de equipo pesados.

En tal sentido, L. Pacheco [5] en su estudio para la empresa HYDRO PATAPO SAC aplicó la metodología del RCM para minimizar la frecuencia de fallas en las maquinarias. El resultado de esta aplicación arrojó un total de 334 fallas equivalentes a 1454 horas, identificando los equipos críticos: excavadora inoperativa con 401 horas; cargador frontal 413 horas inoperativas (tiempo de reparación) entre febrero del 2014 hasta julio del 2016, el cual constituye un 0,25% y 0,42% del porcentaje de tiempo de parada, representando para la compañía un coste de 56 341 dólares para la primera y 44 899 dólares para el segundo. Con esto el autor identificó las falencias de la empresa en la gestión mantenimiento de estos equipos, ya que durante la realización de la obra se vienen manifestando fallas tales como: obstrucción en las baterías, filtros, bomba hidráulica, y sistemas de transmisión.

Por otro lado R. Janampa [6] para incrementar la confiabilidad de una excavadora 320D, utilizó el método de análisis para identificar las fallas funcionales, la cual consiste en un análisis Inductivo –Deductivo, tomando en cuenta estudios realizados con anterioridad, para tener soporte en estos y analizar las incidencias presentadas en la maquinaria. En principio la Compañía RAURA tiene una capacidad de producción en promedio de 2.500 toneladas por día; no obstante, debido a las paradas no programadas de su máquina esta capacidad se ha reducido. Por ello el autor realizó un plan de mantenimiento y contingencia, logrando incrementar la confiabilidad de un valor inicial de 0,014 a 0,0094; con esto la disponibilidad también ascendió de 83 % a un 86 %, empleando la técnica de análisis de fallas funcionales. Para esto recopiló una data actualizada sobre dicha máquina. Por último, el autor infirió que es necesario ejecutar un plan de mantenimiento específico acorde a las condiciones de trabajo si se pretende mejorar los indicadores de confiabilidad y disponibilidad.

Por otra parte, J. Díaz [7] implementó RCM en las máquinas críticas y logró reducir notablemente las paradas imprevistas con la ayuda de la herramienta AMEF. Asimismo, realizó un análisis de frecuencia de falla mediante el análisis de criticidad, logrando aumentar la disponibilidad de la flota en un 8.6%.

A su vez, R. Chávez [8] analizó el desarrollo integral sobre la optimización del mantenimiento de los equipos, aplicando RCM basado en la mejora continua; asimismo, para programar los mantenimientos se tiene que tener en cuenta el contexto operacional. Con esto logró desarrollar el proceso de mantenimiento permitiendo incrementar la disponibilidad operacional de la flota crítica de maquinaria pesada en un 4%, esto representa el 97% de los tiempos de paradas más frecuentes de los equipos.

J. Sánchez [9]; aplicó un programa de mantenimiento RCM, en el que se identificaron las causas de las fallas para después proponer soluciones técnicas viables y económicas. En este estudio el autor realizó el prorrateo de fallas para los 3 sistemas: en el motor se verifica un valor inicial de 93.8%, el mismo que se reduce a medida que aumenta el uso

hasta un 19%, con una tasa de falla del 0.00019%; en el sistema eléctrico el valor fue de un 93.4% reduciendo su valor luego de las 6000 horas de uso, con una tasa de falla de 0.00018%; por último, el sistema hidráulico presentó un porcentaje 96.7%, el cual se reduce a 56% con una frecuencia de 4005 horas a una tasa de falla de 0.00019%. Aplicando la matriz AMFE logró determinar que estos sistemas (motor/sistema eléctrico/sistema hidráulico) presentan un mayor índice de riesgo por lo que la disponibilidad de la excavadora 345 DL es baja; asimismo, identificó que los componentes son el pistón, varilla del motor, el sistema de enfriamiento, inyección de combustible, arrancador eléctrico, válvulas y bomba hidráulica.

C. Casachagua [10]; logró incrementar la disponibilidad mecánica de las excavadoras CATERPILLAR 336 de un valor inicial de 81% a 90% utilizando la metodología del RCM. Para esto determinó las posibles fallas críticas e identificó la criticidad de las maquinarias, después de realizar el plan de mantenimiento, como plan de contingencia se propuso las constantes capacitaciones para el personal técnico y operadores involucrados en la empresa, esto ayudo a mejorar muchos aspectos cualitativos en la organización promoviendo una cultura de mejora continua.

Por otro lado, C. Estrada [11]; realizó un estudio de la excavadora CAT 349 D2L en el cual tenía una baja disponibilidad ya que los mantenimientos preventivos tenían un alto grado de no precisión en la ejecución de dichos, asimismo identificó que el sistema de tren de potencia era el más crítico. Por ello C. Estrada, utiliza la metodología RCM analizando el estado actual y la criticidad de la flota de excavadoras para identificar las causas que generan la baja disponibilidad de estas. Por último, se evaluó la tasa de fallas y la confiabilidad, además de analizar las propuestas de tareas con ayuda de la hoja de decisión.

V. Torrealba [12]; elaboró un programa de mantenimiento empleando la metodología RCM con la finalidad de aumentar la disponibilidad mecánica de las excavadoras CAT 336 con ayuda de la herramienta AMEF. Con ello se aumentó la disponibilidad de las

excavadoras a través de la corrección de incidencias y modos de falla originadas por las paradas no programadas y a su vez se minimizaron las mismas. Al finalizar dicho análisis Jack Knife se obtuvo que un 43% de fallas que representan un nivel crítico en mantenimiento; por otro lado, el otro 43% tiene un nivel estándar; finalmente, el porcentaje restante de 14% representa el nivel de falla agudo.

También, J. Inostroza [13] señala que uno de los principales obstáculos es vencer la aplicación de mantenimiento correctivo conocido como “mantenimiento bombero”, la implementación de una herramienta de control RCM ayuda a determinar el estado actual. Analizando el historial de fallas podemos predecir el comportamiento futuro del equipo ya que se logra identificar las acciones preventivas y con esto se pueda mejorar los costes mediante una reducción de eventos no deseados.

Asimismo, E. Aillón [14], elaboró un programa de mantenimiento preventivo para equipos livianos y pesados aplicando indicadores de mantenimiento como: MTTR, MTBF y tasa de fallos (λ). De esta forma se obtuvo en promedio una disponibilidad de 83.74% para los equipos pesados, por otro lado, la disponibilidad promedio en equipos livianos es de 93.49%, esto muestra que la disponibilidad de los equipos pesados es menor a la disponibilidad de los equipos livianos. Como resultado de este estudio la tasa de fallos que posee la maquinaria y vehículos en promedio es de 0.038 fallos/mes, con esto se evidencia que los equipos se hallan en un estado que requiere de mantenimiento preventivo para seguir alargado la vida útil de todos los equipos del patio automotriz del GAD de Pelileo.

Por último, O. Campos [15] aplicó una metodología de mantenimiento RCM considerando una clasificación de equipos, historial de incidencias y criticidad de efectos. Esta sistemática se obtuvo después de examinar las normas SAE JA1011 y SAE JA1012 para RCM, a la par de la herramienta FMEA de la norma SAE J1739 y la norma ISO 14224; asimismo, se aplica la valoración de efectos de falla con números de prioridad de riesgo NPR como herramienta para realizar la ejecución del plan de mantenimiento y el cálculo

del desempeño como pasos en la aplicación de esta sistemática. Con esto el autor pudo exteriorizar que la recopilación y el análisis de la información del activo son factores importantes a considerar por el analista de mantenimiento a la hora de la planificación.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Definición de mantenimiento

Son las acciones que permiten conservar un producto inicial o un estado que logre conservar y salvaguardar un producto o servicio consolidado.

Otra definición de mantenimiento es la unión de tareas en el ámbito financiero y técnico incorporadas destinadas a preservar un producto o componente que logre el buen funcionamiento y buenas condiciones, alargando el ciclo de vida útil.

Por otro lado, como definición del mantenimiento menciona que es un conjunto de actividades planificadas para restaurar un producto, cuando el mantenimiento es ejecutado por personal técnico que tiene un grado de capacitaciones o actualizaciones, se elabora procesos en cada nivel de las fases de mantenimiento y reparación [3].

2.1.1. Tipos de Mantenimiento

Para la implementación de una gestión eficiente, es preciso organizar planes y estrategias en el mantenimiento, como pilar para la clasificación de los mantenimientos. A continuación se detallará los mantenimientos. [2].

2.1.1.1. El Mantenimiento Rutinario

Son aquellas tareas que son ejecutadas por el personal técnico-operador como acciones básicas. Las ejecuciones en estos mantenimientos son tareas semanales, usualmente es realizado por los operadores antes que empiecen su jornal y son llenadas en un check list o un formato de preuso, inspeccionando los integrales del equipo. El principio de este mantenimiento es incrementar el tiempo útil del equipo y tener un control de mantenimiento de todos los componentes [2].

2.1.1.2. El Mantenimiento Programado

La función principal de este mantenimiento tiene en base fundamental las técnicas estipuladas por protocolo de fábrica y los manuales de operación y mantenimiento, para realizar mantenimientos programados de acuerdo a protocolo como los cambios de componentes mayores más importantes de un sistema se realiza mediante los programas de mantenimiento y se tiene que realizar mediante técnicos calificados. El tiempo de ejecución de este tipo de mantenimiento es de carácter semanal programado por el horómetro del equipo [3].

2.1.1.3. El Mantenimiento por avería o reparación

Este mantenimiento tiene como pilar brindar soluciones a los fallos a corto plazo de los componentes, se le da solución a los fallos siempre elaborando una data de historial de fallas para mapear y realizar seguimiento a los mantenimiento a los componentes que servirá para los próximos diagnósticos que darán soporte a la nueva gestión de mantenimiento. Después de realizar la evaluación de estos fallos se hace seguimiento con la finalidad de darle solución completa. No es planificado ya que durante la operación suceden problemas o fallos, por ende, se le tiene que brindar la solución in situ ya que la producción no puede verse afectada [8].

2.1.1.4. El Mantenimiento correctivo

Son basados a un historial de fallas recuperados durante los mantenimientos en el proceso de la gestión de mantenimiento y son fiables por lo que al intervenir se le realizó un análisis causa raíz encontrando el origen de falla con el fin de tener un mayor soporte para los próximos mantenimientos. El objetivo principal es eliminar los fallos de raíz y no solo auxiliar de manera temporal, los procesos de mantenimiento correctivo deben ser planeados y proyectados para que no afecte con la producción y tenga un alto grado de precisión en los mantenimientos [9].

2.1.1.5. El Mantenimiento Predictivo

Se basa en la condición del equipo por ende se tiene que monitorear mediante técnicas o análisis de los sistemas integrales o componentes. Esto se realiza con la finalidad de adelantarnos a los problemas y ejecutarlo antes que ocurra una falla, sin parar el trabajo programado del equipo. Realizar este mantenimiento tiene un costo muy elevado, pero incrementa el control y mantenimiento de los componentes mayores logrando minimizar costos en el futuro [11].

2.1.1.6. El Mantenimiento preventivo

El monitoreo de los fallos de un sistema o equipo mediante un mantenimiento preventivo detectan dos tipos de averías; la primera es la que prioriza que se realice la ejecución de un correcto mantenimiento y la otra al ejecutar periódicamente con la finalidad de adelantarse al fallo. Este mantenimiento se realiza de acuerdo al horómetro de trabajo del equipo y también se realiza inspecciones, revisiones, sustitución de componentes críticos. Su objetivo es adelantarse a los fallos y eliminarlas de raíz [3].

2.2. Parámetros de Mantenimiento

Para medir si los mantenimientos, se realizan las siguientes indicaciones:

- **Confiabilidad:** Es el rango que mide si un componente este disponible en relación con la función del tiempo, el indicador que mide la confiabilidad es el MTBF (Tiempo medio entre fallas), es decir cada cuanto tiempo presenta fallos un equipo.
- **Mantenibilidad:** Es el rango que mide que un componente cumpla un tiempo de vida útil, la mayoría de estos son realizados por procedimientos establecidos por el fabricante.
- **Disponibilidad:** Es el rango que mide que un componente trabaje en condiciones normales. Este parámetro es uno de los más importante en una gestión de mantenimiento o de activos , por lo que depende de la programación del mantenimiento planificado [3].

2.3. Gestión de Activos

En términos financieros se puede clasificar como activos todos los recursos que generen un balance en la empresa. Si hablamos del sector industrial, entonces estos activos son máquinas y equipos que son los que se analizan mediante los ingresos y egresos para obtener un retorno en el tiempo como ganancia en las empresas.

Para genera una buena rentabilidad de los activos, una buena gestión de mantenimiento debe garantizar equipos disponibles y confiables sin generar paradas imprevistas y promover calidad de los procesos.

Por lo tanto, es necesario realizar una excelente gestión de activos y priorizar la verificación y seguimiento de un buen mantenimiento tiene que garantizar e incrementar las ganancias de la empresa.

La gestión de activos es aumentar al ciclo de vida de los equipos con ayuda de una mejora de implementación de un modelo que permita optimizar su mantenibilidad aumentando la disponibilidad, confiabilidad y el aumento de la vida útil del activo [12].

2.4. Gestión de Mantenimiento

Tiene como función principal garantizar el máximo uso de los recursos (humanos, financieros y logísticos) para obtener buenos resultados con los trabajos planificados y eliminar de poco los mantenimientos correctivos no programados.

Es una lista de procedimientos o procesos que tienen la finalidad de cuidar la vida útil de los integrales de los equipos durante el periodo de vida útil, logrando el uso de su máxima disponibilidad y realizar el menor costo, por lo que es necesario, una asistencia eficiente a través de una buena programación, ejecución, seguimiento y gestión de activos proyectada en el tiempo dentro de las sugerencias de garantía y los detalles que son proporcionados por el fabricante [9].

2.4.1. Las Etapas de Gestión de Mantenimiento.

Las etapas del proceso de implementación en una gestión de mantenimiento, (planificación y programación) son el comienzo de toda gestión. Se realiza bajo la necesidad de vincular los mantenimientos con la finalidad de optimizar los máximos recursos, se analiza los resultados de la gestión y los proyectados. [10].

2.4.1.1. Planificación

Es un proceso que define, implementación de planes programados del mantenimiento proyectados como mínimo en un año, básicamente programa del mantenimiento (diario, semanal, mensual, trimestral o anual), también se planifica los entes externos e internos que involucran el mantenimiento (horas hombre , materiales, equipos o herramientas). Se considera los siguientes aspectos. [13]

- Se planifica los logros en un tiempo proyectado.
- Se garantiza la disponibilidad de los equipos.
- Se estable procedimientos de actividades prioritarias para la realización de los mantenimientos programados.

Se realiza un cuadro con las fechas tentativas de entrega de los repuestos coordinados con el área de logística.

- No solo es programar los mantenimientos ya que se tiene que realizar el seguimiento a cada actividad.
- Se debe registrar las fallas.
- Se necesita monitorear los indicadores en la gestión eventualmente para corroborar la gestión.

2.4.1.2. Programación

La programación consiste en establecer tiempos basados en el horómetro para una correcta ejecución de los preventivos, las horas proyectadas y planificadas son importantes para mejorar la confiabilidad y disponibilidad de activos. Se necesita ejecutar los mantenimientos con un alto grado de precisión evitando los desfases y no comprometer a otros sistemas [14].

2.4.1.3. Ejecución, control y evaluación.

Son de gran importancia ya que vinculan a todas las áreas implicadas como la de planeamiento o planificación, quienes programan las tareas y procedimientos en la elaboración del programa de mantenimiento, cuya finalidad es garantizar la disponibilidad proyectada [2].

2.5. Mantenimiento Productivo Total (TPM)

El mantenimiento TPM tiene como finalidad a maximizar el ciclo de vida útil de los activos por la intervención de la supresión de los fallos y errores imprevistos con la ejecución con mantenimientos rutinarios como es el caso de lubricación, engrase, ajustes, de esa tener como base el principio del TPM.

El TPM es una de las metodologías primordiales para alcanzar la eficacia total, la cual es posible alcanzar la capacidad total. La disposición actual de este mantenimiento es proporcionar una mejora con la obtención de una mejora en la calidad de procesos, producción, efectividad en la gestión de mantenimiento siempre teniendo en cuenta incrementar la disponibilidad y confiabilidad con la visión de reducir los costos de mantenimiento.

La primera vez en donde se estableció la metodología del TPM se ejecutó en el año 1971 por el Instituto Japonés de Ingenieros de Plantas. Se inicia como un método de reducir los costos de mantenimiento por paradas imprevistas de los activos para poder realizar el mantenimiento en un tiempo programado. Las pérdidas por ineficiencia se efectúan de directamente en costos de los productos, componentes o sistemas presentando una caída en la eficacia y eficiencia de la gestión [16].

2.5.1. Los objetivos del mantenimiento Productivo Total

Es un sistema de mantenimiento el cual implica a todos los empleados y a todos los niveles por medio de la aplicación del mantenimiento rutinario o de actividades en equipos. Este mantenimiento incluye cinco objetivos para realizar una buena implementación:

- Incluye la colaboración de todo el personal, desde la alta gerencia hasta los operadores de cada equipo o activo. La participación de esta manera, al trabajo

como equipos esto hace que se fortalezca como sociedad y se logra alcanzar los objetivos.

- La implementación de una cultura colectiva orientada a la elaboración de principios de TPM aumenta la eficacia en el sistema y la mejora continua en la implementación de un sistema de mantenimiento.
- La ejecución de las tareas de programa de mantenimiento que ayude con la supresión de los fallos imprevistos y se obtenga el objetivo principal de la mejora de los indicadores. Se tiene como objetivo de que al implementar el TPM, esta tienda a cero perdidas mediante los programas de mantenimiento en el área operativa y afirmando que la metodología se respalda el Mantenimiento Autónomo [16].

2.6. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

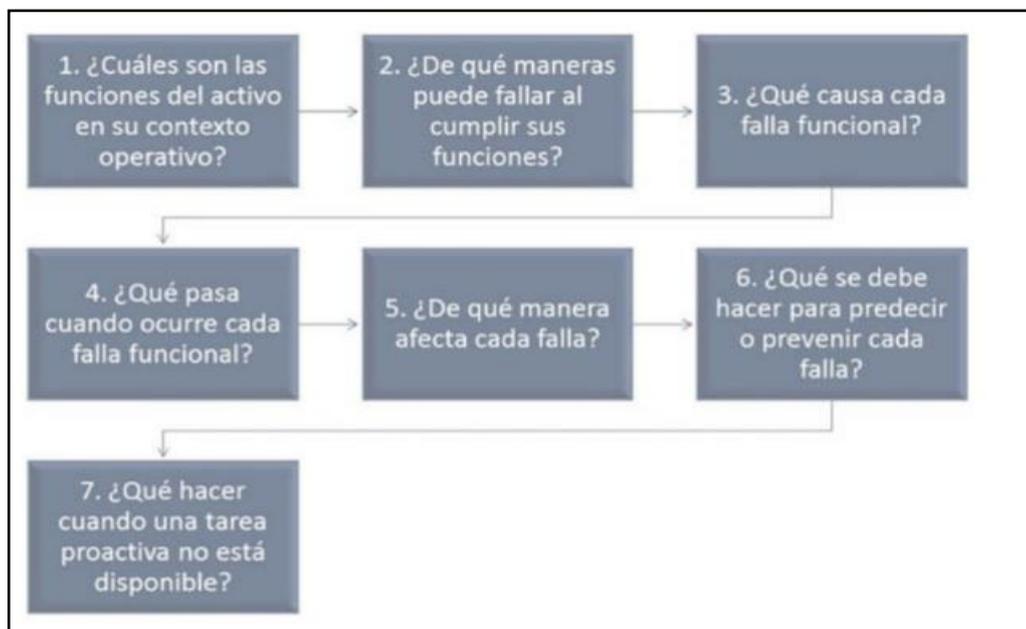
El RCM es un método muy reconocido que tiene la finalidad la ejecución y programación de tareas de mantenimiento que integren diversos mantenimientos con el fin de regularizar (RCM) tuvo como base en la aviación de los Estados a para incrementar la disponibilidad y confiabilidad de los activos, fue determinada por los trabajadores Stanley Nowlan y Howard Heap en el año 1978 ha sido implementada para comprobar y mejorar las tareas y mantenimiento planificados en todos los sectores de la industria. [17]

La metodología RCM tiende a reunir todas las tareas programadas y de la implementación de la gestión para realizar tareas propuestas que sean basadas en los parámetros de los indicadores (disponibilidad y confiabilidad) de los equipos. Se afirma un plan estratégico de mantenimiento el cual mejora la confiabilidad original del activo. John Moubray detalló el mantenimiento centrado en la confiabilidad como un procedimiento enfocado en la determinación de certificar que cualquier activo este operativo con un alto grado de confiabilidad. [18]

Actualmente la metodología es aplicada periódicamente para la identificación de actividades de tareas de mantenimiento y de igual forma para utilizar para la regulación de riesgos de impactos y así de esa manera catalogar por importancia los componentes críticos para la planificación del mantenimiento y descubrir actividades de mejora en el mantenimiento de equipos. Asimismo, se desea tener un amplio panorama en los mantenimientos para poder fusionarlo en complemento con otros métodos y sacar provecho de los mantenimientos correctivos para obtener un historial de intervenciones que se le realiza durante los periodos de trabajo ya que el RCM es el mantenimiento basado en la condición e integrarlos con un proceso de jerarquía analítica. [19]

Una de las normas que respaldan el RCM, es la norma SAE JA1011 que regula que un procedimiento tenga criterios básicos que deben tener la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad. Se basa a 7 preguntas como referencia para la aplicación del RCM como se puede observar en la Fig. 1. [19]

Gráfico 1: Procesos del RCM [19]



Unas de las fases de la metodología se tiene que realizar una matriz AMEF en el cual se detallan los modos de fallas y consecuencias de falla .Para determinar el modo de una falla que puede ocasionar un fallo funcional que es una causa primaria e identificar el origen de falla mediante el análisis de causa raíz [20]

Para la elaboración de la matriz se tiene que realizar mediante un historial de fallas y ordenada, ya que puede ser subjetivo para la determinación de las causas de falla, principalmente al generar un árbol de fallas por determinación de niveles, se puede distorsionar el diagnóstico del origen de falla. El método no establece una manera de lograr la identificación de causas y modos de falla . [20]

Para determinar los efectos de falla, se tiene que describir este corto y este mediano plazo y promover tareas para la detección del fallo funcional. Para el seguimiento de este proceso no hay un formato o una manera correcta de hallar los efectos de falla críticos, tampoco otorga una base para categorizar los fallos ya que el cuadro de efectos de fallas es sumamente importante para el análisis de los proyectados y esperados por la metodología. En el desarrollo de los análisis de fallos y efectos que estipula la norma SAE J1739 se realiza mediante la categorización(ocurrencia , gravedad y detección) para llegar a la conclusión mediante un indicador de riesgo que determina la gravedad de los fallos ,la priorización de las tares propuesta para darle solución . [20]

Para llegar a obtener las premisas correspondientes y adecuadas de la implementación de la metodología, se tiene que contar con un dato histórico de fallos del activo y se debe tomar medidas con base a la data, por lo cual se solicita recopilar la información que se puede recuperar en el proceso de RCM. También es trascendente la integración los procesos complementarios que siguen al finalizar el análisis de los fallos y que definirían la implementación de la metodología. [16]

2.7. Desarrollo de la metodología

Para el desarrollo del RCM, es factible realizar los pasos adicionales para aumentar el diagnóstico y la confiabilidad del resultado, la mayoría de tareas que son implementadas de manera adicional en la realización de la metodología son examinadas en los procesos continuos y se toma como consideración la importancia de la eficiencia y la mejora continua del mantenimiento centrado en la confiabilidad. Estos procesos se clasifican en 3 fases que implican en una mejora del análisis en todo el procedimiento para la implementación de la metodología RCM [21]

Gráfico 2: Procesos adicionales del RCM [20].



2.1.1 Antes de aplicar RCM

Para el inicio de la implementación del RCM se presenta que se extraiga toda la data que se tiene del activo para poder realizar un historial de fallas en el cual se necesita los datos (fechas de fallos descripción, costos, etc.), también que se realice la clasificación por sistemas y se realice el análisis del activo. [21]

2.8. Recopilación de la información del activo

Es sumamente importante obtener la data del equipo que se utilizará para los procesos de la metodología. [22]

Esta data debe contener los siguientes ítems (diagramas, manuales, historial de mantenimiento) también es imprescindible que se tenga información por parte de los técnicos y a los operadores con el motivo de tener toda la data necesaria del equipo ya que ellos son los que interactúan de manera constante con las máquinas y nos pueden brindar los incidentes o sucesos pasados y actuales que nos ayudarán a realizar un mejor análisis de los fallos pasados y de los fallos y mantenimientos que se están realizando en la actualidad . [23]

La norma otorga un modelo de requisito para la compilación y conformación de las fichas de confiabilidad para los equipos en el sector industrial (gas natural, petróleo y petroquímico). Estos datos son de gran utilidad para la gestión de los activos y la importancia del tiempo de vida útil. Por consiguiente, las maquinarias que son analizadas en el estudio del RCM son del rubro industrial y puede ser utilizada en todos los ambientes de activos como producto, diseño o sistema, la matriz se puede usar para la recopilación de información del activo. [23]

2.9. Metodología AMEF

Es un método que relaciona las tareas propuestas de mantenimiento con el desarrollo de la metodología del RCM. La herramienta del análisis y modo de fallos se implementado por el área de mantenimiento del ejército de los Estados Unidos; que fue utilizado como una metodología de diagnosticar y mejorar la disponibilidad y confiabilidad y también para plantear los modos y efectos de falla, con el propósito de velar por el comportamiento del ciclo de vida útil [24]. La metodología AMEF es la aplicación de proceso para el diagnóstico de los mayores fallos potenciales y adelantarse a las fallas antes de que estas ocurran y evitar los mantenimientos correctivos no planificados, con la finalidad de solo trabajar con preventivos y predictivos. Por lo tanto, esta metodología es un

procedimiento metódico normalizado que se utiliza para diagnosticar y evitar los mantenimientos no programados. Se tiene los siguientes objetivos:

- Inspeccionar y monitorear las causas y modo de fallos con la base de datos del historial de fallas.
- Establecer todos los efectos de los fallos potenciales de los sistemas integrales, monitoreando el comportamiento de los componentes de los equipos. Identificar los fallos se pueden evitar y diagnosticar la detección para promover los mantenimientos preventivos y minimizar los correctivos.
- Incrementar la disponibilidad y confiabilidad del sistema o componente.

La herramienta del AMEF totalmente ha sido utilizada con mayor frecuencia por las industrias del rubro automotriz, se usó para la identificación de las motivos de los fallos en sistemas o activos , ya son viables para todos los sistemas de términos industriales; así como también es adaptable para otros tipos de áreas como para: administrativos y de servicios [25].

2.10. Procesos para realizar el AMEF

Se puede definir como un conjunto de condiciones de los procesos en los cuales trabaja el equipo, también incluye todas las evaluaciones y los registros de desempeño. Este paso se utiliza para precisar los procedimientos de todos los sistemas integrales de equipo que se va a analizar, así las manifestaciones que brindan los operadores y los técnicos brindando datos actuales de las condiciones del equipo y las intervenciones como correctivos, así como el tiempo de reparación, costo de repuestos, costos por ineficiencia. Es necesario conocer las etapas para el desarrollo del proceso [17]

Etapas 1: Integración de las diferentes áreas de mantenimiento, que está compuesto por individuos que tenga un conocimiento específico en planeamiento y conocimientos

específicos en desarrollo de metodologías de mejoras de proceso como la utilización del AMEF.

Etapa 2: Identificar qué tipo de AMEF se utilizará para proyectar sus objetivos, alcances y mejoras mediante el análisis se precisará la caracterización del producto o sistema. Es muy importante delimitar los sistemas del equipo o del sistema para poder delimitarlo y tener una noción amplia en gestión de mantenimiento.

Etapa 3: Determinar las relaciones básicas del componente o del sistema en análisis, por lo que es imprescindible aportar conocimientos preciso y terminado de los procesos básicos que brinda para la identificación de los modos de fallos potenciales y obtener una noción más clara para la resolución de hoja de decisión y la programación de tareas propuestas.

Etapa 4: Hallar la cantidad de fallos potenciales para poder definir e identificar los modos de fallos. La identificación de los modos de fallos es imprescindible para poder proponer tareas a mediano tiempo y a largo tiempo, de esa manera tener un control y mantenimiento de componentes mayores y la obtención de repuestos críticos y mejorar la gestión

- Análisis de disponibilidad y confiabilidad
- Atender y monitorear las necesidades y reclamos de los clientes.
- Las propuestas de mejora de los expertos mediante la utilización de una serie de herramientas que ayuden con la identificación y mejora de la gestión

Etapa 5: Identificar la cantidad efectos de fallos potenciales, para cada modo de fallo se diagnosticarán mediante un formato las consecuencias operativas que estos mejorar las expectativas del cliente. Se pueden tener varios efectos de fallos por solo un modo de fallo para el análisis.

Etapa 6: Identificar la cantidad efectos de fallos potenciales, para cada modo de fallo se hallarán todas las causas que estas originan al componente o sistema. Para este tipo de proceso es recomendable el uso de un diagrama de Pareto, Jack Knife o Ishikawa con el fin de resolver las acciones que ayudaran a resolver los fallos potenciales.

2.11. Durante el análisis

Este inicia en la etapa 3 mencionadas en los procesos para el desarrollo del AMEF y la clasificación de los efectos de falla [17]

2.12. Análisis de Modos y Efectos de Fallas

Sirve para evaluar un análisis preventivo, ajustable a la identificación de fallos que ocasionan que los sistemas presenten un bajo rendimiento y una disponibilidad baja, mediante el análisis se identifican riesgos potenciales por lo que es muy esencial el análisis de riesgo mediante los cuadros y parámetros de gravedad, de ocurrencia y detección para poder evaluar los fallos que tienden a ser más críticos por presentar un alto grado de fallas imprevistas [26]

El análisis de modos se realiza de un productos, sistema o diseño, las características tienen un fin especial en cada proceso de ejecución de funciones por lo que se analizan exhaustivamente, encontrando varias maneras de presentar los defectos ocasionados, en otras palabras, la localización de los defectos y posibles pérdidas para los clientes. [26]

Para cada fallo potencial, se realiza un análisis y la consecuencia de su efecto en los equipos, tomando las medidas necesarias para minimizar su efecto, eliminar las causas de las fallas. La reducción del riesgo de fallo está asegurada por las siguientes razones. [24]

- Ayuda a evaluar los requisitos de diseño, fomentando la búsqueda de alternativas.
- Mayor visibilidad de los posibles modos de fallo y la evaluación de su impacto en la eficiencia del trabajo del equipo

- Se recopila información adicional, lo que ayuda a mejorar la definición de pruebas y pruebas durante el desarrollo del sistema.

2.13. AMEF de procesos y medios

Se recoge un diccionario de posibles modos de fallo, clasificados según sus efectos sobre el cliente. En resumen, las principales características de esta herramienta son: [25]

- Preventivo: Se puede calcular la cantidad de daños ocasionados en todos los procedimientos y procesos del AMEF por lo que se puede actuar en caso de que ocurra.
- Sistematización: Por la estructura que brinda el proceso se puede hallar de una manera ordenada todas las posibles fallas en el sistema
- Priorización: La herramienta otorga una secuencia de acciones que se deben de realizar como la de mantenimientos con un mayor índice de ejecución y no sobre costear los gastos de mantenimientos correctivos.
- Participación: Permite que todas áreas integren en la implementación de la herramienta .

2.13.1. Tipos de AMEF

A continuación se presentan los tipos de AMEF: [27]

- Producto: Se utiliza para analizar los componentes en los diseños
- Procesos: Se utiliza para analizar los procesos de los diseños o manufactura.
- Sistemas: Se utilizar para asegurar la compatibilidad de los componentes del sistema.
- Otros: AMEF se aplica a cualquier procedimiento general , todos los tipos tienen la finalidad de realizar el análisis de los efectos y modos de falla

Las ventajas de la herramienta AMEF, a continuación los detalles del uso de la herramienta en el proceso de mejorar la confiabilidad [26]

- Identificación de los fallos.
- Conocimiento profundo del producto, proceso o sistema.
- Determinar el impacto que puede tener cada posible falla.
- Evaluar la severidad (severidad) del impacto negativo económico.
- Analizar las causas por sistema.
- Priorización de fallos.
- Diagnosticar los niveles de riesgo.
- Promover el mantenimiento programado

2.14. Fallas Funcionales

El análisis funcional es necesario para poder participar en la evaluación del modo de falla, porque es necesario saber y determinar qué funciones espera o quiere el usuario que realice su activo. Es necesario definir funciones tanto primarias como secundarias [28]

2.14.1. Modos de falla

Se define como el modo de pérdida por ineficiencia o defecto para poder ejecutar su función primaria de cada equipo. Como parte del procedimiento de la gestión de riesgo se deriva a fallos conceptuales como en las áreas logísticas como un incumplimiento por la adquisición de un repuesto por lo que el fin del uso de esta herramienta es la elaboración de un programa de mantenimiento para cada modo de falla mediante una tarea propuesta establecida. [29]

2.15. Función del mantenimiento basado en la Confiabilidad

Cualquier operación realizada en los equipos antes o después de que la máquina falle, se llama mantenimiento. Gestionarlo bien puede significar aumentar la producción y crear recursos para la empresa. Sin embargo, el mayor desafío cuando se trata de mantener la

confiabilidad operativa es tomar decisiones e identificar actividades que se centren en la confiabilidad del equipo [30].

La filosofía RCM (Reliability Centered Maintenance) básicamente establece en términos generales cómo priorizar los equipos críticos, evitar que lleguen al punto de falla, y al mismo tiempo que los dispositivos sean menos importantes en la ejecución de los mantenimientos programados [31].

El análisis de fallas y efectos basados en AMEF se considera como base fundamental para la implementación del RCM, principalmente debido a su detallada identificación, evaluación y prevención de posibles fallas identificadas por esta metodología [25].

Mediante el uso de la herramienta AMEF , se puede calcular el nivel de riesgo de cada modo de fallo de esa manera se puede clasificar mediante niveles las atenciones próximas de los mantenimientos con un enfoque estructurado y sistematizado para el diseño del plan de mantenimiento [32].

El propio RCM se rige por las normas SAE JA1011/1012, que esencialmente brindan lineamientos de evaluación para la gestión del mantenimiento, ayudando a las empresas a mejorar sus condiciones de operación [33].

Los factores que influyen en la implementación de un programa de mantenimiento son la codificación de partes y elementos, la seguridad en la ejecución de un programa de mantenimiento, el manejo adecuado de los residuos que beneficia a la propia empresa, y el medio ambiente y es fundamentalmente el diseño de la programación de mantenimientos preventivos. Sin embargo los planes de mantenimientos basado en las observaciones del técnico responsable, es cada vez más evidente, lo que provoca una pérdida del valor total de la máquina y muchas veces pérdida de materias primas o productos finales. Teniendo en cuenta las consideraciones descritas, este artículo explica la mejora de un mantenimiento basado en el RCM y en la recopilación de información, un estudio crítico, así como análisis de impacto del método y errores AMEF [34].

2.16. MTBF (Tiempo Medio entre Fallas)

El tiempo medio entre fallas se puede determinar cuando tenemos un modelo de horas parametrizado en cada fallo. En otras palabras es el tiempo o frecuencia de cada fallo que ocurre en un equipo o sistema. Con términos matemáticos, corresponde a una función de probabilidad [35].

Estos conceptos se desarrollarán más en el próximo capítulo, sin embargo, debe quedar claro que las tasas de falla de los equipos generalmente no son constantes en el tiempo excepto aquellos que siguen una distribución exponencial, en ese caso se puede simplificar: [35] [36].

2.17. MTTR (Tiempo Medio de Reparación)

Es el tiempo de un correctivo que se demora en dejar operativo a un equipo o sistema. En otras palabras, es el tiempo de trabajo en el sitio del equipo de mantenimiento; es decir, desde el momento en que el equipo de reparación llega al lugar de la falla hasta que se pone en servicio el equipo defectuoso.

Un parámetro que se deduce del parámetro anterior es el tiempo medio de reparación, teniendo en cuenta los tiempos de reparación como resultado de un estudio provisional de varios fallos y la media que se está realizando.

Normalmente sigue algún patrón de distribución de probabilidad debido al número de intentos y la similitud del equipo, pero en un departamento de mantenimiento de cierto tamaño puede ser simplemente el promedio de veces que se usa. En los servicios formales se suele tabular (taller de automóviles, tabulación y tarificación) y en las grandes empresas se investiga y se une o negocia entre servicios. [37]

2.18. Disponibilidad

La disponibilidad es la porción de tiempo que se espera que un producto reparable esté en servicio, es decir, irreparable. Por lo tanto, representa el tiempo ejecución. Este es un indicador que varía de manera porcentual de 0 al 100%. [35].

2.18.1. Disponibilidad Inherente

Es la disponibilidad en la cual se debe al comportamiento de los mantenimientos solo correctivos, basado al tiempo de funcionamiento, no hace referencia a los retrasos como de los mantenimientos preventivos, mantenimientos correctivos programados, tiempos de inactividad administrativos y logísticos [9].

2.19. Criterios generales para el diseño de plan de trabajo

La elaboración de un programa de mantenimiento se define como una lista de tareas de las áreas que intervienen en el proceso. Para la ejecución de los mantenimientos se definirán tareas a los operadores y/o ingenieros involucrados en los procedimientos de mantenimiento. El objetivo es proporcionar un procedimiento basado en la confiabilidad para garantizar la ejecución del proceso [2].

2.20. Indicadores financieros

Se presentan los indicadores financieros los cuales validaran si la implementación de esta metodología es rentable. A continuación, se describe los indicadores [11].

2.20.1. Tasa interna de retorno (TIR)

TIR es la relación del valor de los ingresos al valor de los egresos de los costos Es la tasa de crecimiento de un flujo de caja.

$$VA \text{ Ingresos} = VA \text{ Egresos}$$

Esta tasa debe compararse con la tasa requerida (Ks). La tasa requerida (ks) dependerá

del nivel de riesgo esperado del proyecto. Cuanto mayor sea el riesgo, mayor será el rendimiento. A continuación los parámetros.

- $TIR > K_s$: Proyecto aceptado
- $TIR = K_s$: Proyecto indiferente
- $TIR < K_s$: Proyecto rechazado

2.20.2. Valor actual neto (VAN)

El valor actual neto VAN es la diferencia de los ingresos menos el valor actual de los gastos, lo que lleva el flujo de efectivo a la tasa requerida (k_s).

$$VAN = VA \text{ Ingresos} - VA \text{ Egresos}$$

El VAN ya incluye el efecto de la Tasa Requerida (k_s).

- $VAN > 0$: Proyecto aceptado
- $VAN = 0$: Proyecto indiferente
- $VAN < 0$: Proyecto rechazado

CAPITULO 3:

METODOLOGIA DE LA SOLUCIÓN

3.1. Ubicación.

La zona en la que se realizará este trabajo de implementación y de mejora del plan del mantenimiento de la excavadora 330BL se encuentra ubicado en la unidad de producción Alpacay en el distrito de Yanaquihua, provincia Condesuyos en Arequipa. La unidad de producción Alpacay es una minera aurífera y también acopia la materia prima de los mineros artesanales de la zona. Asimismo, la unidad impulsa el desarrollo socio económico.

Gráfico 3: Ubicación de la unidad Alpacay.



3.2. Recopilación de datos

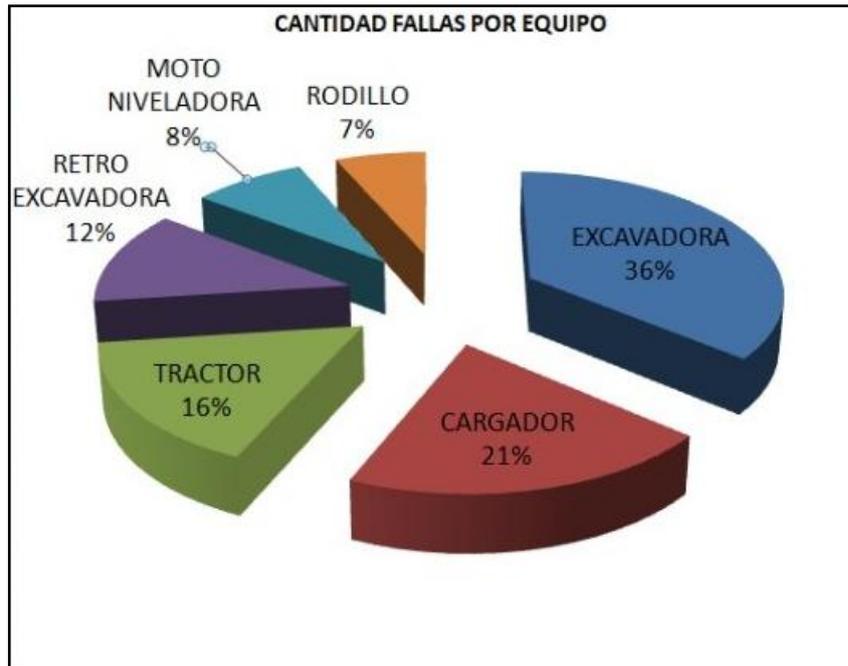
Los check list desarrollados para la compilación de datos técnicos se fueron modificando durante la implementación, en un comienzo reporte técnico del pre-uso se llenaba en un formato básico (Anexo 01), en la cual los técnicos tienen que completar las actividades diarias, luego ser registradas por el supervisor al historial de fallas, esta data ayudará a realizar los indicadores de gestión de mantenimiento. En los inicios al no existir un personal técnico quién realice a estas tareas, no se registraban las paradas imprevistas, no obstante, desde el comienzo de la implementación, se realizó una reestructuración en la gestión, concientizando la mejora continua del proceso a todo el equipo de mantenimiento (supervisor de equipo, técnicos y operadores).

3.3. Análisis AMEF

Para la elaboración del programa de mantenimiento basado en el RCM, se realizó una evaluación del tipo de maquinaria, sistemas y subsistemas, luego el equipo se dividió en sistemas, como lo estipula el fabricante. Todos los equipos son de marca CATERPILLAR, el cual brinda una lista de herramientas que ayudaran al monitoreo de la flota de equipos: SIS CAT2.0, MYCAT, VISUAL Link, UNIFIED FLEET, sin embargo, no es obligatorio tenerlos. En este proceso se ha elegido tener acceso a estas plataformas para una mejor gestión de los equipos.

A continuación, se identifican los equipos que presentan la mayor cantidad de fallas imprevistas, según el gráfico adjunto.

Gráfico 4: Cantidad de fallas por equipo.



La empresa tiene una flota de 25 equipos pesados entre rodillos compactadores, motoniveladoras, retroexcavadoras, tractores orugas, cargadores frontales y excavadoras hidráulicas, todas de procedencias de la marca Caterpillar, utilizadas en los proyectos de la unidad.

El historial de fallas presentado es un control del periodo de julio de 2021 hasta marzo del presente año, en los primeros meses se llevaba un control de estos de manera manual, a partir de octubre del 2021 se implementó una cartilla de inspecciones, reportes diarios en el cual los técnicos reportaban los incidentes de los equipos con la finalidad de llevar el control diario y ejecutar las tareas de mantenimiento con un alto grado de precisión, esto facilitó para llevar a cabo la implementación de un programa de mantenimiento

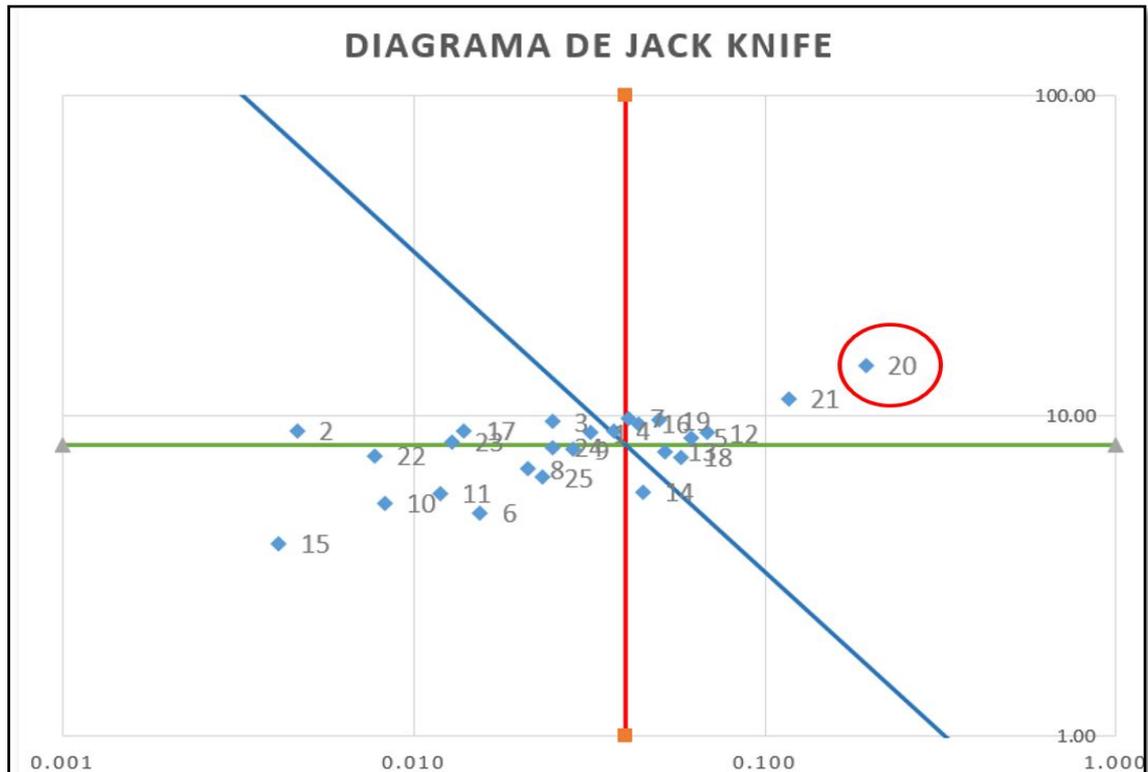
A continuación, se presenta la tabla en la cual se identifica el equipo con mayor indisponibilidad y mayor cantidad de fallas utilizando el diagrama de Jack Knife.

Tabla 1: Base de datos para elaborar el diagrama Jack Knife

ITEM	EQUIPOS	MODELO	NF	TTR	MTTR (HORA/FALLA)	TASA DE FALLAS	IND %
1	RODILLO	CS533C	7	62	8.86	0.032	0.28
2	RODILLO	CS56B	1	9	9.00	0.005	0.04
3	MOTONIVELADORA	140H1	5	48	9.60	0.025	0.24
4	MOTONIVELADORA	140H2	8	72	9.00	0.037	0.33
5	RETROEXCAVADORA	416C	14	120	8.57	0.062	0.53
6	RETROEXCAVADORA	420F	6	30	5.00	0.015	0.08
7	TRACTOR	D6G	8	79	9.88	0.041	0.40
8	TRACTOR	D6E	6	41	6.83	0.021	0.14
9	TRACTOR	D6D	7	55	7.86	0.028	0.22
10	TRACTOR	D6T	3	16	5.33	0.008	0.04
11	TRACTOR	D8T	4	23	5.75	0.012	0.07
12	CARGADOR	950F	15	133	8.87	0.069	0.61
13	CARGADOR	924F	13	101	7.77	0.052	0.40
14	CARGADOR	950G	15	87	5.80	0.045	0.26
15	CARGADOR	962L	2	8	4.00	0.004	0.02
16	CARGADOR	950GII	9	85	9.44	0.044	0.41
17	CARGADOR	950GC	3	27	9.00	0.014	0.13
18	CARGADOR	966C	15	112	7.47	0.058	0.43
19	CARGADOR	962H	10	97	9.70	0.050	0.49
20	EXCAVADORA	330BL	26	375	14.42	0.193	2.79
21	EXCAVADORA	322BL	20	226	11.30	0.117	1.32
22	EXCAVADORA	330GC	2	15	7.50	0.008	0.06
23	EXCAVADORA	330GC	3	25	8.33	0.013	0.11
24	EXCAVADORA	336DL	6	48	8.00	0.025	0.20
25	EXCAVADORA	325D	7	45	6.43	0.023	0.15
TOTAL			215	1939	8.15	0.040	0.33

El presente grafico se presenta el diagrama de Jack Knife con los puntos de dispersión, identificando el equipo con mayor cantidad de fallas y baja disponibilidad, como se puede observar en el cuarto cuadrante el equipo N° 20 (excavadora 330BL), tiende a alejarse en el eje X.

Gráfico 5: Diagrama de Jack Knife



A continuación, se realizó una evaluación del sistema integral de la excavadora (sistema de motor básico, tren de fuerza, sistema eléctrico, sistema hidráulico), las fallas contabilizadas son de un periodo de ocho (08) meses para ello se identificará el sistema más crítico mediante el diagrama de Jack Knife.

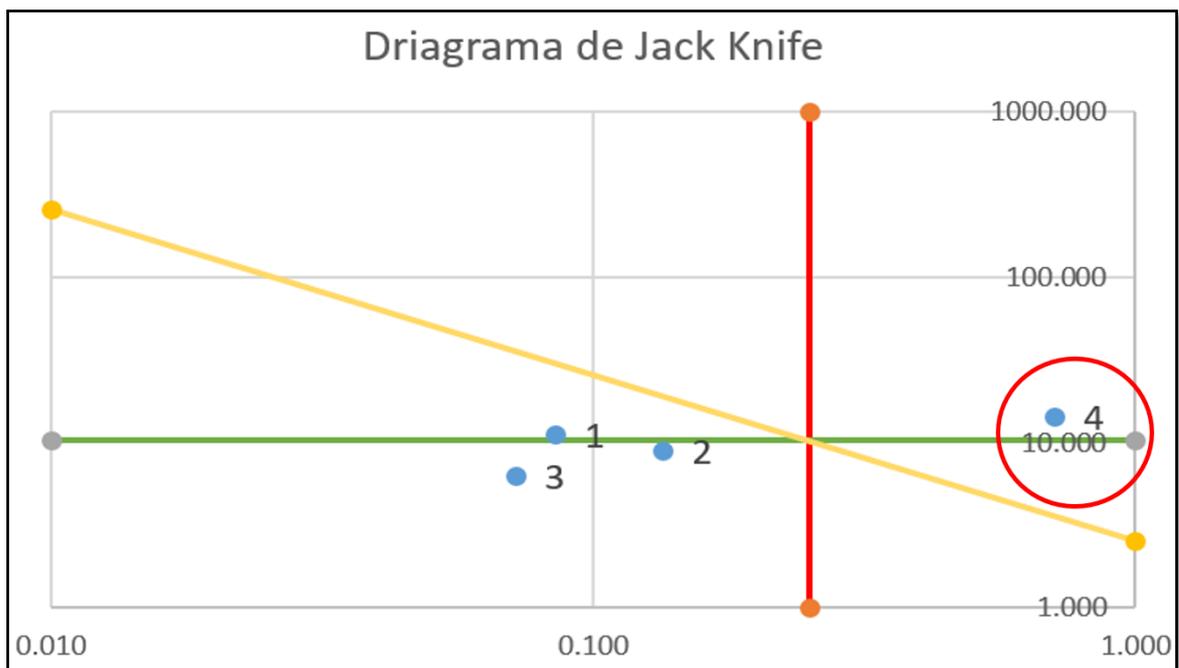
Seguidamente, se presenta la tabla con la cantidad de fallas y el tiempo medio de reparación del equipo para proceder con la identificación del sistema más crítico y plantear la metodología del RCM y proponer tareas de mantenimiento.

Tabla 2: Base de datos con la cantidad de falas por sistemas

Tiempo total		529				
Item	Subsistema	TTR	Total de fallas	MTTR	Tasa de fallas (1/hora)	IND %
1	Motor	45	4	11.250	0.085	0.96
2	Tren de Fuerza	71	8	8.875	0.134	1.19
3	Sistema eléctrico	38	6	6.333	0.072	0.45
4	Sistema Hidráulico	375	26	14.423	0.709	10.22
PROMEDIO				10.220	0.250	2.56

En la presente grafico se presenta el diagrama de Jack Knife con los puntos de dispersión, identificando el sistema con mayor cantidad de fallas el cual es la problemática de la baja disponibilidad, como se puede observar en el cuarto cuadrante el equipo N° 04 (sistema hidráulico de la excavadora 330BL), tiende a alejarse en el eje X. El presente trabajo se enfocará básicamente en el sistema hidráulico, ya que es el sistema más crítico por la cantidad de fallas que presenta.

Gráfico 6: Diagrama de Jack Knife



Al identificar que el sistema hidráulico es el más crítico, se presenta el historial de fallas enumeradas por cada mes, con el detalle de cada falla (día, mes y año) y el tiempo que se demoraron los técnicos para su respectiva reparación

Se recopiló un historial de fallas del sistema hidráulico de los últimos 8 meses detallados en la siguiente tabla (tiempo de reparación de los correctivos, el costo de los repuestos por reparación, costo de mano de obra por terceros, costo de ineficiencia por el tiempo de reparación).

A continuación, se realizará el cálculo de la disponibilidad inherente inicial del sistema hidráulico

Cálculo de nuevo MTBF:

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo de operación}}{N \text{ de fallos}} = \frac{1572-375}{26} = 46.04$$

Cálculo de nuevo MTTR:

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{N \text{ de fallos}} = \frac{375}{26} = 14.42$$

Cálculo de Disponibilidad:

$$D.INHERENTE = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} = \frac{46.04}{46.04+14.42} = 76.15$$

La disponibilidad inherente inicial es de 76.15%

Seguidamente, se presenta los correctivos del equipo con código interno de EX-03, se evidencia en la tabla el costo de pérdidas en dicho periodo por un total de \$45,809.00.

Tabla 3: Historial de fallas del sistema hidráulico

EXCAVADORA 330 BL - N° DE SERIE: 8TR00438							CHF			
							\$68.00			
							COSTO DE REPARACIÓN			
ITM	Días	HRS	FECHA	DESCRIPCION DE FALLO	PLAN DE ACCIÓN	TIEMPO DE REPARACIÓN (HORAS)	COSTO POR REPUESTOS PARA REPARACIÓN	COSTO DE MANO DE OBRA (TERCEROS)	COSTO DE INEFICIENCIA POR EL TIEMPO DE REPARACIÓN	COSTO TOTAL
1			2/07/2021	Reparación del cilindro del boom	Cambio de kit de sellos	22	\$170.00		\$1,496.00	\$1,666.00
2	16	112	18/07/2021	Fuga de aceite hidráulico en la consola (tapa) del spool del control de válvula	Fabricación de consola (Desmontaje y montaje)	16	\$250.00		\$1,088.00	\$1,338.00
3	10	70	28/07/2021	Fuga de aceite por mangueras del motor de traslación	cambio de mangueras y sellos	4	\$400.00		\$272.00	\$672.00
4	2	14	30/07/2021	Pérdida de velocidad del cilindro -Stick	Cambio de kit de sellos hidráulicos	22	\$185.00		\$1,496.00	\$1,681.00
5	7	49	6/08/2021	Rayaduras en el vástago del cilindro del boom por reten limpiador sobresalido	Pulido de vástago y cambio de kit de sellos	20	\$170.00		\$1,360.00	\$1,530.00
6	6	42	12/08/2021	Fugas por mangueras de pilotaje	Cambio de mangueras y terminales	4	\$400.00		\$272.00	\$672.00
7	13	91	25/08/2021	Demora en parar al girar - motor de giro	Cambio de discos de freno	16	\$450.00		\$1,088.00	\$1,538.00
8	16	112	10/09/2021	Cambio de válvula solenoide por pérdida de potencia por la bomba RH	Inspección, desmontaje y montaje del solenoide	7	\$250.00		\$476.00	\$726.00
9	6	42	16/09/2021	Cucharón no acciona en carga-Fallo en válvulas de línea	Cambio de válvulas de línea	7	\$130.00		\$476.00	\$606.00

Tabla 3: Historial de fallas del sistema hidráulico (continuación 1)

10	7	49	23/09/2021	Fugas de aceite por mangueras de retorno	Cambio de mangueras y terminales	4	\$600.00		\$272.00	\$872.00
11	9	63	2/10/2021	Giro antihorario bloqueado- motor de giro	Reparación general del motor de giro	16	\$3,100.00	\$350.00	\$1,088.00	\$4,538.00
12	8	56	10/10/2021	Fuga de aceite hidráulico por el control de válvulas	Cambio de kit de sellos	8	\$145.00		\$544.00	\$689.00
13	19	133	29/10/2021	Pérdida de velocidad en las funciones hidráulicas- Velocidad y fuerza	Cromado de spools y calibración del control de válvulas	56	\$230.00	\$900.00	\$3,808.00	\$4,938.00
14	7	49	5/11/2021	Prueba análisis SOS-Limpieza de toda la línea hidráulica	Cambio de filtro (2 veces) , toma de presiones y cambio de aceite hidráulico	18	\$550.00	\$1,080.00	\$1,224.00	\$2,854.00
15	13	91	18/11/2021	Cambio de bocinas de pin de cucharón	Desmontaje del cilindro	8	\$230.00		\$544.00	\$774.00
16	5	35	23/11/2021	Mangueras agrietas-Salidas del motor de giro	Cambio de mangueras	4	\$620.00		\$272.00	\$892.00
17	12	84	5/12/2021	Revisión de bombas LH y RH - Desmontaje y cambio	Toma de presiones y reparación de bombas	20	\$3,500.00	\$800.00	\$1,360.00	\$5,660.00
18	9	63	14/12/2021	Ruptura de vástago de bucket	Fabricación de embolo y vástago	40	\$2,850.00		\$2,720.00	\$5,570.00
19	12	84	26/12/2021	Falla en cilindro del boom- Pernos suelto del spool	Desmontaje, reajuste y prueba en marcha	8	\$18.00		\$544.00	\$562.00
20	8	56	3/01/2022	Tuberías auxiliares por fuga de aceite	Cambio	7	\$432.00		\$476.00	\$908.00
21	4	28	7/01/2022	Tuberías y mangueras reseca del bucket	Cambio	4	\$835.00		\$272.00	\$1,107.00
22	6	42	13/01/2022	Reparación de bomba de pilotaje-baja presión	Cambio de bomba de engranajes	16	\$670.00		\$1,088.00	\$1,758.00
23	13	91	26/01/2022	Reparación de vástago con soldadura inoxidable	Aplicación de soldadura, torneado y cambio de kit de sellos	25	\$320.00		\$1,700.00	\$2,020.00
24	11	77	6/02/2022	Cambio de bocinas de la botella del pistón de levante	Desmontaje del cilindro	9	\$230.00		\$612.00	\$842.00
25	4	28	10/02/2022	Desviación de avance en línea recta- motor de traslación	Calibración	8	\$0.00		\$544.00	\$544.00
26	17	119	27/02/2022	Fuga de nitrógeno de acumulador	Cambio y recarga de nitrógeno de acumulador	6	\$324.00	\$120.00	\$408.00	\$852.00
TIEMPO DE REPARACIÓN (HORAS)						375	PERDIDAS POR INEFICIENCIA OPERATIVA			\$45,809.00

Seguidamente, se evidencia el estado situacional de la excavadora Caterpillar 330BL, donde se visualiza que está realizado trabajo de perfilamiento de talud en la zona de Chiuca en la Unidad de Producción Alpacay.

Gráfico 7: Excavadora Caterpillar 330BI – Serie 8TR00438



3.4. Especificaciones Técnicas

Se presenta las especificaciones técnicas, se lograron obtener en el manual de operaciones del equipo estipulados por los representantes de la marca Caterpillar, como se puede observar en la siguiente tabla (dimensiones, tren de rodaje, parámetros de trabajo de motor y mecanismo de giro).

Tabla 4 Especificaciones – Excavadora Caterpillar 330 BL (Fab. 1998)

ESPECIFICACIONES - EXCAVADORA CATERPILLAR 330 BL	
TREN DE RODAJE	
Tamaño de la zapata	600mm
Velocidad máxima de transporte	4.6 km/h
Fuerza de tracción del gancho	268 kN
Ancho de vía	2590 mm
MOTOR	
Fabricante	Caterpillar
Modelo	3306
Potencia total	176 Kw
Potencia efectiva	165.5 kW
Potencia medida en	1800 RPM.
Cilindrada	10.5 l.
Aspiración	Turboalimentado
Número de cilindros	6
MECANISMO DE GIRO	
Momento de fuerza de giro	106025 Nm
EXPLORACIÓN	
Peso útil	32420 kg
Volumen de combustible	560 l.
Volumen del fluido del sistema refrigerante	45 l.
Volumen del fluido del sistema hidráulico	400 l.
Volumen de aceite del motor	30 l.
Volumen del fluido del mecanismo del cambio de longitud de la pluma	15 l.
Tensión de funcionamiento	24 V
Amperaje del generador	50 amperios
Presión de la válvula de regulación del sistema hidráulico	34335.9 kPa
Capacidad de la bomba hidráulica	480 l/min
DIMENSIONES	
Ancho hasta el lado exterior de la cadena	3190mm
Altura hasta la parte superior de la cabina	3150mm
Despeje sobre el suelo	510mm
Despeje del contrapeso	1260mm
Radio de giro de la parte trasera de la plataforma	3500mm
Longitud de la cadena de la oruga	3610mm

3.5. Mantenimiento Preventivo Periódicos:

Se presenta los mantenimientos preventivos periódicos basados en los horómetros de trabajo concertados, estos mantenimientos son proporcionados por los representantes de la marca Caterpillar.

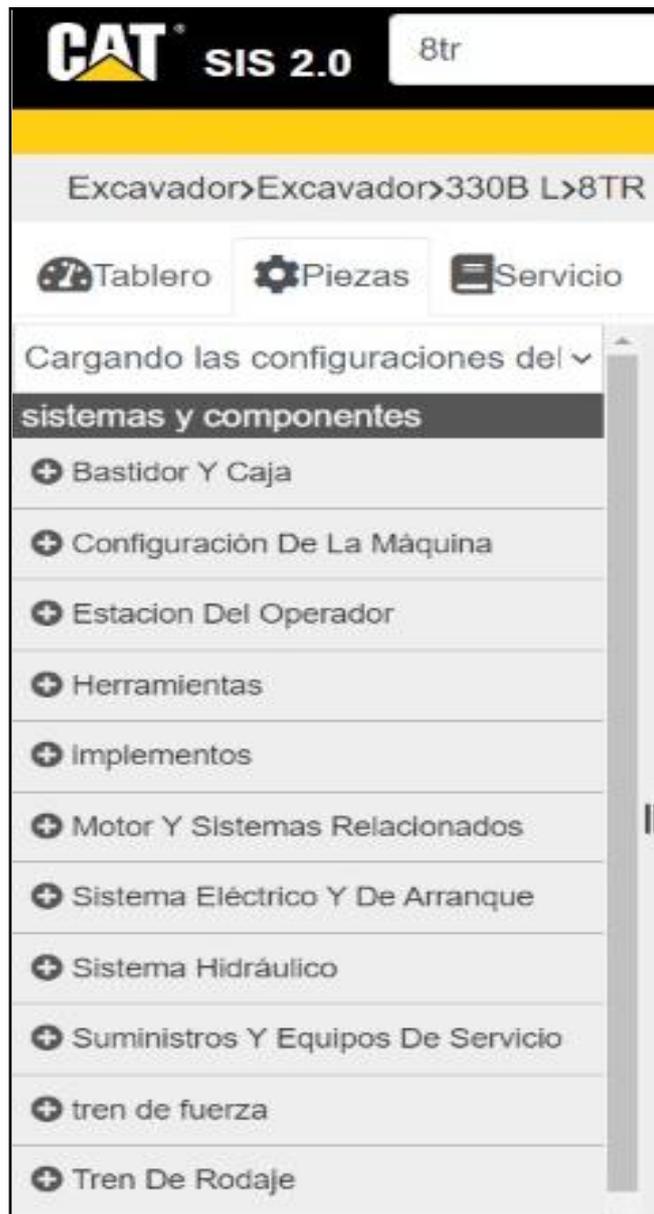
Tabla 5 Mantenimiento Preventivos Periódicos

MANTENIMIENTO PREVENTIVO PERIODICOS						
PM	EVENTO	PRIMER CAMBIO	INTERVALO	N. DE PARTES	DESCRIPCION	CANT
PM1	PM1	250	500	AA:1R0739	FILTRO ACEITE	1
	PM1	250	500	AA:1R0750	FILTRO COMBUSTIBLE	1
	PM1	250	500	AA:2J0157	KIT SELLOS / ORING	1
	PM1	250	500	AA:9M2341	FILTRO ELEMENTO COMBUSTIBLE	1
	PM1	250	500	EX:3E9713	ACEITE MOTOR DIESEL 15W40 (8 GAL)	1
PM2	PM2	500	1,000	AA:1R0739	FILTRO ACEITE	1
	PM2	500	1,000	AA:1R0750	FILTRO COMBUSTIBLE	1
	PM2	500	1,000	AA:2J0157	KIT SELLOS / ORING	1
	PM2	500	1,000	AA:9X2205	KIT FILTRO DE TAPA COMBUSTIBLE	1
	PM2	500	1,000	AA:612503	FILTRO DE AIRE	1
	PM2	500	1,000	AA:9M2341	FILTRO ELEMENTO COMBUSTIBLE	1
	PM2	500	1,000	AA:1843931	FILTRO HIDRAULICO	1
PM3	PM3	1,000	2,000	EX:3E9713	ACEITE MOTOR DIESEL 15W40 (8 GAL)	1
	PM3	1,000	2,000	AA:1R0739	FILTRO ACEITE	1
	PM3	1,000	2,000	AA:1R0750	FILTRO COMBUSTIBLE	1
	PM3	1,000	2,000	AA:2J0157	KIT SELLOS / ORING	1
	PM3	1,000	2,000	AA:612503	FILTRO DE AIRE	1
	PM3	1,000	2,000	AA:612504	FILTRO DE AIRE INTERIOR	1
	PM3	1,000	2,000	AA:9M2341	FILTRO ELEMENTO COMBUSTIBLE	1
	PM3	1,000	2,000	AA:9X2205	KIT FILTRO DE TAPA COMBUSTIBLE	1
	PM3	1,000	2,000	AA:1843931	FILTRO HIDRAULICO	1
PM4	PM4	2,000	2,000	EX:8T9576	ACEITE TRANSMISION SAE 50 (15GAL)	1
	PM4	2,000	2,000	AA:1R0739	FILTRO ACEITE	1
	PM4	2,000	2,000	AA:1R0750	FILTRO COMBUSTIBLE	1
	PM4	2,000	2,000	AA:2J0157	KIT SELLOS / ORING	1
	PM4	2,000	2,000	AA:612503	FILTRO DE AIRE	1
	PM4	2,000	2,000	AA:612504	FILTRO DE AIRE INTERIOR	1
	PM4	2,000	2,000	AA:9M2341	FILTRO ELEMENTO COMBUSTIBLE	1
	PM4	2,000	2,000	AA:7Y1647	EMPAQUETADURA DE BASTIDOR	1
	PM4	2,000	2,000	AA:9X2205	KIT FILTRO DE TAPA COMBUSTIBLE	1
	PM4	2,000	2,000	AA:1843931	FILTRO HIDRAULICO	1
	PM4	2,000	2,000	EX:3E9713	ACEITE MOTOR DIESEL 15W40 (8 GAL)	1
	PM4	2,000	2,000	EX:309631	ACEITE HIDRAULICO 10W (50 GAL)	1
SOS		500			ANALISIS DE ACEITE SOS	1

3.6. Sistemas de la excavadora 330 BL (SISCAT 2.0)

Se presenta la taxonomía del sistema integral de la excavadora 330BL, para ello se ingresa a la plataforma SISCAT 2.0 en el cual se puede observar los sistemas, subsistemas y componentes de acuerdo al fabricante. A continuación, el grafico 8 muestra la configuración principal del equipo.

Gráfico 8 Sistema de excavadora 330BL



3.6.1. Subsistemas de la excavadora 330BL

Para un mayor entendimiento del sistema del equipo se adjuntan imágenes referenciales por cada subsistema según el fabricante (SIS 2.0).

3.6.1.1. Sistema de bastidor y caja

Es la parte de la excavadora que brinda la resistencia de la máquina frente a los esfuerzos, así mismo sirve como base de la rueda guía, orugas, cadenas, rodillos inferiores y superiores.

Gráfico 9: Sistema de bastidor y caja



3.6.1.2. Sistema de cabina del operador

La cabina es el área donde el operador controla y dirige el equipo mediante los joysticks, consolas, pedales, monitores, etc.)

Gráfico 10: Sistema de cabina del operador

precio y disponibilidad		Cantidad
número de pieza	Nombre de la pieza	Obligatorias
1	124-4013 Y	Grupo De Cabina 1
2	111-6277 Y	Grupo De Tapas 1
3	111-6276	Conjunto De Tapas 1
	6I-5368	caucho 1
4	9X-2041	tornillos 4
5	9X-2044	tornillos 4
6	8T-4223	Arandela (Difícil) 9
alternativa		
7	8T-4139	Perno (L=30MM) 1
8	7X-2549	Perno (L=100MM) 4

3.6.1.3. Sistema de Herramientas

Hay una lista de herramientas las cuales se pueden instalar, los más utilizados es el cucharón y el martillo hidráulico. El equipo está configurado con un cucharón de 0.6 m3 como se muestra en el gráfico 11.

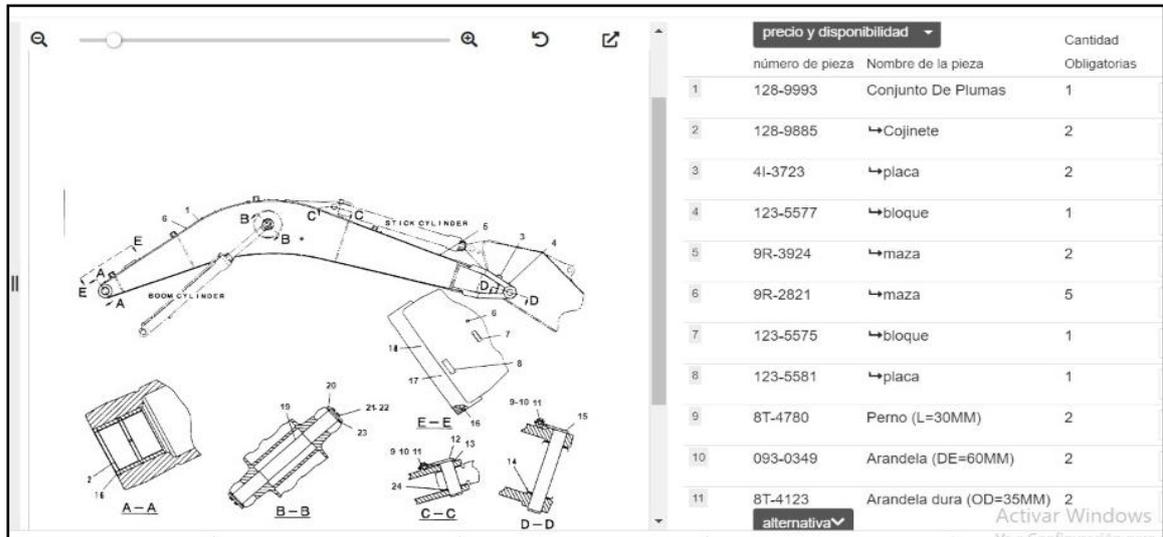
Gráfico 11: Sistema de herramientas

precio y disponibilidad		Cantidad
número de pieza	Nombre de la pieza	Obligatorias
1	123-3220	Conjunto De Borde 1
2	159-0464	Adaptador 3
3	159-0465	Adaptador 3
4	159-0466	Adaptador 1
5	123-3219	placa 3
6	128-2677	placa 1
7	119-0030	placa 1
8	119-0032	placa 1
9	4B-4158	tornillos 4

3.6.1.4. Sistema de Implemento

Son estructuras que se encargan de generar el movimiento, son accionadas por los actuadores hidráulicos (pluma, brazo y bucket).

Gráfico 12: Sistema de implementos



3.6.1.5. Sistema de motor

El motor de la excavadora hidráulica es de modelo CAT 3116 de cuatro tiempos con 6 cilindros y cuenta con un sistema de inyector bomba.

Gráfico 13 Sistema de motor

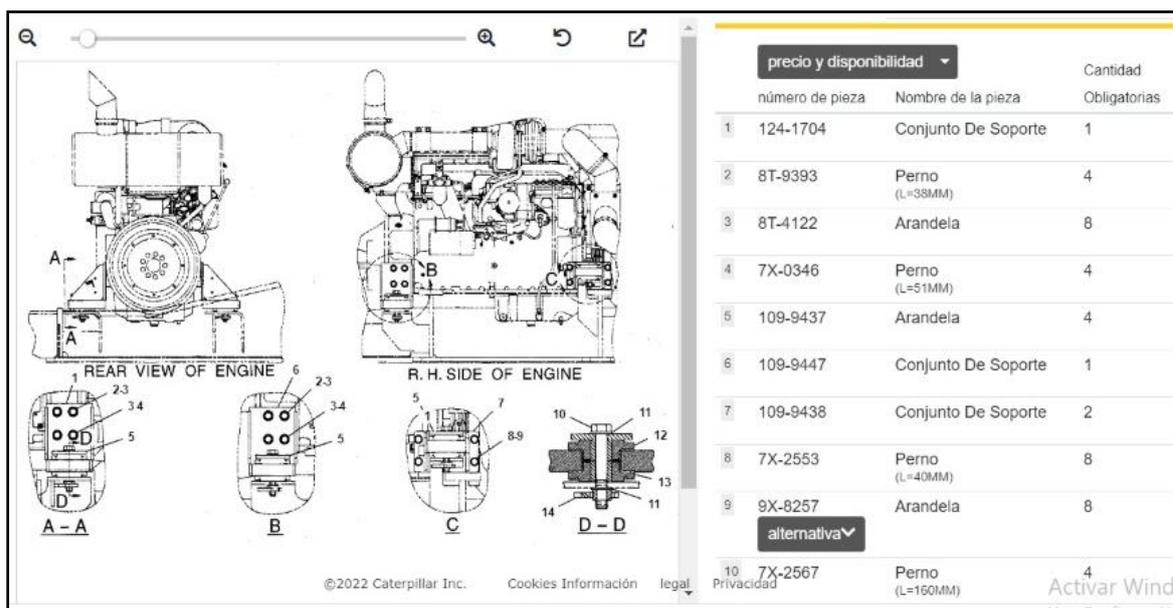


Gráfico 15 Sistema hidráulico

	número de pieza	Nombre de la pieza	Obligatorias
1	8T-6759	Toque en	2
2	6V-5597	Sello Anular (ID=40.94MM)	5
3	3E-2274	Tapas	3
4	4T-3148	Resorte	2
5	4K-1388 alternativa	Sello Anular (ID=26.59MM)	2
6	6E-2273	Caja	2
7	4I-6397	Anillos	2
8	096-3044	Sello Anular (ID=31.72MM)	1
9	6E-5731	valvula	1
10	6E-5730	Toque en	1
11	6E-2156	Manguito	1
12	9S-4188	Toque en	1

3.6.1.8. Suministro y equipos de servicio

Básicamente son los elementos usados para la ejecución de los mantenimientos los cuales garantizan la mantenibilidad del equipo y la vida útil (filtros de aceite, combustible, aire, hidráulicos, transmisión, etc.)

Gráfico 16 Suministro y equipos de servicio

1347086 FILTRO DE AIRE GP
PARTE DE 1347084-Página 67.02
UN ADJUNTO

piezas individuales | artículos de servicio | Dónde se usa

precio y disponibilidad

número de pieza	Nombre de la pieza	Cantidad Obligatorias	
1	134-7086	Conjunto De Cuerpo	1
2	6I-2504	Conjunto De Elementos	1
3	6I-2503	Conjunto De Elementos	1
4	6I-4464	Conjunto De Tapas	1
	4P-5524	↪ Sello Anular (ID=313.00MM)	1
	101-2850	↪ Calcomanía	1
5	154-0498	Conjunto De Indicador	1

©2022 Caterpillar Inc. Cookies Información legal Privacidad Activar Window

3.6.1.9. Sistema de tren de fuerza

El tren de fuerza es el que soporta esfuerzos muy elevados, cargas de alto impactos y son los que guían el movimiento mediante la rueda guía, los rodillos y la cadena.

Gráfico 17 Sistema de tren de fuerza

1156347 RODILLO AR-TRACK & CARRIER S/N 8SR 1-UP 6Y5323-Página 228, 1791486-Página 228.01		
precio y disponibilidad		
número de pieza	Nombre de la pieza	Cantidad
		Obligatorias
1	7X-2577 Perno (L=90MM)	4
2	6Y-5323 grupo de rodillo	4
3	179-1486 grupo de rodillo	14
4	7X-2454 Perno (L=110MM)	56
5	8T-4167 Arandela	56

3.6.1.10. Sistema de tren de rodaje

El tren de rodaje está constituido por el convertidor, transmisión, diferencial y mandos finales, los cuales se asocian para trabajar juntos y transmitir la potencia del equipo.

Gráfico 18 Sistema tren de rodaje

precio y disponibilidad		
número de pieza	Nombre de la pieza	Cantidad
		Obligatorias
1	8T-5878 Perno (L=80MM)	40
2	8T-4167 Arandela Dura	60
3	7X-2576 Perno (L=70MM)	20
4	8T-4137 Perno (L=20MM)	1
5	8T-4121 Arandela Dura	1
6	2B-7561 Corcho	2
7	7Y-1095 Espiga	1
8	5D-1026 Abrazadera	1
9	5P-0767 Manguera (90CM)	1
10	114-1374 Soporte	1

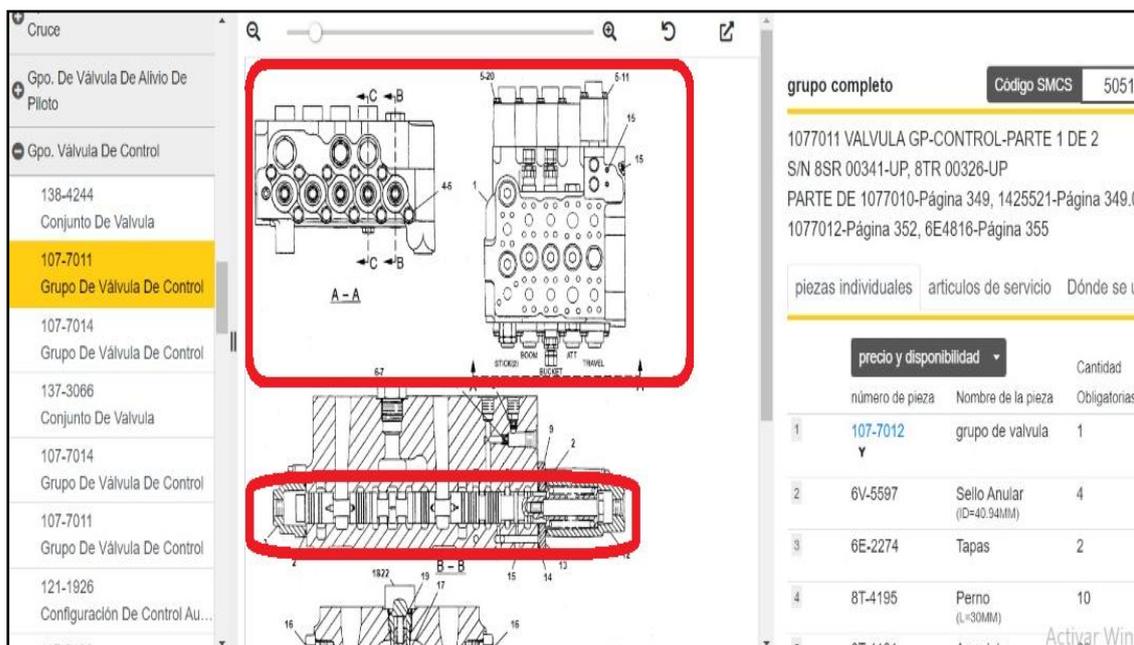
3.6.2. Fallas en el Sistema Hidráulico

Se presenta todas las fallas originadas en el sistema hidráulico, las cuales se evidencian en el historial de fallas presentadas en la tabla (3). A continuación, se mostrará el detalle de los componentes comprometidos en los correctivos. La data es extraída del SISCAT 2.0.

3.6.2.1. Falla en el control de válvulas y spool

Esta es una de las fallas que originaron problemas en el control de válvulas fue el desgaste de spools, se identificaron con la pérdida de velocidad del stick, las cuales fueron reportadas por el técnico.

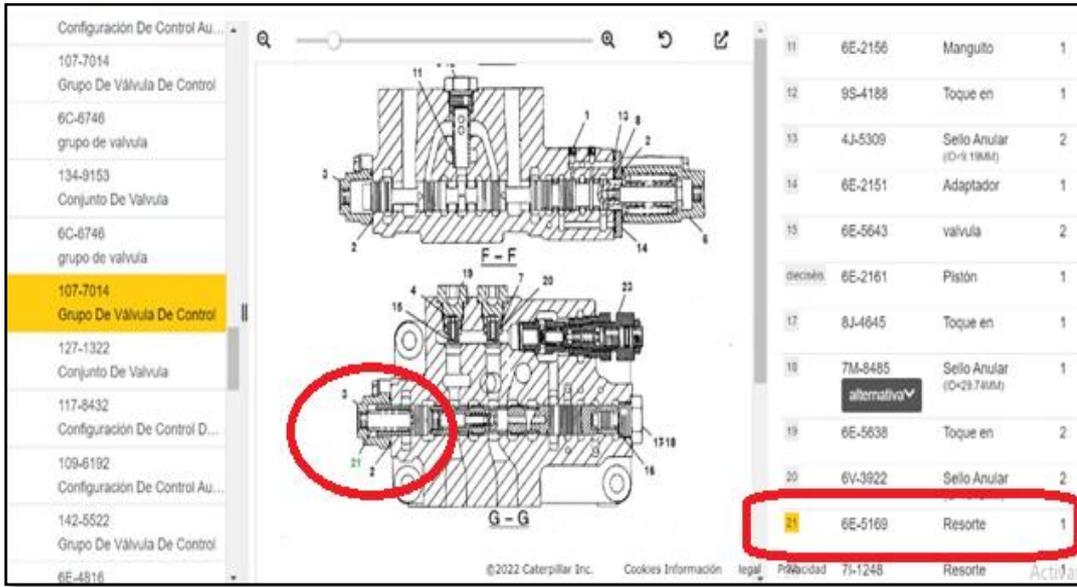
Gráfico 19 Sistema hidráulico (Control de válvulas y spool)



3.6.2.2. Falla en el resorte de spool

Esta falla originó problemas en el control de válvulas por un desgaste y fatiga de los resortes los cuales no permitían el juego axial y recorrido de los spools.

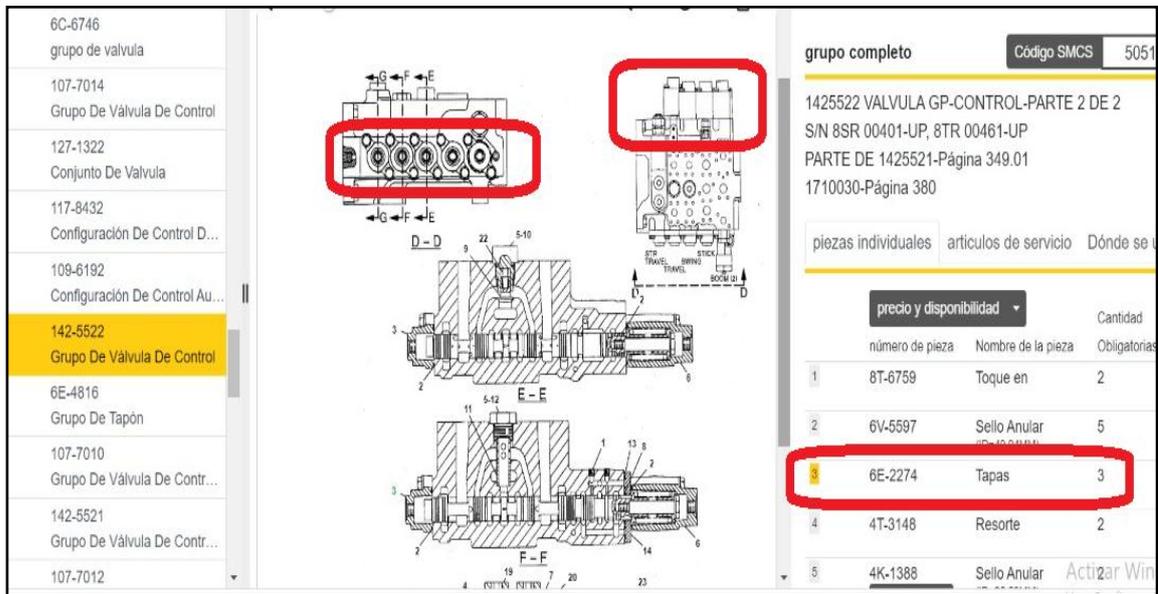
Gráfico 20 Sistema hidráulico (Resorte de spool)



3.6.2.3. Falla de tapa de spool

En esta falla se evidencio fuga de aceite externa los cuales son reportados por los técnicos, luego se procedió con el desmontaje de los componentes, hallando una rotura de una de las tapas.

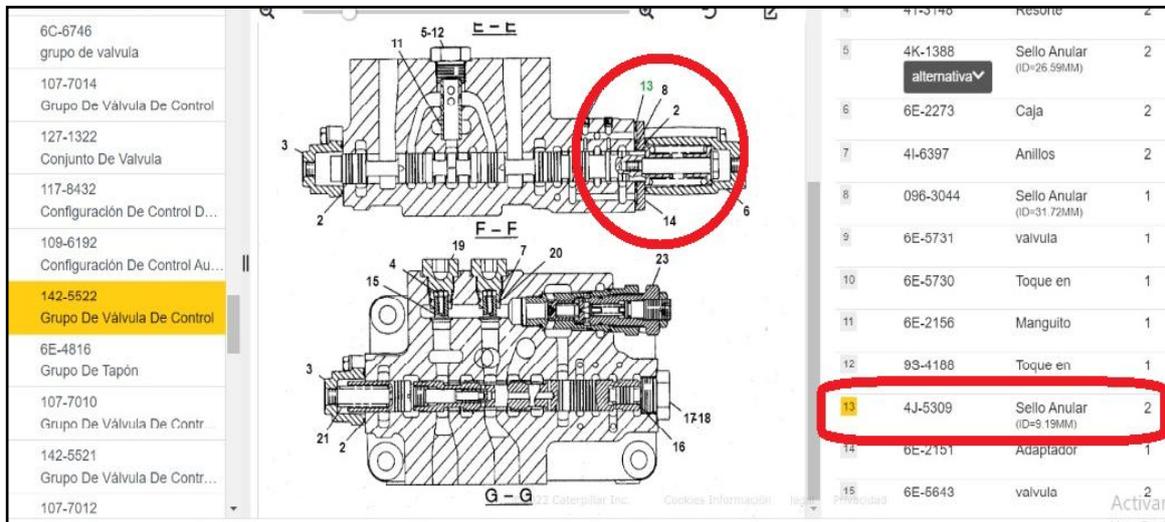
Gráfico 21 Sistema hidráulico (Tapa de spool)



3.6.2.4. Falla en los sellos del control de válvulas

En esta falla los sellos presentaron desgaste, se evidenciaron fugas externas de aceite, provocando cavitaciones en los componentes hidráulicos.

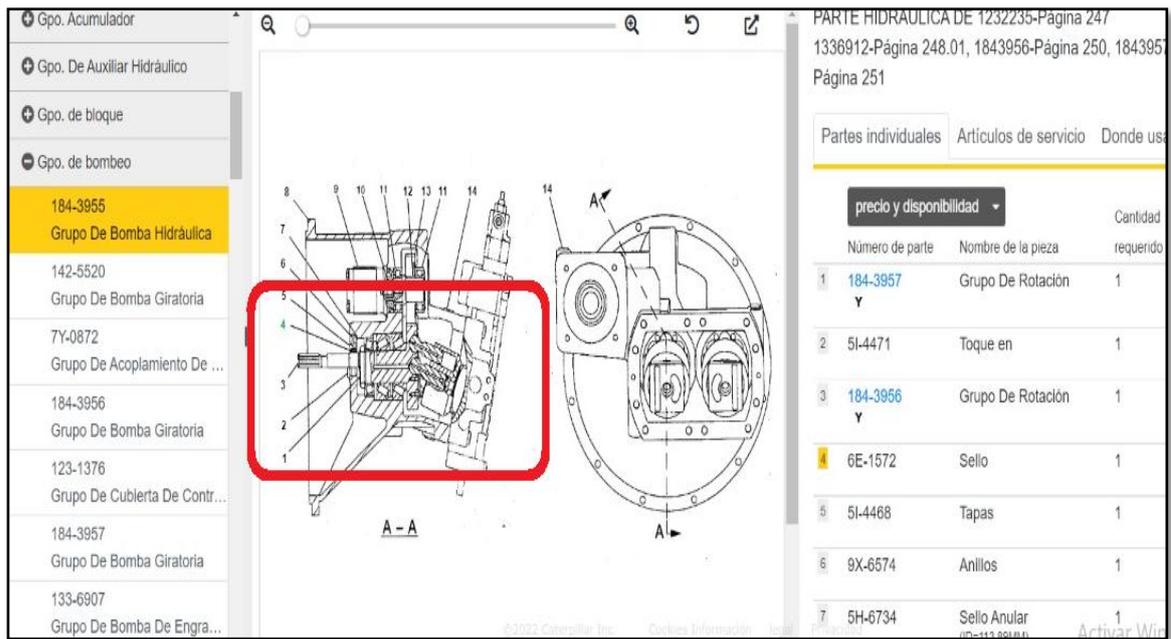
Gráfico 22 Sistema hidráulico (Sellos del control de válvulas)



3.6.2.5. Fallas en la bomba hidráulica LH y RH

Esta falla ocasionó problemas de velocidad en los actuadores de la excavadora, por ende, se tomaron las presiones en la bomba LH y RH obteniendo valores menores a los parámetros de trabajo. Se tiene conocimiento que la función principal de las bombas es suministrar el flujo (fluidos no comprensibles de gran potencia) necesario para el funcionamiento de los componentes asegurando un alto rendimiento en operaciones de alta presión.

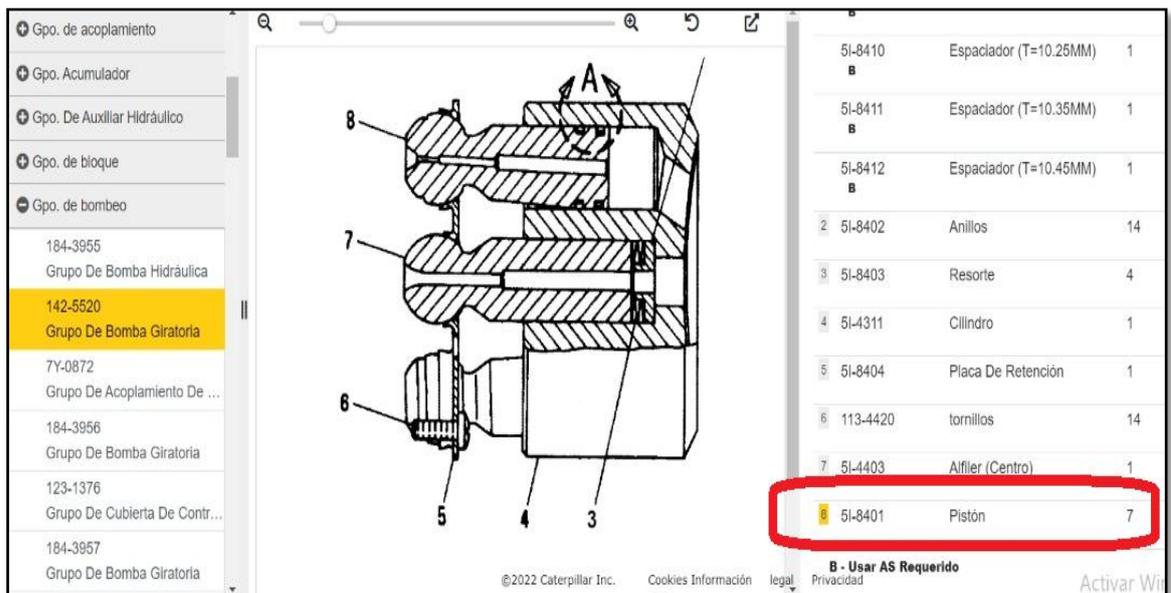
Gráfico 23 Sistema Hidráulico (Bomba hidráulica LH y RH)



3.6.2.6. Falla en los pistones de bomba hidráulica

Para la localización de esta falla se realizó un diagnóstico interno de la bomba, se evidenciaron desgaste excesivo en los cojinetes y fisuras en dos pistones de la bomba hidráulica.

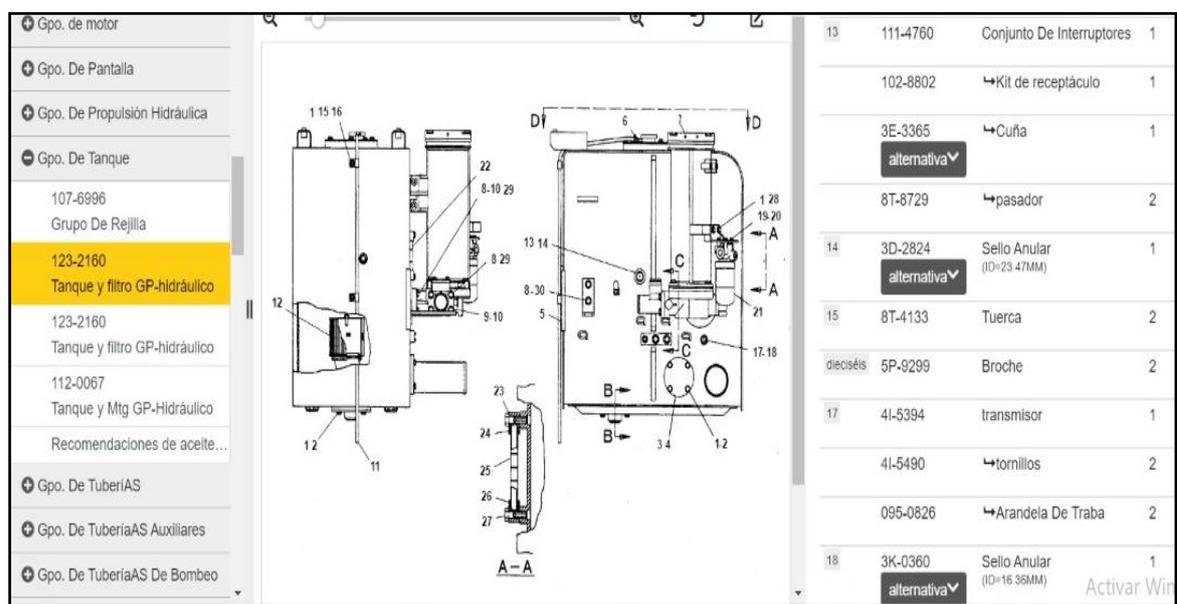
Gráfico 24 Sistema hidráulico (Pistones de bomba hidráulica)



3.6.2.7. Falla en el tanque hidráulico

Esta falla se ocasionó por no realizar el cambio de los sellos del tanque hidráulico en sus horas correspondientes, ocasionando una contaminación externa. Su principal función es almacenar aceite o fluido. El tanque también debe disipar el calor, separar el aire del aceite y permite la extracción de los gases y materiales extraños del líquido.

Gráfico 25 Sistema hidráulico (Tanque Hidráulico)



3.6.2.8. Falla en el cilindro del boom

Esta falla se presentó porque no hay una inspección de los cilindros hidráulicos, los técnicos solamente cambiaban los sellos cuando presentaban fugas internas y externas ocasionadas por golpes y rayaduras en los vástagos, los cuales causaron pérdidas de velocidad al cilindro del boom.

Gráfico 26 Sistema hidráulico (Pistón del boom)

Grupo entero Código SMC

1336803 CILINDRO Y SELLO GP-BOOM
HIGH TEMP
PARTE DE 1336798, 1336799-Página 259.01
1336808-Página 264.01
UN ADJUNTO

Número de parte	Nombre de la pieza	Cantidad requerido
1 133-6808	Grupo De Cilindro	1
2 9X-4597	Sello	4
3 3B-8489	Conexión	1

3.6.2.9. Falla en la bomba de engranaje

Esta falla se presentó porque la bomba de engranaje no suministraba la presión a las bombas principales LH y RH. Los técnicos manifiestan que no intervinieron al componente durante los mantenimientos porque no se evidenciaba fuga de aceite o una avería.

Gráfico 27 Bomba de engranaje

Grupo entero Código SMC

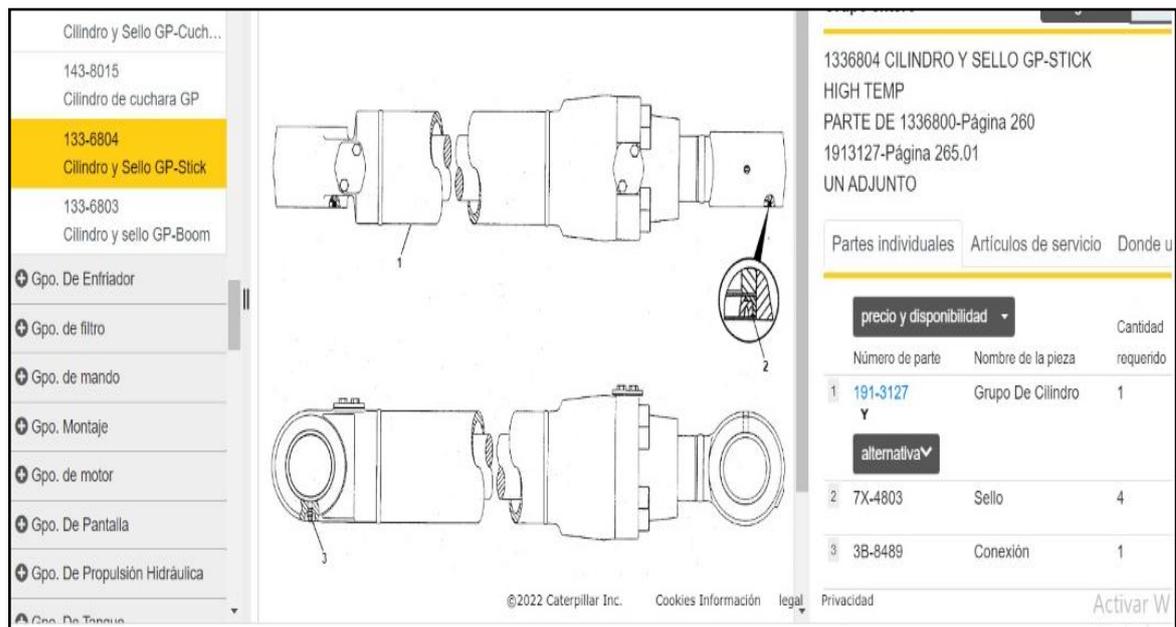
1262147 BOMBA GP-ENGRANAJE
1 SECCION
PARTE DE 1336912-Página 248.01

Número de parte	Nombre de la pieza	Cantidad requerido
1 2H-6184	Sello-O-Ring (ID=78.97MM)	1
2 8T-4136	Perno (L=25MM)	2
3 6V-3922	Sello-O-Ring (ID=18.72MM)	1
4 7J-9933	Sello-O-Ring (ID=21.89MM)	1

3.6.2.10. Falla en el cilindro del stick

Esta falla se presentó porque no hay una inspección de los cilindros hidráulicos, los técnicos solamente cambiaban los sellos cuando presentaban fugas internas y externas ocasionadas por golpes y rayaduras en los vástagos, los cuales causaron pérdidas de velocidad al cilindro del stick.

Gráfico 28 Sistema hidráulico (Pistón del stick)



3.6.2.11. Falla en el motor de giro

Se presenta problemas con el giro antihorario de la excavadora, se le realizó una inspección por parte de los técnicos y hallaron mangueras que estuvieron trabajando con una sobrepresión excesiva, no hay registros que evidencien la intervención en el motor de giro, por ello se procede a realizar un desmontaje de componentes internos para proceder con el diagnostico.

Gráfico 29 Sistema hidráulico (Motor de giro)

The image shows a technical drawing of a hydraulic motor assembly in cross-section, with numbered callouts (1-7) pointing to specific components. To the right of the drawing is a parts list table. The table has columns for 'número de pieza', 'Nombre de la pieza', and 'Cantidad'. Below the table, there are options for 'precio y disponibilidad' and 'alternativa'. At the bottom of the page, there is a copyright notice for Caterpillar Inc. and a 'Activar Windows' watermark.

número de pieza	Nombre de la pieza	Cantidad
1 121-1564	Grupo De Motor	1
2 121-1565	grupo de valvula	1
3 8T-6974	Perno (L=80MM)	3
4 095-1573	Sello-O-Ring (ID=5.80MM)	2
5 4I-7788	grupo de valvula	2
6 9X-8256	Arandela	6
7 5B-9304	tornillos	2

3.6.2.12. Falla en el motor de traslación

Esta falla se presentó con movimientos tardíos, los cuales, imposibilitaron el movimiento correcto de la excavadora, por eso se realizaron pruebas de movimientos y posterior el desmontaje de componentes internos.

Gráfico 30 Sistema hidráulico (Motor de traslación)

The screenshot displays a software interface for a hydraulic motor. On the left is a navigation menu with categories like 'Implementos', 'Motor Y Sistemas Relacionados', 'Sistema Eléctrico Y De Arranque', 'Sistema Hidráulico', 'Suministros Y Equipos De Servicio', 'tren de fuerza', 'Tren De Rodaje', 'Gpo. De Cadena', 'Gpo. De Rodillo', 'Gpo. De Rueda Guía', 'Gpo. Tensor Y Ajustador De Cadena', 'Kit - Reparación/servicio', and 'Kit - Mejoras'. The central area shows a detailed technical drawing of the motor with various components labeled with numbers (1-54) and section lines (A-A, B-B, C-C, D). On the right, a table lists the parts with their numbers, names, and quantities.

	precio y disponibilidad	Cantidad
número de pieza	Nombre de la pieza	Obligatorias
1	087-4629 eje	1
2	087-4743 Toque en	2
3	094-1399 Anillos	2
4	7Y-4212 Cojinete	1
5	087-4757 Pistón	2
6	107-6969 Cuerpo	1
7	122-5114 guía	1
8	087-4628 placa	1
9	147-5860 Conjunto De Pistón	1
10	134-7134 Conjunto De Cañón	1
11	107-6954 placa	4

3.7. Desarrollo de la AMEF

A continuación, se desarrolla la matriz del AMEF.

- Función principal.
- Falla funcional.
- Modo de falla.
- Efecto de falla.
- Consecuencias operativas.
- Costo por inoperatividad.
- Costo por reparación.
- Total por inoperatividad.
- Consecuencias humanas.
- Consecuencias del medio ambiente.

Se aplica el desarrollo del cuadro del AMFE con los datos presentados en los subsistemas del sistema hidráulico, se enfocó en realizar un AMFE ya que está dirigido a prevenir las posibles fallas.

- Control de válvulas.
- Bomba LH y RH.
- Bomba de engranajes.
- Tanque hidráulico.
- Actuadores hidráulicos.
- Motor de traslación

Tabla: 6 AMEF

Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	Consecuencias operativas (Horas)	Costo por inoperatividad	Costo por reparación	Total, por inoperatividad	Consecuencias humanas	Consecuencias al medio ambiente
1.- Control de válvulas. Controla el caudal de todas las líneas hidráulicas	A.- No distribuye el caudal necesario a la línea hidráulica	1.- Desgaste de los spool	Al existir un desgaste de los spool se produce una pérdida de aceite el cual provoca pérdida de caudal y sobrecalentamiento del sistema hidráulico	De presentarse este modo de falla, el equipo estaría indisponible por 56 Horas.	El costo de ineficiencia por hora es de USD 68, por lo tanto, las 56 horas de indisponibilidad del equipo impactaría con un costo de ineficiencia de USD 3808	De presentarse este modo de falla los costos de reparación ascienden a un costo de USD 230	Si sumamos el costo de ineficiencia más el costo de reparación estaríamos generando un gasto no planificado de USD 4038	De ocurrir el desgaste del spool no pone en riesgo la integridad del operador ni a las personas que puedan estar cerca al equipo	De ocurrir el desgaste del spool no genera ningún impacto negativo al medio ambiente
		2.- Ruptura de las consolas	Al presentar rupturas en las consolas los spools pierden desplazamiento axial, ocasionando pérdidas de presión en la línea hidráulica.	De presentarse este modo de falla, el equipo estaría indisponible por 16 Horas	El costo de ineficiencia por hora es de USD 68, por lo tanto, las 16 horas de indisponibilidad impactaría con un costo de USD 1088	De presentarse este modo de falla los costos de reparación ascienden a un costo de USD 250.	Si sumamos el costo de ineficiencia más el costo de reparación estaríamos generando un gasto no planificado de USD 1338.	De ocurrir la ruptura de las consolas no pone en riesgo la integridad del operador ni a las personas que puedan estar cerca al equipo	De ocurrir la ruptura de las consolas si generaría un impacto negativo al medio ambiente
		3.- Resorte fatigado	Al presentar fatiga en los resortes, los spool pierden carrera, ocasionando una mala distribución del caudal en la línea hidráulica.	De presentarse este modo de falla, el equipo estaría indisponible por 13 horas.	El costo de ineficiencia por hora es de USD 68, por lo tanto, las 13 horas de indisponibilidad impactaría con un costo de USD 884.	De presentarse este modo de falla los costos de reparación ascienden a un costo de USD 80.	Si sumamos el costo de ineficiencia más el costo de reparación estaríamos generando un gasto no planificado de USD 964.	De ocurrir la fatiga del resorte no pone en riesgo la integridad del operador ni a las personas que puedan estar cerca al equipo.	De ocurrir la fatiga del resorte no genera ningún impacto negativo al medio ambiente.
		4.- Desgaste de sellos	Al presentar desgaste en los sellos, se evidencia fugas de aceite, el cual ocasiona el desnivel hidráulico y probables cavitaciones en los componentes hidráulicos.	De presentarse este modo de falla, el equipo estaría indisponible por 24 Horas	El costo de ineficiencia por hora es de USD 68, por lo tanto, las 24 horas de indisponibilidad impactaría con un costo de USD 1632.	De presentarse este modo de falla los costos de reparación ascienden a un costo de USD 160.	Si sumamos el costo de ineficiencia más el costo de reparación estaríamos generando un gasto no planificado de USD 1792.	De ocurrir el desgaste de los sellos no pone en riesgo la integridad del operador ni a las personas que puedan estar cerca al equipo.	De ocurrir el desgaste de los sellos si genera un impacto negativo al medio ambiente.

Tabla 6 AMEF (continuación 1)

2.- Bomba de Pistón LH y RH, Suministrar el caudal necesario a cada sub sistema.	A.- No suministra el caudal necesario a cada sub sistema.	1.- Sellos desgastados.	Al presentar desgaste en los sellos, se evidencia fugas de aceite, el cual ocasiona el desnivel hidráulico y probables cavitaciones en los componentes hidráulicos.	De presentarse este modo de falla, el equipo estaría indisponible por 6 Horas.	El costo de ineficiencia por hora es de USD 68, por lo tanto, las 16 horas de indisponibilidad impactaría con un costo de USD 1088.	De presentarse este modo de falla los costos de reparación ascienden a un costo de USD 180.	Si sumamos el costo de ineficiencia más el costo de reparación estaríamos generando un gasto no planificado de USD 1268.	De ocurrir el desgaste de los sellos no pone en riesgo la integridad del operador ni a las personas que puedan estar cerca al equipo.	De ocurrir el desgaste de los sellos si genera un impacto negativo al medio ambiente.
		2.- Desgaste en las pistas de los rodamientos	Al presentar desgaste en las pistas, aumenta la holgura axial y genera una desalineación en el rodamiento, provocando un aumento del rozamiento entre el eje y los rodetes.	De presentarse este modo de falla, el equipo estaría indisponible por 24 Horas	El costo de ineficiencia por hora es de USD68, por lo tanto, las 24 horas de indisponibilidad impactaría con un costo de 1632.	De presentarse este modo de falla los costos de reparación ascienden a un costo de USD 250.	Si sumamos el costo de ineficiencia más el costo de reparación estaríamos generando un gasto no planificado de USD 1882.	De ocurrir la fractura de los rodamientos no pone en riesgo la integridad del operador ni a las personas que puedan estar cerca al equipo.	De ocurrir la fractura del rodamiento no genera ningún impacto negativo al medio ambiente.
		3.- Desgaste abrasivo en el cuerpo basculante	Al presentar desgaste en el cuerpo basculante altera el ángulo de accionamiento ocasionando una variación en el caudal.	De presentarse este modo de falla, el equipo estaría indisponible por 24 Horas.	El costo de ineficiencia por hora es de USD 68, por lo tanto, las 24 horas de indisponibilidad impactaría con un costo de USD 1632.	De presentarse este modo de falla los costos de reparación ascienden a un costo de USD 870.	Si sumamos el costo de ineficiencia más el costo de reparación estaríamos generando un gasto no planificado de USD 2502.	De ocurrir el desgaste abrasivo en el cuerpo basculante no pone en riesgo la integridad del operador ni a las personas que puedan estar cerca al equipo	De ocurrir el desgaste abrasivo en el cuerpo basculante no genera ningún impacto negativo al medio ambiente
		4.- Desgaste de anillos en los pistones.	Al presentar desgaste en los anillos, la bomba hace sobreesfuerzo generando sobrecalentamiento	De presentarse este modo de falla, el equipo estaría indisponible por 18 Horas	El costo de ineficiencia por hora es de USD 68, por lo tanto, las 18 horas de indisponibilidad impactaría con un costo de USD1224.	De presentarse este modo de falla los costos de reparación ascienden a un costo de USD 570.	Si sumamos el costo de ineficiencia más el costo de reparación estaríamos generando un gasto no planificado de USD 1794.	De ocurrir la fatiga del pistón no pone en riesgo la integridad del operador ni a las personas que puedan estar cerca al equipo	De ocurrir la fatiga del pistón no genera ningún impacto negativo al medio ambiente

Tabla 6 AMFE (continuación 2)

3.- Bomba de engranajes. Suministrar aceite a las bombas principales.	A.- No suministra el caudal necesario a las bombas principales.	1.- Sellos desgastados	Al presentar los sellos desgastados, ocasiona fugas de aceite y pérdidas de presión.	De presentarse este modo de falla, el equipo estaría indisponible por 10 Horas	El costo de ineficiencia por hora es de USD 68, por lo tanto, las 10 horas de indisponibilidad impactaría con un costo de USD 680.	De presentarse este modo de falla los costos de reparación ascienden a un costo de USD 198.	Si sumamos el costo de ineficiencia más el costo de reparación estaríamos generando un gasto no planificado de USD 878.	De ocurrir el desgaste de los sellos no pone en riesgo la integridad del operador ni a las personas que puedan estar cerca al equipo	De ocurrir el desgaste de los sellos si genera un impacto negativo al medio ambiente
		2.- Ejes rayados	Al presentar rayaduras en los ejes, aumenta el juego axial y radial provocando pérdida de caudal.	De presentarse este modo de falla, el equipo estaría indisponible por 16 Horas	El costo de ineficiencia por hora es de USD 68, por lo tanto, las 16 horas de indisponibilidad impactaría con un costo de USD 1088.	De presentarse este modo de falla los costos de reparación ascienden a un costo de USD 490.	Si sumamos el costo de ineficiencia más el costo de reparación estaríamos generando un gasto no planificado de USD 1578.	De ocurrir la rayadura de los ejes no pone en riesgo la integridad del operador ni a las personas que puedan estar cerca al equipo	De ocurrir la rayadura de los ejes no genera ningún impacto negativo al medio ambiente
		3.- Rayaduras en la cámara y en el área de succión	Al presentar rayaduras en la cámara, pierde hermetización ocasionando pérdidas de caudal.	De presentarse este modo de falla, el equipo estaría indisponible por 16 Horas	El costo de ineficiencia por hora es de USD 68, por lo tanto, las 16 horas de indisponibilidad impactaría con un costo de USD 1088.	De presentarse este modo de falla los costos de reparación ascienden a un costo de USD 1200.	Si sumamos el costo de ineficiencia más el costo de reparación estaríamos generando un gasto no planificado de USD 2288.	De ocurrir las Rayaduras en la cámara y en el área de succión no pone en riesgo la integridad del operador ni a las personas que puedan estar cerca al equipo	De ocurrir las Rayaduras en la cámara y en el área de succión no genera ningún impacto negativo al medio ambiente
	A.- No almacena aceite hidráulico	1.- Sellos desgastados provocando fuga de aceite	Al presentar desgaste en los sellos, se evidencia fugas de aceite, el cual ocasiona el desnivel hidráulico y probables cavitaciones en los componentes hidráulicos	De presentarse este modo de falla, el equipo estaría indisponible por 10 Horas	El costo de ineficiencia por hora es de USD 68, por lo tanto, las 10 horas de indisponibilidad impactaría con un costo de USD 680.	De presentarse este modo de falla los costos de reparación ascienden a un costo de USD 100.	Si sumamos el costo de ineficiencia más el costo de reparación estaríamos generando un gasto no planificado de USD 780.	De ocurrir el desgaste de los sellos no pone en riesgo la integridad del operador ni a las personas que puedan estar cerca al equipo	De ocurrir el desgaste de los sellos si genera un impacto negativo al medio ambiente

Tabla 6 AMFE (continuación 3)

5.- Actuadores Hidráulicos. Generar fuerza	A.- No genera fuerza	1.- Rayadura en el vástago	Al presentar rayaduras en el vástago, estos cortan la superficie de los sellos hidráulicos, generando pérdida de presión.	De presentarse este modo de falla, el equipo estaría indisponible por 16 Horas	El costo de ineficiencia por hora es de USD 68, por lo tanto, las 16 horas de indisponibilidad impactaría con un costo de USD 1088.	De presentarse este modo de falla los costos de reparación ascienden a un costo de USD 600.	Si sumamos el costo de ineficiencia más el costo de reparación estaríamos generando un gasto no planificado de USD 1688.	De ocurrir la rayadura del vástago no pone en riesgo la integridad del operador ni a las personas que puedan estar cerca al equipo	De ocurrir la rayadura del vástago no genera ningún impacto negativo al medio ambiente
		2.- Fuga interna por sellos hidráulicos desgastados	Al presentar los sellos desgastados, se presencia pérdida de presión en las cámaras del cilindro.	De presentarse este modo de falla, el equipo estaría indisponible por 13 Horas	El costo de ineficiencia por hora es de USD 68, por lo tanto, las 13 horas de indisponibilidad impactaría con un costo de USD 884.	De presentarse este modo de falla los costos de reparación ascienden a un costo de USD 230.	Si sumamos el costo de ineficiencia más el costo de reparación estaríamos generando un gasto no planificado de USD 1114.	De ocurrir la fuga interna no pone en riesgo la integridad del operador ni a personas que puedan estar cerca al equipo	De ocurrir la fuga interna no genera ningún impacto negativo al medio ambiente
		3.- Vástago desalineado	Al presentar un desalineamiento en el vástago, ocasiona daños en el embolo con las paredes del cilindro, también provocando fuga externa.	De presentarse este modo de falla, el equipo estaría indisponible por 24 Horas	El costo de ineficiencia por hora es de USD 68, por lo tanto, las 24 horas de indisponibilidad impactaría con un costo de USD 1632.	De presentarse este modo de falla los costos de reparación ascienden a un costo de USD 1300.	Si sumamos el costo de ineficiencia más el costo de reparación estaríamos generando un gasto no planificado de USD 2932.	De ocurrir la fatiga del resorte no pone en riesgo la integridad del operador ni a personas que puedan estar cerca al equipo	De ocurrir el des alineamiento del vástago si genera un impacto negativo al medio ambiente
		4.- Corrosión en el vástago.	Al presentar corrosión en el vástago, se provoca una fuga hidráulica por los sellos, generando contaminación en el sistema hidráulico.	De presentarse este modo de falla, el equipo estaría indisponible por 32 horas	El costo de ineficiencia por hora es de USD 68, por lo tanto, las 32 horas de indisponibilidad impactaría con un costo de USD 2176.	De presentarse este modo de falla los costos de reparación ascienden a un costo de USD 530.	Si sumamos el costo de ineficiencia más el costo de reparación estaríamos generando un gasto no planificado de USD 2706.	De ocurrir corrosión de los vástagos no pone en riesgo la integridad del operador ni a personas que puedan estar cerca al equipo.	De ocurrir corrosión de los vástagos no genera ningún impacto negativo al medio ambiente.

Tabla 6 AMFE (continuación 4)

6.- Traslación. Generar el movimiento.	A.- No genera movimiento	1.- Discos de frenos desgastados.	Al presentar los frenos desgastados, ocasiona la reducción de velocidad en los mandos finales.	De presentarse este modo de falla, el equipo estaría indisponible por 16 Horas.	El costo de ineficiencia por hora es de USD 68, por lo tanto, las 16 horas de indisponibilidad impactaría con un costo de USD 1088.	De presentarse este modo de falla los costos de reparación ascienden a un costo de USD 180.	Si sumamos el costo de ineficiencia más el costo de reparación estaríamos generando un gasto no planificado de USD 1268.	De ocurrir el desgaste de los discos de freno no pone en riesgo la integridad del operador ni a las personas que puedan estar cerca al equipo.	De ocurrir el desgaste de los frenos no genera ningún impacto negativo al medio ambiente.
		2.- Sellos desgastados	Al presentar los sellos desgastados, se evidencia fuga externa, recalentamiento del sistema y generando desgaste en el grupo planetario.	De presentarse este modo de falla, el equipo estaría indisponible por 8 horas	El costo de ineficiencia por hora es de USD 68, por lo tanto, las 8 horas de indisponibilidad impactaría con un costo de USD 544.	De presentarse este modo de falla los costos de reparación ascienden a un costo de USD 160.	Si sumamos el costo de ineficiencia más el costo de reparación estaríamos generando un gasto no planificado de USD 704.	De ocurrir el desgaste de los sellos no pone en riesgo la integridad del operador ni a las personas que puedan estar cerca al equipo.	De ocurrir el desgaste de los sellos si genera un impacto negativo al medio ambiente.
		3.- Desgaste de rodamiento	Al presentar desgaste en los rodamientos, lo ejes no transmiten el movimiento de rotación adecuado a los mandos finales.	De presentarse este modo de falla, el equipo estaría indisponible por 8 Horas.	El costo de ineficiencia por hora es de USD 68, por lo tanto, las 8 horas de indisponibilidad impactaría con un costo de USD 544.	De presentarse este modo de falla los costos de reparación ascienden a un costo de USD 268.	Si sumamos el costo de ineficiencia más el costo de reparación estaríamos generando un gasto no planificado de USD 812.	De ocurrir el desgaste de rodamiento no pone en riesgo la integridad del operador ni a las personas que puedan estar cerca al equipo.	De ocurrir el desgaste de rodamiento no genera ningún impacto negativo al medio ambiente.
		4.- Fisuras en los topes del plato basculante	Al fisurarse los topes, el plato basculante no genera el oscilamiento determinado generando una pérdida de caudal por ende el equipo pierde velocidad en la traslación.	De presentarse este modo de falla, el equipo estaría indisponible por 14 horas	El costo de ineficiencia por hora es de USD 68, por lo tanto, las 14 horas de indisponibilidad impactaría con un costo de USD 952.	De presentarse este modo de falla los costos de reparación ascienden a un costo de USD 210.	Si sumamos el costo de ineficiencia más el costo de reparación estaríamos generando un gasto no planificado de USD 1162.	De ocurrir la fisura en topes del plato basculante no pone en riesgo la integridad del operador ni a las personas que puedan estar cerca al equipo	De ocurrir la fisura en topes del plato basculante no genera ningún impacto negativo al medio ambiente

Después de haber realizado el cuadro se procede a realizar la hoja de decisión con la ayuda de los siguientes diagramas los cuales nos ayudaran a determinar las siguientes tareas a realizar:

- Tarea de condición.
- Tarea de reacondicionamiento cíclico.
- Tarea de sustitución cíclica.

Gráfico 31 RCM: Diagrama de decisión

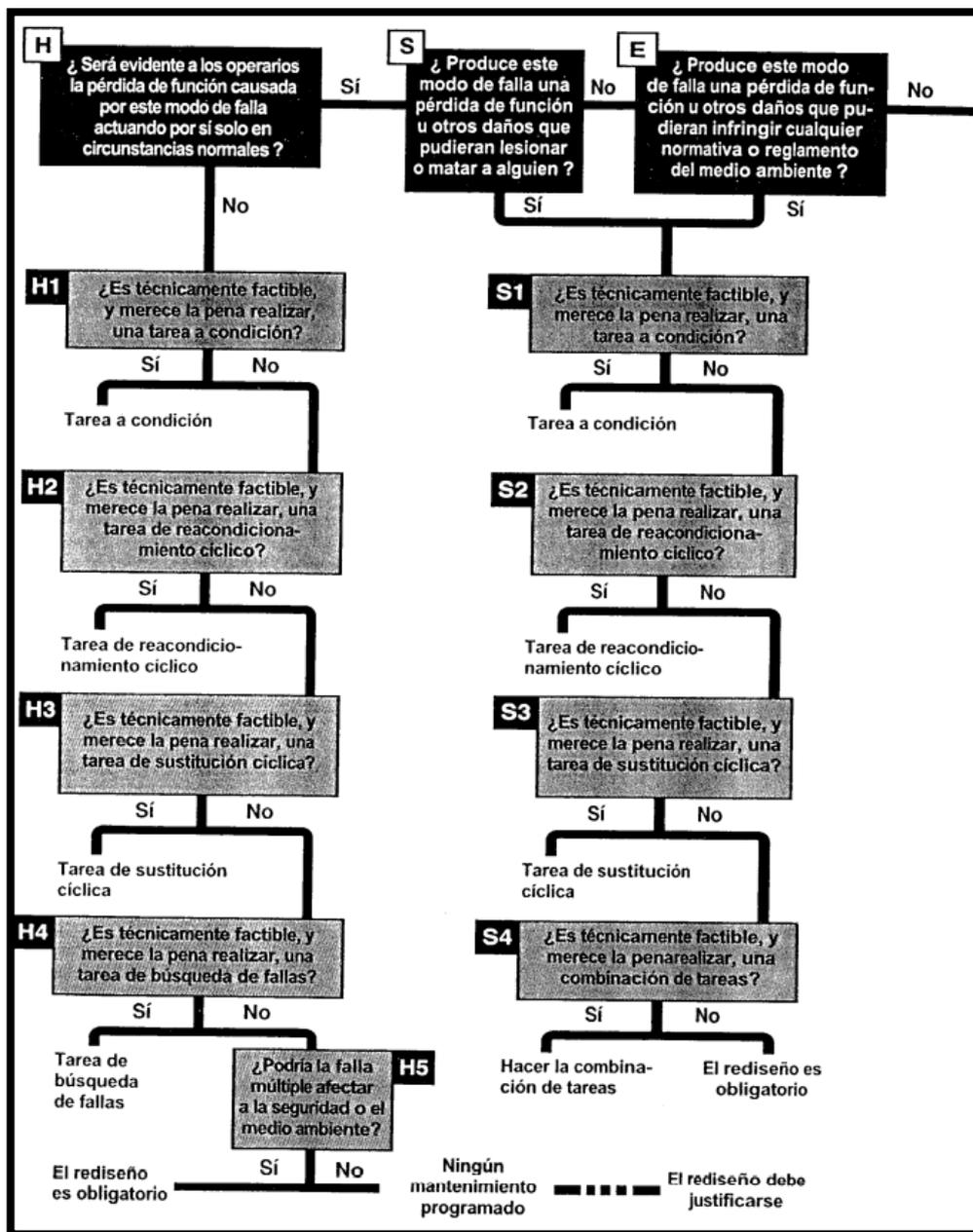
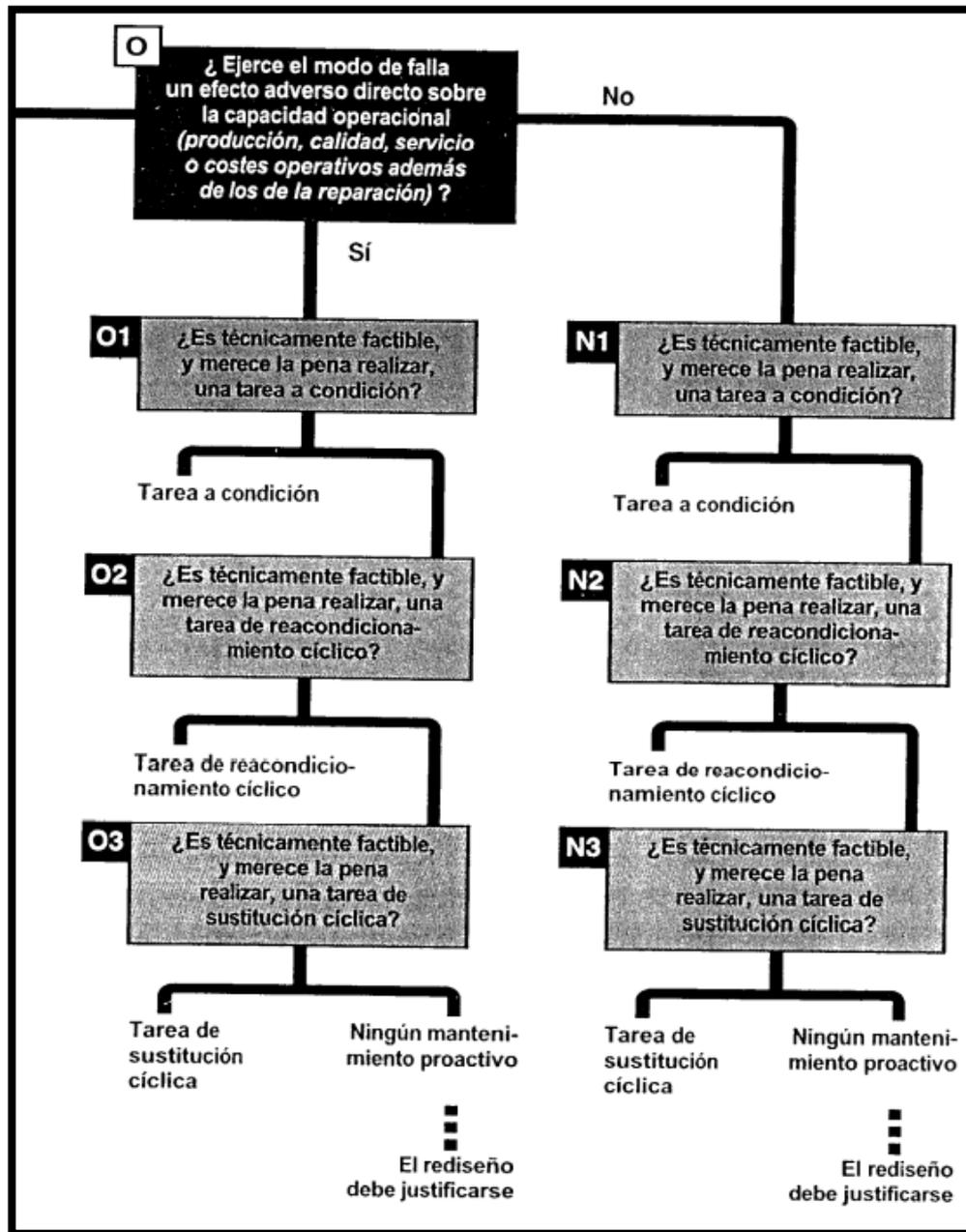


Gráfico 31 RCM: Diagrama de decisión (continuación 1)



3.8. Hoja de decisión

Se realiza la hoja de decisión (evaluación de consecuencias, proceso de selección y acciones por defecto) con la ayuda del árbol lógico para determinar las tareas propuestas con la frecuencia de acuerdo a horómetro.

Tabla 7: Hoja de decisión

Información de referencia			Evaluación de las consecuencias				Proceso de selección			Acciones por defecto			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico del RCM	Tareas propuestas	Frec. (Horas)	Hecho por	
F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4					
							S1	S2	S3								
							O1	O2	O3								
							N1	N2	N3								
1	A	1	S	N	N	S	S							Tarea a condición	Inspección visual y toma de mediciones en la parte superior, medio e inferior del diametro de los spool (Giro, boom, stick y bucket) con el micrometro. Se esta aprovechando en hacer esta tarea ya que a los 2000 horas se esta cambiando el kit de sellos del control de valvulas.	2000	Técnicos
		2	S	N	N	S	S							Tarea a condición	Inspección visual de las consolas. Se esta aprovechando en hacer esta tarea ya que a los 2000 horas se esta cambiando el kit de sellos del control de valvulas.	2000	Técnicos
		3	S	N	N	S	S							Tarea a condición	Inspección visual y toma de mediciones de la altura de los resortes de los spool (Giro, boom, stick y bucket) con el vernier. Aprovechar en realizar esta tarea cada vez que se haga mantenimiento de 2000 horas al coltrol de valvulas.	2000	Técnicos
		4	S	N	S	N	S							Tarea de reacondicionamiento ciclico	Cambio de kit de sellos del control de valvulas	2000	Técnicos
2	A	1	S	N	S	N	S							Tarea de reacondicionamiento ciclico	Cambio de kit de sellos de la bomba hidráulica LH y RH	2000	Técnicos
		2	S	N	N	S	S							Tarea a condición	Inspección visual a los rodamientos de la bomba hidráulica. Aprovechar en realizar esta tarea cada vez que se realice mantenimiento a las bombas LH y RH.	2000	Técnicos

Información de referencia			Evaluación de las consecuencias				Proceso de selección			Acciones por defecto			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico del RCM	Tareas propuestas	Frec. (Horas)	Hecho por
F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4				
							S1	S2	S3							
							O1	O2	O3							
							N1	N2	N3							
		3	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Inspección visual y montaje de acuerdo al protocolo de fabrica. Aprovechar en realizar esta tarea cada vez que se realice mantenimiento a las bombas LH y RH.	2000	Técnicos
		4	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Inspección visual y montaje de acuerdo al protocolo de fabrica. Aprovechar en realizar esta tarea cada vez que se realice mantenimiento a las bombas LH y RH.	2000	Técnicos
3	A	1	S	N	S	N	S						Tarea de reacondicionamiento ciclico	Cambio de kit de sellos de la bomba piloto (engranajes). Aprovechar en realizar esta tarea cada vez que se realice mantenimiento a las bombas LH y RH.	2000	Técnicos
		2	S	N	N	S	N	N	S				Tarea de sustitución ciclica	Cambio de bomba auxiliar	4000	Técnicos
		3	S	N	N	S	N	N	S				Tarea de sustitución ciclica	Cambio de bomba auxiliar	4000	Técnicos
4	A	1	S	N	S	N	S					Tarea de reacondicionamiento ciclico	Cambio de sellos del tanque hidráulico. Aprovechar en realizar esta tarea cuando se cambie el aceite hidráulico.	2000	Técnicos	
5	A	1	N				S						Tarea a condición	Inspección visual de todos los vástagos (boom, stick y bucket)	50	Técnicos
		2	N				S						Tarea a condición	Inspección visual de todos los cilindros (boom, stick y bucket)	50	Técnicos
		3	N				S						Tarea a condición	Inspección visual de todos los vástagos (boom, stick y bucket)	50	Técnicos
		4	N				S						Tarea a condición	Inspección visual de todos los vástagos (boom, stick y bucket)	50	Técnicos

Información de referencia			Evaluación de las consecuencias				Proceso de selección			Acciones por defecto			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico del RCM	Tareas propuestas	Frec. (Horas)	Hecho por	
F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4					
							S1	S2	S3								
							O1	O2	O3								
							N1	N2	N3								
6	A	1	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Inspección visual y pruebas de los frenos hidráulicos. Aprovechar en realizar esta tarea en cada mantenimiento preventivo de 1000 horas.	1000	Técnicos	
		2	S	N	S	N	S							Tarea de reacondicionamiento ciclico	Cambio de sellos del motor de traslación	1000	Técnicos
		3	S	N	S	N	S							Tarea de reacondicionamiento ciclico	Cambio de rodamientos del motor de traslación	1000	Técnicos
		4	S	N	N	S	S							Tarea a condición	Inspección visual de plato basculante. Aprovechar en realizar esta tarea cada vez que se realiza mantenimiento de 1000 horas al motor de traslación.	1000	Técnicos

3.9. Plan de mantenimiento

Después de haber realizado la hoja de decisión se presenta el programa de mantenimiento, basados en los horómetros (recomendados por CATERPILLAR) y las tareas propuestas que se desarrollaron con el AMFE y la hoja de decisión.

Tabla: 8 Programa de mantenimiento

TAREA A REALIZAR			HORA	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000	3250	3500	3750	4000	4250	4500	4750	5000	5250	5500	5750	6000
PM1	FILTRO ACEITE	AA:1R0739	250																								
	FILTRO COMBUSTIBLE	AA:1R0750	250																								
	KIT SELLOS / ORING	AA:2J0157	250																								
	FILTRO ELEMENTO COMBUSTIBLE	AA:9M2341	250																								
	ACEITE MOTOR DIESEL 15W40 (8 GAL)	EX:3E9713	250																								
PM2	FILTRO ACEITE	AA:1R0739	500																								
	FILTRO COMBUSTIBLE	AA:1R0750	500																								
	KIT SELLOS / ORING	AA:2J0157	500																								
	KIT FILTRO DE TAPA COMBUSTIBLE	AA:9X2205	500																								
	FILTRO DE AIRE	AA:612503	500																								
	FILTRO ELEMENTO COMBUSTIBLE	AA:9M2341	500																								
	FILTRO HIDRAULICO	AA:1843931	500																								
	ACEITE MOTOR DIESEL 15W40 (8 GAL)	EX:3E9713	500																								
PM3	FILTRO ACEITE	AA:1R0739	1000																								
	FILTRO COMBUSTIBLE	AA:1R0750	1000																								
	KIT SELLOS / ORING	AA:2J0157	1000																								
	FILTRO DE AIRE	AA:612503	1000																								
	FILTRO DE AIRE INTERIOR	AA:612504	1000																								
	FILTRO ELEMENTO COMBUSTIBLE	AA:9M2341	1000																								
	KIT FILTRO DE TAPA COMBUSTIBLE	AA:9X2205	1000																								
	FILTRO HIDRAULICO	AA:1843931	1000																								
	ACEITE MOTOR DIESEL 15W40 (8 GAL)	EX:3E9713	1000																								
	ACEITE TRANSMISION SAE 50 (15GAL)	EX:8T9576	1000																								

CAPITULO 4

RESULTADOS Y DISCUSION

1. La propuesta de la elaboración de un programa de mantenimiento basada en la metodología RCM para la excavadora hidráulica 330 BL tiene como objetivo principal incrementar la disponibilidad inherente.

Se halló en inicio la disponibilidad inherente en el sistema hidráulico: El tiempo proyectado de trabajo es de 200 horas mensuales para el proyecto de apertura de carretera en la zona de Chiuca, en la provincia de Condesuyos. Durante esos 8 meses solo se realizaron 7 PMs con una duración de 28 horas, por eso para la obtención de la disponibilidad inherente se realizó con 1572 horas.

Tabla 9 Disponibilidad Inherente inicial

Tiempo de análisis	1572
Tiempo total de reparación	375
Número de paradas	26
MTBF	46.04
MTTR	14.42
DISPONIBILIDAD INHERENTE ACTUAL	76.15%

Con la elaboración del programa de mantenimiento basado en el RCM, presentado en la Tabla N x, se eliminarán las fallas de los correctivos no programados ya que son los que causar gastos por ineficiencias mayores (horas improductivas, pérdida de horas hombres, costos de repuestos):

- Bombas principales RH Y LH
- Motor de traslación
- Motor de Giro
- Bomba auxiliar
- Control de válvulas

En caso de los otros fallos son causados por fallas operacionales, se está trabajando en realizar un control y mantenimiento de componentes mayores con los tiempos de vida útil. Al anticiparnos a las fallas y aprovechar los mantenimientos PM3 Y PM4, se logró reducir de 26 fallas a 19 fallas; el tiempo de reparación de mantenimiento se redujo de 375 horas a 219 horas en intervenciones de correctivos, obteniendo como nuevos valores:

Cálculo de nuevo MTBF:

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo de operación}}{N \text{ de fallos}} = \frac{1572-219}{19} = \frac{1353}{19} = 71.21$$

Cálculo de nuevo MTTR:

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{N \text{ de fallos}} = \frac{219}{19} = 11.53$$

Cálculo de Disponibilidad:

$$D.INHERENTE = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} = \frac{71.21}{71.21+11.53} = 86.07$$

- Se logró un incremento del MTBF de 46.04 a 71.21.
- Se redujo el MTTR de 14.42 a 11.53.
- Se logró un incremento en la disponibilidad inherente de 76.15% a 86.07%.

Tabla 10 Disponibilidad Inherente final

Tiempo de análisis	1572
Tiempo total de reparación	219
Número de paradas	19
MTBF	71.21
MTTR	11.53
DISPONIBILIDAD INHERENTE ACTUAL	86.07%

2. El costo total por ineficiencia inicial (costo por repuestos, costo de terceros) fueron 45 809 USD, al reducir los correctivos el costo se redujo a 25 051 USD.

Se halló el beneficio por un monto de 20 758 USD, pero la inversión de la implementación del RCM (costos de repuestos las horas hombres y terceros) se obtiene un monto de 8 875 USD. Por lo tanto, la relación del beneficio –costo en la implementación del proyecto de la programación del mantenimiento basado en RCM.

Cálculo de la relación beneficio-costo

$$RELACION\ B/C = \frac{VALOR\ PRESENTE\ DE\ INGRESOS}{VALOR\ PRESENTE\ DE\ LOS\ COSTOS} = \frac{20\ 758}{8\ 875} = 2.39$$

Se obtuvo el valor de 2.39, ya que el valor presente de los ingresos es mayor al de los costos por lo tanto la implementación del programa de mantenimiento basado en RCM es **conveniente**.

3. Por otro lado, La propuesta implementación del programa basado en la confiabilidad RCM para excavadora 330 BL, es modelo desarrollar nuevas técnicas de mejora en los otros equipos. Durante él se pudo identificar el retraso de los mantenimientos por un escaso conocimiento por parte de los técnicos, ya que el MTTR es muy alto, se propone entrenamiento técnico para reducir el tiempo de reparación. A continuación, se presentan las fechas propuestas.

Tabla: 11 Programa de entrenamiento técnico

Fechas de inicio	Módulos	Temas	Horas de entrenamiento	Responsable
4/7/2022	Módulo 1:	Fundamentos de hidráulica básica	8	INGMAP
1/8/2022	Módulo 2:	Circuitos hidráulicos	10	INGMAP
5/9/2022	Módulo 3:	Bombas hidráulicas	10	INGMAP
3/10/2022	Módulo 4.1:	Válvulas de control de presión	10	INGMAP
7/11/2022	Módulo 4.2:	Válvulas de control de direccionamiento del flujo	10	INGMAP
5/12/2022	Módulo 4.3:	Válvulas de control de flujo	10	INGMAP
2/1/2023	Módulo 5:	Actuadores hidráulicos	8	INGMAP
6/2/2023	Módulo 6:	Diagnostico y localización de averías en sistemas hidráulicos	10	INGMAP
6/3/2023	Módulo 7:	Análisis de fallas en sistemas hidráulicos	10	INGMAP

CONCLUSIONES

1. Con esta implementación de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM, se ha determinado un incremento del tiempo promedio entre fallas (MTBF), de 46.4 h. a 71.2 h, ya que se ha proyectado disminuir las paradas no programadas en el sistema hidráulico.
2. Con esta implementación de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM, se ha determinado disminuir el tiempo medio de reparación (MTTR), de 14.42 h a 11.53 h. habiendo mejorado la destreza de los técnicos en los diagnósticos y las reparaciones de los componentes hidráulicos.
3. Con esta implementación de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM, ha generado un incremento en la disponibilidad inherente en el sistema hidráulico de 76.2% a 86.1%, por lo mismo que se ha logrado incrementar el MTBF y disminuir el MTTR.

RECOMENDACIONES

- Es sumamente importante cumplir con las tareas de mantenimiento y el seguimiento bajo una supervisión para garantizar el programa elaborado, ya que se necesita que cada intervención de un mantenimiento tenga un alto grado de precisión (+-25 horas).
- Es necesario implementar la metodología RCM para toda la flota de maquinaria pesada, y tener un control de los indicadores de gestión.
- Se recomienda realizar auditorías por parte del área de mantenimiento: verificación del correcto llenado de las cartillas de mantenimiento, estas deben incluir reporte fotográficos, horometro actualizado, tiempo de reparación, backlog. Coordinar con el área de logística la entrega de estos formatos, en caso se requiera un repuesto mencionar una fecha tentativa de entrega (manejar un cuadro de entrega de repuestos) controlar mediante un flujograma la planificación de los próximos mantenimiento.
- Finalmente se recomienda monitorear las fallas en el sistema de las excavadoras para continuar mejorando y actualizando el programa de mantenimiento cada año, y poder hacer una evaluación de los 5 meses próximos (después de la implementación y corroborar con los indicadores).

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Medina, «Mejora de la gestión de mantenimiento de maquinaria pesada con la metodología amef, como herramienta principal del (rcm),» Perú, 2021.
- [2] Y. Villajulca, «Mantenimiento basado en el AMEF para la flota vehicular de la empresa TRC SAC,» Perú, 2021.
- [3] H. Salvatierra, «Aumento de la confiabilidad de la excavadora 336d2l con la metodología amef en la empresa Baeira SAC,» Perú, 2019.
- [4] E. Labra, Diseño de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM para la maquinaria pesada para movimiento de tierra de la Municipalidad Provincial de Canchis - Cuzco, Perú, 2018.
- [5] L. Pacheco, Propuesta de implementación de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo basado en RCM para la reducción de fallas de la maquinaria de la Empresa Hydro Pátapo S.A.C., Perú, 2018.
- [6] R. Janampa, «Mejora de la confiabilidad de la excavadora 320D, empleando el análisis de fallas funcionales en la Compañía Minera Raura,» Perú, 2019.
- [7] J. Diaz, Implementación de la metodología manteniendo centrado en confiabilidad (RCM) para los equipos mineros a cargo del área de mantenimiento de la empresa MINESA S.A.S., Colombia, 2017.
- [8] R. Chávez, «Optimización de la gestión del mantenimiento de una flota de maquinaria pesada, en la construcción de un tranque de Relaves mineros,» Perú, 2020.
- [9] J. Sánchez, «Propuesta e implementación de un plan de mantenimiento basado en el enfoque RCM para mejorar la disponibilidad mecánica del motor de combustión interna, sistema eléctrico y sistema hidráulico de la excavadora CAT 345D L de la empresa SERVI SAP,» Perú, 2021.

- [10] C. Casachagua, «Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo basado en el RCM para mejorar la disponibilidad mecánica de la excavadora CAT 336 de la empresa Ecosem Smelter S.A.» Perú, 2017.
- [11] C. Estrada, «Propuesta e implementación de un programa de mantenimiento bajo la metodología RCM para incrementar los niveles de disponibilidad en la flota excavadoras modelo CAT 349D2L en la empresa SERVISAP SRL,» Perú, 2021.
- [12] V. Torrealba, «Plan de mantenimiento preventivo basado en el RCM para mejorar la disponibilidad mecánica de la excavadora CAT 336,» Venezuela, 2019.
- [13] J. Inostroza, «Evaluación y Mejoras en la gestión de arriendo de maquinaria pesada para minería,»,» Chile, 2014.
- [14] E. Aillón, «Elaboración e implementación de un plan de mantenimiento para la maquinaria pesada y vehículos livianos del GADM de PELILEO,» Ecuador, 2017.
- [15] O. Campos, G. Tolentino, M. Toledo y R. Tolentino, «Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos,» México, 2019.
- [16] J. Marks, Combining TPM and reliability-focused maintenance (RCM)," Reliability Centered Maintenance, Electric Maintenance and Repair vol. 211, 1997.
- [17] O. Campos, G. Tolentino, M. Toledo y R. Tolentino, Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos, México, 2019.
- [18] L. Mora, Mantenimiento: Planeación, ejecución y control, Alfaomega Grupo Editor, 2009.
- [19] J. Selvik y T. Aven, A framework for reliability and risk centered maintenance, Reliability Engineering and System Safety vol. 96, 2011.
- [20] J. Moubray, RCM II Reliability-Centred Maintenance, New York: Industrial Press Inc,

1997.

- [21] Y. Tang, A framework for identification of maintenance significant items in reliability centered maintenance, *Energy* vol 118, 2017.
- [22] J. Igba, K. Alemzadeh, I. Anyanwu, P. Gibbons y J. Friis, A Systems Approach towards Reliability-Centred Maintenance (RCM) of Wind Turbines, *Procedia Computer Science* vol. 16, 2013.
- [23] J. Sainz y M. Sebastián, Methodology for the Maintenance Centered on the Reliability on facilities of low accessibility, *Procedia Engineering*, 2013.
- [24] D. Li y J. Gao, Study and application of reliability-centered maintenance considering radical maintenance, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* vol. 23, 2010.
- [25] G. Niu, S. Yang y M.Pecht, Development of an optimized condition-based maintenance system by data fusion and reliability-centered maintenance, *Reliability Engineering and System Safety*, 2010.
- [26] J. Fernandez, *Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF)*, Perú, 2019.
- [27] C. Vishnu y V. Regikumar, Reliability Based Maintenance Strategy Selection in Process Plants: A Case Study, *Procedia Technology* vol 25, 2016.
- [28] J. Aguilar, R. Aguilar y D. Magaña, *Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad*, México, 2010.
- [29] L. Saaty, *The Analytic Hierarchy Process*, New York: McGraw Hill, 1980.
- [30] H. Espín y A. Cabrera, *Análisis de Criticidad y AMEF para Gestión de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*, Ecuador.
- [31] Y. Wind y L. Saaty, Marketing applications of the analytic hierarchy process., *Management Science*, 1980.

- [32] G. Valencia, D. Barros y L. Vargas, Implementación del RCM II en planta de producción de lingotes de plomo RCM II implementation on a lead ingots plant production, Sci Tech año XIX vol 19, 2014.
- [33] R. Gonzalez, Diseño Estrategia Operación Centrada En Confiabilidad Para Minera Spence S.A., 2006.
- [34] J. Romero y P. Moreu, Análisis de criticidad y estudio RCM del equipo de máxima criticidad de una planta desmontadora de algodón, 2016.
- [35] C. Sierra y E. Andrea, Introducción a la ingeniería de la fiabilidad.
- [36] Reliabilityweb, El análisis de Criticidad, una Metodología para mejorar la Confiabilidad Operacional, Disponible en: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/elanalisis-de-criticidad-una-metodologia-paramejorar-la-confiabilidad-ope>, 2018.
- [37] A. Partida, Factores que influyen en el Mantenimiento, Mantenimiento & Mentoring Industrial, Disponible en: <https://mantenimiento-mi.es/2012/factores-queinfluyen-en-el-mantenimiento>.
- [38] Sae, A Guide to the reliability-centered maintenance (RCM) standard, Warrendale, 2011.
- [39] C. Parra y A. Crespo, Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos, España, 2020.
- [40] L. Saaty, Priority Setting in Complex. Proceedings of the Second World Conference on Mathematics at the service of Man, Las Palmas Canary Islands, 1982.
- [41] L. Saaty, How to make a decision: the analytic hierarchy process. European Journal of Operational Research, 1990.
- [42] M. Maza, Diseño De Un Plan De Mantenimiento Basado En Rcm, Para Los Equipos Y Vehiculos De Dnacol S.A, 2011.

- [43] L. Toinga, Sistema Automatizado de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para pequeñas y medianas empresas, 2012.
- [44] V. Mercado y J. Peña, Modelo de gestión de mantenimiento enfocado en la eficiencia y optimización de la energía eléctrica model of management of maintenance focused in the efficiency and optimization of the electric power, 2016.
- [45] C. Naula y J. Tapia, «Propuesta de una metodología para el mantenimiento centrado en la confiabilidad en la línea de corte de materia prima en la empresa Tugalt,» Ecuador, 2019.
- [46] H. Quiroz, «Propuesta de un Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), en el Beneficio Húmedo de café Manuel Sedas Rincón de Huatusco Veracruz,» Xalapa, 2018.

ANEXO

Reporte Técnico

Equipo:	EXCAVADORA	Fecha:	12/08/21
Modelo:	330 BL	Lugar:	Cerro Pico
Marca:	CAT	Técnico:	Juan Araya
Serie:	BTR	Operador:	FRANK ZARATA
Año de Fabricación:		Horometro:	26 038 h.
Modelo de Motor:	3116	Serie de Motor:	—

CONDICIONES ENCONTRADAS

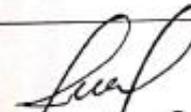
- Fugas de aceite
- Desalineación de cadena
- Las zapatas presentan desgaste
- Bordes de rueda guía con desgaste.

TRABAJOS REALIZADOS

- Cambio de mangeras hidráulicas (4h)
- Medición de filete de zapatas (0.5h)
- Inspección del conilón (0.5h).

OBSERVACIONES Y COMENTARIOS

- Cambiar zapatas (la zona es muy rocosa)
- Rueda guía (desgaste)
- Rodillos (desgaste) posición N°2 y N°3 (ARRABAR DE CADA 12 quiebras).


 Juan Araya Echevarría
 44313015